

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

**ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

Олександр Ганженко

**АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ
БІОПАЛИВА
(Монографія)**

Вінниця
«Нілан-ЛТД»
2023

УДК УДК 633.62: 633.63
ББК 42.22

Ганженко О.М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалива: монографія. – Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2023. – 320 с.

ISBN 978-966-924-997-5

Монографію розглянуто та схвалено до друку Вченою Радою Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України (протокол №18 від 15.12.2022 р.)

Рецензенти:

Рахметов Д.Б., доктор сільськогосподарських наук, професор, заступник директора з наукової роботи (інноваційний розвиток), завідувач відділу культурної флори Національного ботанічного саду імені М.М. Гришика НАН України

Сторожик Л.І., доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник лабораторії насіннєзнавства, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України

Кулик М.І., доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету МОН України

Адреса редакційної колегії: Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, Київ – 110, 03110, тел. (044) 275-50-00; факс (044) 275-50-00.

У монографії висвітлено результати комплексних досліджень, проведених в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2010 - 2020 рр. з агробіологічного обґрунтування процесу формування продуктивності цукроносних культур як сировини для виробництва біопалива у Лісостепу України.

Визначено агробіологічні основи формування продуктивності сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) і буряків цукрових (*Beta vulgaris* L.) залежно від сортового асортименту, доз мінеральних добрив, строків сівби насіння та збирання цукромісткої біомаси для різних частин Лісостепу України. Встановлено морфологічні й фізіологічні особливості формування і реалізації біологічного потенціалу продуктивності цукроносних культур, обґрунтовано оптимальні строки збирання врожаю залежно від елементів технології вирощування та факторів зовнішнього середовища.

Для науковців, студентів вищих аграрних закладів освіти III-IV рівнів акредитації, агрономів, керівників господарств, фермерів, зацікавлених у вирощуванні цукроносних культур на біопаливо.

ISBN 978-966-924-997-5

УДК 633.62: 633.63
ББК 42.22

© Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, 2023
© Ганженко Олександр Миколайович, 2023

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БІОЕНЕРГЕТИКИ ТА МІСЦЕ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР У ФОРМУВАННІ СТАЛОЇ СИРОВИННОЇ БАЗИ.....	11
1.1. Екологічні та економічні передумови розвитку відновлювальних джерел енергії.....	11
1.2. Цілі України на шляху до побудови низьковуглецевої економіки.....	16
1.3. Особливості використання цукроносних культур для виробництва біопалива.....	19
1.4. Біологічні особливості сорго цукрового як біоенергетичної культури.....	23
1.4.1. Ботанічний опис рослин роду Сорго (<i>Sorghum</i>).....	24
1.4.2. Фази розвитку рослин сорго цукрового.....	27
1.4.3. Перспективи використання сорго цукрового для біоенергетики.....	30
1.4.4. Продуктивність сорго цукрового залежно від рівня мінерального живлення.....	33
1.4.5. Залежність продуктивності сорго цукрового від сортових особливостей та тривалості вегетації рослин	37
1.5. Аналіз можливостей використання буряків цукрових для виробництва біопалива.....	40
1.5.1. Сучасні тенденції щодо застосування добрив під час виращування буряків цукрових на енергетичні цілі.....	40
1.5.2. Вплив строків збирання біомаси буряків цукрових на вихід біопалива.....	41
1.5.3. Особливості виробництва біогазу та біоетанолу з біомаси буряків цукрових в Україні.....	42

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	48
2.1. Ґрунтово-кліматичні та погодні умови проведення досліджень.....	48
2.1.1 Зона нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (Білоцерківська ДСС).....	49
2.1.2 Зона недостатнього зволоження Лісостепу України (Веселоподільська ДСС).....	54
2.1.3 Зона нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (Іванівська ДСС).....	60
2.1.4 Зона нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (Ялтушківська ДСС).....	65
2.2. Характеристика сортів та гібрида цукроносних культур...	71
2.2.1. Характеристики сортів і гібридів сорго цукрового...	71
2.2.2. Характеристики сортів і гібридів буряків цукрових	76
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР	79
3.1 Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового.....	79
3.1.1. Методологія розрахунку виходу біоетанолу з біомаси сорго цукрового.....	79
3.1.2 Теоретичні основи розрахунку виходу твердого біопалива.....	82
3.1.3. Визначення енергетичного потенціалу за виходом біогазу з біомаси сорго цукрового.....	84
3.2. Методичні основи оцінки енергетичного потенціалу буряків цукрових.....	86
3.2.1. Методологія розрахунку виходу біогазу з біомаси буряків цукрових.....	87
3.2.2. Теоретичні основи визначення виходу біоетанолу з коренеплодів буряків цукрових.....	88
РОЗДІЛ 4. АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР.....	91
4.1. Розробка методики для визначання площі листової поверхні сорго цукрового.....	91
4.1.1. Аналіз методів визначення площі листової поверхні рослин сорго цукрового.....	92

4.1.2. Методика визначання площі листової поверхні методом сканування.....	95
4.1.3 Удосконалення розрахункового методу визначання площі листової поверхні.....	98
4.2. Побудова стохастичної моделі для прогнозування фракційного складу коренеплодів буряків цукрових.....	103
4.2.1. Агробіологічні основи розрахунку діаметра коренеплодів буряків цукрових залежно від врожайності та густоти стояння рослин.....	104
4.2.2. Стохастичне моделювання фракційного складу коренеплодів.....	107

РОЗДІЛ 5. ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ СОРТУ, СТРОКІВ СІВБИ НАСІННЯ ТА ДОЗ ДОБРИВ.....

5.1. Енергетична продуктивність сорго цукрового у центральній частині Лісостепу України.....	111
5.2. Особливості формування продуктивності сорго цукрового у зоні недостатнього зволоження.....	118
5.3. Залежність продуктивності сорго цукрового від технологічних чинників у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України.....	126
5.4. Особливості формування продуктивності рослин сорго цукрового на ґрунтах з низьким рівнем родючості.....	134
5.5. Порівняльна оцінка енергетичного потенціалу сортів і гібридів сорго цукрового.....	140

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ.....

6.1 Вплив густоти стояння рослин, дози добрив та сортових особливостей на формування продуктивності буряків цукрових у центральній частині Лісостепу України.....	147
6.1.1. Вплив густоти стояння рослин на формування продуктивності буряків цукрових.....	148
6.1.2. Залежність енергетичної продуктивності буряків цукрових від доз мінеральних добрив.....	152

6.2. Особливості формування продуктивності буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та доз добрив у зоні недостатнього зволоження.....	161
6.3. Залежність продуктивності буряків цукрових від сортових особливостей, доз добрив та густоти стояння рослин у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України.....	168
6.4. Особливості формування енергетичної продуктивності рослин буряків цукрових на малопродуктивних землях	175

РОЗДІЛ 7. АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ.....	183
7.1. Особливості накопичення енергетично корисних речовин у буряків цукрових вирощених на малопродуктивних землях.....	184
7.2. Динаміка накопичення енергетично цінної біомаси у центральній частині Лісостепу України.....	188

РОЗДІЛ 8. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА СТРОКІВ ЗБИРАННЯ БІОМАСИ.....	200
8.1. Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового в зоні недостатнього зволоження Лісостепу України.....	200
8.2. Продуктивність сорго цукрового у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України.....	206
8.3. Вплив строків збирання біомаси на продуктивність рослин сорго цукрового у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України.....	216
8.4. Особливості реалізації біологічного та енергетичного потенціалу рослин сорго цукрового на малопродуктивних землях.....	225
8.5 Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового залежно від тривалості періоду вегетації рослин.....	234
8.6. Особливості збирання та переробляння біомаси сорго цукрового на біопаливо.....	241

РОЗДІЛ 9. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА АГРОБІОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО.....	248
9.1. Вплив особливостей сорту, фази розвитку рослин та способу подрібнення стебел на вихід соку.....	250
9.2. Залежність цукристості соку від способів його отримання та сортових особливостей сорго цукрового...	253
РОЗДІЛ 10. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ БІПАЛИВА.....	255
10.1 Енергетична та економічна ефективність застосування добрив під час вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі.....	255
10.2. Економічна оцінка біомаси сорго цукрового залежно від строків збирання біомаси.....	262
10.3. Енергетична та економічна ефективність вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі.....	265
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	270
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	275
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	277

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БЦ ДСС – Білоцерківська дослідно-селекційна станція;
ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;
ВП ДСС – Веселоподільська дослідно-селекційна станція;
ДСС – дослідно-селекційна станція
ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянінова;
ЄЗК – Європейський Зелений Курс;
ІБКіЦБ – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків;
І ДСС – Іванівська дослідно-селекційна станція;
ІЗК НААН – Інституту зернових культу НААН.
ККЕ – коефіцієнт енергетичної ефективності.
НААН – Національна академія аграрних наук України;
ПГ – парникові гази;
ПКУ – Паризька Кліматична Угода;
СГІ – НЦНС – Селекційно-генетичного інституту –
Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення
т н. е. – тон нафтового еквівалента;
т ум. п. – тон умовного палива;
Я ДСС – Ялтушківська дослідно-селекційна станція;

ВСТУП

Загострення екологічних проблем спонукає людство до пошуку шляхів виробництва і використання відновлювальних джерел енергії, що визнано одним із пріоритетів світової економіки [3, 6, 96, 138, 190]. Підтвердженням цього слугує підписання нової Кліматичної Угоди, яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури через приведення у другій половині ХХІ століття викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти без шкоди для себе [4, 25, 50, 72, 73, 134, 155, 201, 218]. З цією метою передбачається щорічно залучати 100 млрд \$ для заміни традиційних джерел енергії відновлювальними, серед яких значне місце посідає біоенергетика.

Щорічно Україна імпортує викопні енергоносії майже на 15 млрд \$, водночас не достатньо задіяний потенціал відновлювальних джерел енергії, на які багата наша держава [278]. Позитивно те, що динаміка останніх років засвідчує збільшення частки відновлювальних джерел енергії в енергобалансі держави. Так, якщо у 2012 році обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд м³, то у 2020 р. – 4,5 млрд м³ [293]. Однак це значно менше від загальносвітового рівня, адже частка біоенергетики у структурі світового енергоспоживання перевершує 16 відсотків.

Отже, для забезпечення подальшого зростання галузі біоенергетики необхідно створити достатню кількість високоякісної сировинної бази, провідне місце у формуванні якої відводиться цукроносним культурам – сорго цукровому (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) та бурякам цукровим (*Beta vulgaris* L.).

На сучасному етапі продуктивність посівів цукроносних біоенергетичних культур буряків цукрових і сорго цукрового та обсяги виробництва з них біопалива залишаються недостатніми. У структурі кінцевого споживання енергії в Україні частка біоенергетики становить лише 4,2 %. Тому, підвищення врожайності та зниження собівартості вирощування цукромісткої біомаси створює передумови для активізації розвитку вітчизняної біоенергетичної галузі, що сприятиме досягненню стратегічних завдань, які Україна зобов'язалась виконати на шляху до побудови кліматично нейтральної економіки.

Вагомий внесок у розв'язання проблем, пов'язаних із вирощуванням цукромісткої біомаси, як сировини для виробництва різних видів біопалива належить таким вітчизняним ученим, як М.В. Роїк [413, 415, 416, 417, 418, 421, 422, 424, 425, 426, 427], В.М. Сінченко [242, 411, 412, 435, 438, 439], В.Л. Курило [249, 339, 342,

349, 413, 414, 424, 425, 426, 427], Л.І. Сторожик [429, 443, 444], С.М. Каленська [297, 325, 326, 375, 384, 385, 396, 409, 462], Д.Б. Рахметов [341, 369, 454, 455], М.І. Кулик [46, 105, 244, 304, 305, 337, 341, 382, 408, 453], М.Я. Гументик [242, 349, 413, 414, 424, 425, 426, 427], В.А. Доронін [299, 433], Я.Д. Фучило [242, 251, 252, 272], М.Б. Грабовський [75, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289], Я.П. Макух [357, 407, 440], В.Т. Саблук [430, 431, 432, 433, 434, 435], Іваніна В.В. [320, 321, 322, 323, 324, 461], В.С. Бондар [412], Л.А. Правдива [246, 249, 251, 266, 267, 274, 339, 342, 398], О.Б. Хіврич [249, 250, 251, 254, 273, 346], Н.О. Кононюк [252, 340, 411, 420], В.Л. Гамандій [249, 251, 302], О.В. Яланський [251] та інші.

За кордоном над проблемою вирощування цукромісткої біомаси працювали Hassan M.U. [80, 81], Ratnavathi C. [164], Almodares A. [10], Prasad S. [162], Reddy B.V. [166], Soltani A. [192], Teetor V.H. [199], Lueschen W.E. [114], Atis I. [17], Oyier M.O. [146], Ferreira O.E. [64], Nur A. [143], Teixeira T.P.M. [200], Vlachos C.E. [209], Dahlberg J. [42], Ayodele B.V. [18], Appiah-Nkansah N.B. [15], Mathur S. [124], Julius B.T. [91], Manevski K. [191, 117, 219], Bulgari R. [30], Torma S. [205], Abyaneh H.Z. [2], Laufer D. [108], Pastor-Bueis R. [153], Demirbas A. [47], Kocar G. [100], Parawira W. [152], Goux X. [74], Manochio C. [118], Demirel B. [49, 48, 180], Kreuger E. [69, 103], Gissen C. [69], Van Dyk J. [208], Zieminski K. [222, 223], Fang C. [60, 61], Whitfield M.B. [215], Sjoblom M. [187], Christoph N. [39], Sarris D. [178], Vucurovic V.M. [210], Solati Z. [191], Stoms D.M. [196], Koga N. [101], та інші.

Для забезпечення внутрішніх потреб у рідкому та газоподібному біопаливі в Україні потрібно висівати близько 1,5 млн га біоенергетичних цукроносних культур (1 млн га буряків цукрових та 0,5 млн га сорго цукрового). Тому актуальним стає питання здійснення оцінки енергетичного потенціалу сучасних сортів і гібридів цукроносних культур та розроблення високоефективної технології їх сталого вирощування у різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Дослідження, викладені у монографії виконувалися в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України впродовж 2011 - 2020 рр. згідно з ПНД НААН 22 «Біоенергетичні ресурси» (2011 - 2015 рр.) та ПНД НААН 16 «Біоенергетичні ресурси» (2016 - 2020 рр.) за завданнями: 0111U003122, 0111U003123, 0113U005995, 0116U002197, та 0116U002201.

РОЗДІЛ 1

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БІОЕНЕРГЕТИКИ ТА МІСЦЕ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР У ФОРМУВАННІ СТАЛОЇ СИРОВИННОЇ БАЗИ

1.1. Екологічні та економічні передумови розвитку відновлювальних джерел енергії

Розвиток людської цивілізації супроводжується постійним зростанням споживання енергетичних ресурсів. Так впродовж останніх 55 років світові обсяги споживання енергії зросли майже у 4 рази, з 43 тис.ТВт-год у 1965 році до 162 тис.ТВт-год у 2019 році, при цьому споживання нафтопродуктів за цей час зросло у 3 рази, вугілля – у 2,7 разу, природного газу – у 6,2 разу (рис. 1.1). Станом на 2019 рік 84,3 % енергії в світі виробляється з викопних видів палива: нафти (33,1 %), вугілля (27,0 %) та природного газу (24,2 %) і лише 15,7 % – це енергія, вироблена за низьковуглецевими технологіями: атомна (4,3 %), гідроелектростанції (6,5 %) та відновлювальні джерела енергії (5 %) [5, 21, 57, 77, 99].

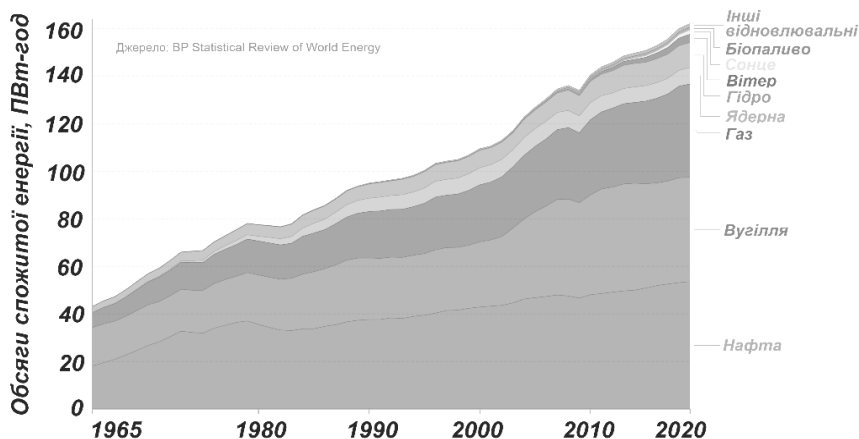


Рис. 1.1. Динаміка та структура світового споживання енергії [57].

Таке інтенсивне використання викопних джерел енергії впродовж останніх 55 років призвело до зростання викидів парникових газів (ПГ) в атмосферу Землі більш ніж у тричі. Так, якщо у 1965 році

емісія вуглекислого газу від спалювання викопних енергоносіїв становила 11,3 млрд т, то за 2019 рік в атмосферу потрапило 36,5 млрд т CO_2 (рис. 1.2). Це призвело до зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері Землі, що стало причиною глобальних змін клімату, головним індикатором яких є зростання середньої температури повітря на планеті [6, 41, 190].

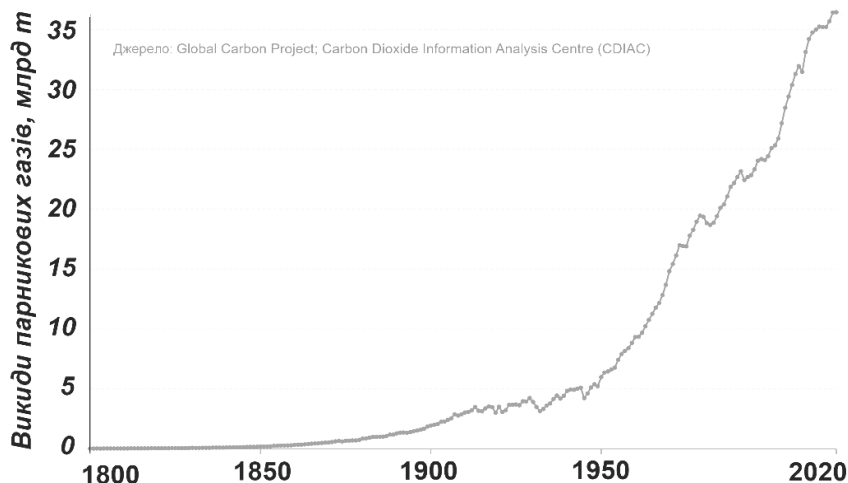


Рис. 1.2. Глобальні викиди вуглекислого газу від спалювання викопних палив [41].

Проаналізувавши структуру світових викидів парникових газів за галузями виробництва можна зробити висновок, що майже три чверті викидів генерується в галузі енергетики, майже п'ята частина – в галузі сільськогосподарського виробництва, а решта 8,4 % – у промисловості та з відходів (рис. 1.3). Цілий ряд галузей та процесів сприяють глобальним викидам, тому немає єдиного або простого рішення для боротьби зі зміною клімату. Зосередження лише на електроенергії, транспорті, продуктах харчування або вирубці лісів є недостатнім. Навіть якщо повністю вдасться декарбонізувати виробництво електроенергії, потрібно буде електрифікувати опалювальний сектор та автомобільний транспорт, крім того залишилися б викиди від судноплавства та авіації, для вирішення яких ще відсутні низьковуглецеві технології [3, 96, 138, 168].

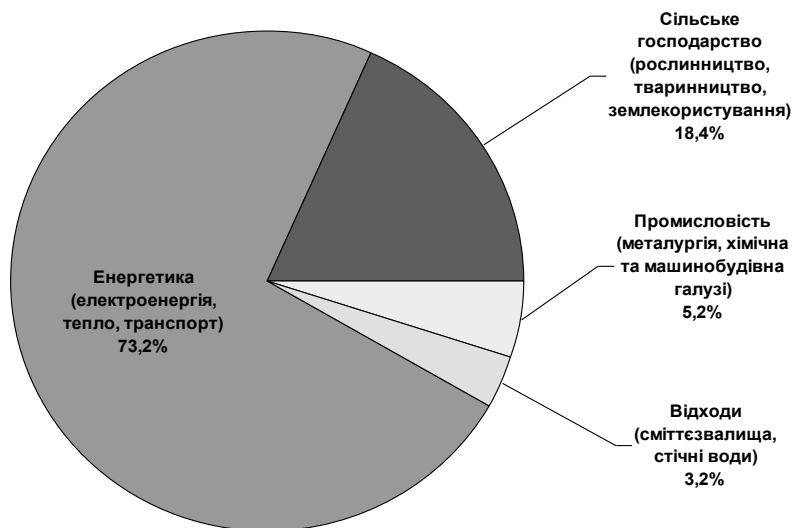


Рис. 1.3. Структура викидів вуглекислого газу за галузями [168].

Отже, для побудови кліматично нейтральної економіки потрібні системний підхід та інновації у багатьох секторах економіки, особливо в енергетичній сфері та агропромисловому комплексі.

З огляду на це заміна викопних видів палива на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) є першим і найбільш дієвим кроком на шляху до вуглецево нейтральної економіки, яка має бути досягнута до кінця поточного століття. Однак на сьогодні частка відновлювальних джерел енергії в структурі загального енергоспоживання становить у світі лише 11,4 %, а у країнах європейського континенту – 22 % [184]. Світовими лідерами в сфері виробництва і використання ВДЕ є Ісландія, Норвегія та Швеція, в яких понад 50 відсотків енергії виробляється з відновлювальних джерел (рис. 1.4). В Україні частка ВДЕ становить лише 6,6 % від загальних обсягів постачання первинної енергії [293], що значно менше порівняно з іншими європейськими країнами.

Отже на шляху до євроінтеграції та для побудови низьковуглецевої економіки Україні необхідно більше уваги приділяти розвитку відновлювальних джерел енергії, зокрема біоенергетиці.

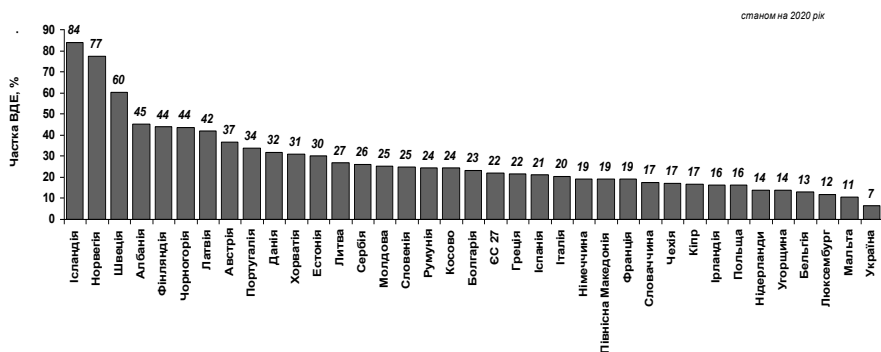


Рис. 1.4. Частка відновлювальних джерел енергії в структурі енергоспоживання різних європейських країн [184].

Пошук шляхів виробництва і використання ВДЕ є одним із пріоритетів світової економіки. Підтвердженням цього слугує підписання 195 країнами (включаючи Україну) нової Кліматичної Угоди, яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури, за рахунок зменшення викидів парникових газів у другій половині ХХІ століття до рівня, який екосистема нашої планети здатна переробляти без шкоди для себе. Нова кліматична угода не містить конкретних кількісних зобов'язань щодо скорочення викидів парникових газів чи зменшення використання викопних палив. Натомість у ній передбачено рамкову ціль щодо обмеження підвищення глобальної температури нижче 2, а бажано 1,5 °C у порівнянні із до індустріальним рівнем [4, 25, 50, 72, 73, 134, 155, 201, 218].

Кожна з країн-учасниць угоди самостійно вирішує, які механізми потрібні для досягнення поставлених цілей, водночас кожні п'ять років країни подають національно визначені внески, де зазначають свої індивідуальні кількісні зобов'язання щодо скорочення викидів [137]. Зокрема США заявили про скорочення викидів парникових газів на 50 - 52 % до 2030 року порівняно з рівнем 2005 року [139], Японія зобов'язалася скоротити вдвічі викиди до 2030 року (від рівня 2005 року) [140]. Індія до 2030 року планує ввести 450 ГВт потужностей ВДЕ [140]. Країни Європейського Союзу зобов'язались на 55 %

зменшити викиди парникових газів до 2030 року, а Великобританія – на 78 % до 2035 року (від рівня 1990 року) [109]. Враховуючи великі площі вічної мерзлоти Росія береться здійснювати моніторинг за викидами метану [140]. Китай задекларував поступове скорочення кількості вугільних ТЕС та відмову від вугілля.

У грудні 2019 року Європейська Комісія прийняла Європейський зелений курс (ЄЗК) – комплекс заходів, який визначає політику ЄС на найближчі роки у таких сферах як клімат, енергетика, біорізноманіття, промислова політика, торгівля тощо [27, 28, 37, 76, 94, 145, 169, 182, 189, 206, 207,]. Основна мета цього курсу – сталий зелений перехід Європи до кліматично-нейтрального континенту до 2050 року. На сьогодні Європейська Комісія підготувала пропозицію щодо регламенту «Європейський кліматичний закон» [163], яким на рівні законодавства ЄС пропонує закріпити цілі та шляхи досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року. Водночас ЄЗК вимагає перегляду чинних кліматичних цілей ЄС до 2030 року, які стають проміжними для Європейського зеленого курсу, – підвищити скорочення викидів ПГ з 40 % до 50 - 55 % (у порівнянні з 1990 роком), та відповідних політик та інструментів, необхідних для їх досягнення. Крім того Європейська Комісія пропонує запровадити заходи карбонового протекціонізму [58] виробників ЄС через механізм карбонового коригування імпорту (carbon border adjustment mechanism).

Таким чином, світова спільнота, як ніколи раніше занепокоєна негативними екологічними тенденціями, спричиненими, в першу чергу, інтенсивним використанням викопних видів палива та об'єднує зусилля для їх подолання. З огляду на це розвиток біоенергетики, як складової частини ВДЕ, є необхідною передумовою для вирішення глобальних викликів пов'язаних зі зміною клімату.

1.2. Цілі України на шляху до побудови низьковуглецевої економіки

Україна не забезпечена у достатній кількості власними викопними джерелами енергії і змушена імпортувати значні обсяги енергоресурсів, на що витрачає близько 15 млрд \$ щорічно [278]. Тому розвиток відновлювальної енергетики сприятиме укріпленню енергетичної, економічної і політичної безпеки нашої держави. Незважаючи на це в Україні недостатньо уваги приділяється розвитку відновлювальних джерел енергії, частка яких станом на 2020 рік склала лише 6,6 % [293]. Це значно менше порівняно з іншими країнами Європи. Серед відновлювальних джерел енергії в Україні найбільшого розвитку набуло виробництво і використання біологічних видів палива, частка яких у кінцевому енергоспоживанні становить 4,5 %.

Отже, розвиток виробництва біоенергетичних культур дозволить зменшити залежність України від імпортних енергоносіїв та сприятиме створенню сталої сировинної бази для виробництва різних видів біопалива.

Цілі України щодо розвитку ВДЕ встановлені у ключових стратегічних документах. Енергетична стратегія України до 2035 року (Розпорядження КМУ №605-р від 18.08.2017 р.) передбачає розширення використання різних видів відновлюваної енергетики, що стане одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки нашої держави [306]. У коротко- та середньостроковому горизонті (до 2025 року) стратегія прогнозує зростання частки альтернативної енергетики до рівня 12 % від загального постачання первинної енергії та не менше 25 % – до 2030 року (табл. 1.1).

Водночас енергетична стратегія передбачає зростання сектору біоенергетики, який використовує тверде біопаливо та біогаз як енергоресурс, що забезпечить з одного боку відносну сталість виробництва біопалив, за наявності достатньої ресурсної бази, з іншого – створить передумови для формування генеруючих потужностей на місцевому рівні. Пріоритет буде надаватися одночасній генерації теплової та електричної енергії у когенераційних установках, а також заміщенню вуглеводневих викопних видів палива. Передбачається, що до 2035 року біоенергетична галузь постачатиме 11 млн т н.е. біопалива, що становитиме 11,5 % в структурі загального постачання первинної енергії [306]. Енергетична стратегія передбачає збільшення використання біомаси у виробництві електро- та теплоенергії за

рахунок створення конкурентних ринків біопалива, стимулювання використання біомаси як палива підприємствами, на яких біомаса є залишковим продуктом, а також інформування щодо можливостей використання біомаси як палива в індивідуальному теплопостачанні.

Таблиця 1.1

Цілі України щодо сприяння розвитку ВДЕ

Документ	2025 р.	2030 р.	2035 р.	2060 р.
Енергетична стратегія України до 2035 року	12 % усієї енергії з ВДЕ	25 % усієї енергії з ВДЕ	11,5 % усієї енергії з біомаси	-
Національна економічна стратегія до 2030 року	-	25 % електроенергії з ВДЕ	-	-
Національний внесок до Паризької Кліматичної Угоди	-	30 % електроенергії з ВДЕ	-	Побудова кліматично нейтральної економіки
	-	Скорочення викидів ПГ до 35 % від рівня 1990 р.	-	

Одним із основних орієнтирів економіки України згідно Національної економічної стратегії до 2030 року (Постанова КМУ №179 від 03 березня 2021 р.) є декарбонізація економіки, підвищення енергоефективності, розвиток відновлюваних джерел енергії, розвиток циркулярної економіки за принципами сталого розвитку та синхронізація з цілями “Європейський зелений курс”. У стратегії передбачається сформувати частку генерації електроенергії з ВДЕ на рівні 25 % у загальному балансі, водночас планується залучити 10 млрд \$ інвестицій у відновлювальну енергетику [370]. Разом з тим відмічається, що електрогенеруючі потужності з використанням відновлюваних джерел енергії характеризуються низькою маневреністю та високою залежністю від погодних умов. Це знижує можливості прогнозування попиту та пропозиції на ринку електроенергії. Водночас, окрім зниження рівня маневреності системи електрогенерації збільшення частки ВДЕ призвело до появи

технологічних викликів, пов'язаних з необхідністю балансування системи в певні періоди часу, а також до обмеження частки ВДЕ у виробництві електроенергії, що призводить до перевиробництва енергії та ускладнює або взагалі унеможлиблює подальше підключення потужностей ВДЕ за поточних умов. Паралельно розглядається можливість використання залишку енергії для виробництва біоводню з метою подальшого його експорту до ЄС.

У Звіті з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році (Постанова КМУ №975 від 16.06.2021 р.) відмічається, що найбільш вагомим чинником трансформації умов функціонування об'єднаної електроенергетичної системи України на сьогодні є швидке впровадження електричних станцій з негарантованою потужністю з відновлювальних джерел енергії, що не супроводжуються паралельним вводом регулюючих потужностей з відповідними характеристиками та обсягами. Навіть в умовах зразкової роботи ринку допоміжних послуг забезпечення необхідних обсягів резервів на наявному працюючому обладнанні є неможливим. Тому, наразі майже щодня порушуються вимоги до забезпечення необхідних обсягів резервів. Водночас звіт передбачає зростання частки ВДЕ (включаючи гідроелектростанції) до 2030 року до 20 % за базовим сценарієм та до 16,4 % – за цільовим сценарієм [310].

Згідно оновленого національного визначеного внеску України до Паризької Кліматичної Угоди частка ВДЕ (включаючи великі ГЕС та ГАЕС) у виробництві електроенергії до 2030 року має становити 30 %. Водночас передбачається, що обсяг викидів парникових газів в Україні до 2030 року не перевищуватиме 35 % від рівня 1990 року, а повної кліматичної нейтральності заплановано досягти не пізніше 2060 року [227].

Таким чином, аналіз світових та вітчизняних стратегій засвідчує пріоритетність розвитку галузі відновлювальних джерел енергії, що є найбільш дієвим чинником для пом'якшення негативних змін клімату. Водночас враховуючи низьку маневреність електрогенерації та високу залежність від погодних умов повний перехід на виробництво електроенергії з ВДЕ пов'язаний зі значними проблемами. З огляду на це для України більш прийнятним є стратегія, спрямована на розвиток рідкого та газоподібного біопалива, виготовленого з цукроносної біомаси.

1.3. Особливості використання цукроносних культур для виробництва біопалива

Підвищений інтерес до використання ВДЕ спонукає по новому оцінити потенціал агропромислового комплексу України. Враховуючи сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування рослин, найбільш перспективним видом ВДЕ для України є біоенергетика, яка базується на біосировині рослинного походження. До основних переваг рослинної біомаси як джерела енергії можна віднести екологічну чистоту викидів порівняно з викопними видами палива та відсутність негативного впливу на баланс вуглекислого газу в атмосфері. Під час згоряння біопалива на основі рослинної біомаси в атмосферу викидається менше вуглекислого газу, ніж поглинається рослинами в процесі їх росту. Побічним продуктом у процесі виробництва рідкого та газоподібного біопалива і в результаті згоряння твердого біопалива є органічна речовина, яку можна використовувати як добриво.

Біомаса, як відновлювальний енергоносіє, створює для України великі перспективи, а можливості її використання в енергетиці є дуже різноманітними. Найбільш цінною з енергетичної точки зору є цукромістка біомаса, трансформація якої в різні види біопалив на сьогодні найбільш технологічно відпрацьована та економічно ефективно. Рослинна біомаса, що містить прості вуглеводи, легко переробляється на рідке біопаливо (біоетанол, біобутанол) та газоподібне (біометан) біопаливо. Природним джерелом цукромісткої біомаси є рослини, які накопичують в своїх вегетативних органах прості вуглеводи.

Найбільш перспективними для умов України цукроносними культурами є буряки цукрові (*Beta vulgaris* L.) та сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench).

Буряки цукрові – це традиційна для України цукроносна культура, що відзначається високим потенціалом продуктивності, а вирощена у вигляді коренеплодів та гички біомаса може перероблятися на рідкі та газоподібні види біопалив [47, 49, 69, 74, 100, 103, 118, 152]. Буряки цукрові належать до рослин С3 типу фотосинтезу, які добре адаптовані до вирощування в умовах помірного клімату, характерного для лісостепової зони України. З одного гектара буряків цукрових можна отримати до 6 т. біоетанолу, що містить 160 ГДж енергії та до 8 тис. м³ біогазу (з вмістом метану близько 60 %), що еквівалентно 175 ГДж енергії [61, 125, 159, 208, 223].

Найбільш перспективною цукроносною культурою для виробництва біопалива у світі та Україні є сорго цукрове завдяки його швидким темпам зростання, ранньому дозріванню, більш ефективному використанню води та обмеженій потребі в добривах [10, 80, 81, 162]. У зв'язку зі змінами клімату волога може стати головним стримуючим фактором для розвитку сільськогосподарського виробництва, тому сорго цукрове може замінити цукрову тростину (*Saccharum officinarum*) та інші цукроносні та кормові культури, оскільки під час вирощування сорго цукрове споживає у 4 рази менше води порівняно з цукровою тростиною [164, 166, 192].

Одночасно доцільність вирощування і використання рослинної біомаси як сировини для виробництва біопалива слід розглядати з урахуванням екологічного аспекту. Під час виробництва біоетанолу і послідуочого його використання в атмосферу виділяється менша кількість вуглекислого газу (CO_2) ніж було поглинуто з атмосфери біоенергетичними рослинами в процесі фотосинтезу (рис. 1.5). Так, один гектар буряків цукрових за весь період вегетації поглинає з атмосфери 29,4 тис. м^3 вуглекислого газу, а в процесі виробництва та спалювання біоетанолу, отриманого з 1 га буряків цукрових, в атмосферу виділяється тільки 6,4 тис. м^3 вуглекислого газу [462].

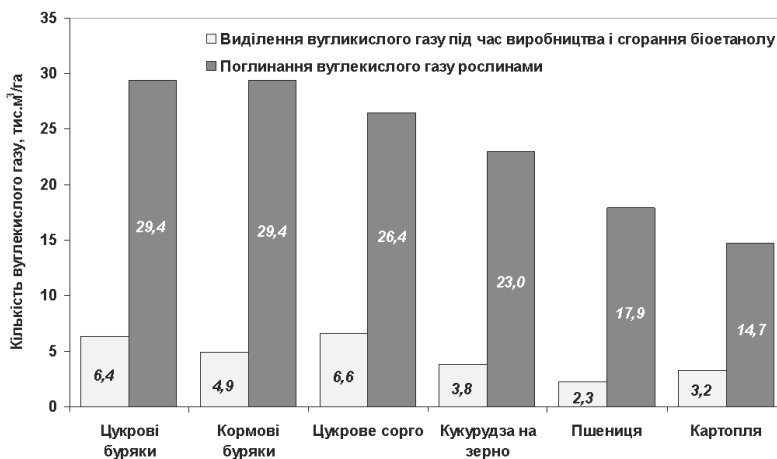


Рис. 1.5. Баланс вуглекислого газу за вирощування енергетичних рослин та виробництва і використання виготовленого з них біоетанолу

У процесі росту рослини виділяють в атмосферу значно більше кисню ніж приймає участь у згоранні виготовленого з них біоетанолу (рис. 1.6). Відомо, що за період вегетації з 1 га буряків (цукрових і кормових) виділяється в атмосферу понад 15 тис. м³ кисню, що вчетверо перевищує об'єм кисню, який виділяє 1 га лісу. З одного гектара буряків цукрових можна отримати до 4,3 т біоетанолу, під час згорання якого буде поглинуто лише близько 6,3 тис. м³ кисню. Таким чином використання біоенергетики позитивно впливає на баланс кисню і вуглекислого газу в атмосфері. Крім того, додавання до бензину 10 % біоетанолу дозволяє на 50 % зменшити викиди аерозольних частинок, а викиди оксиду вуглецю (CO) – на 30 відсотків.

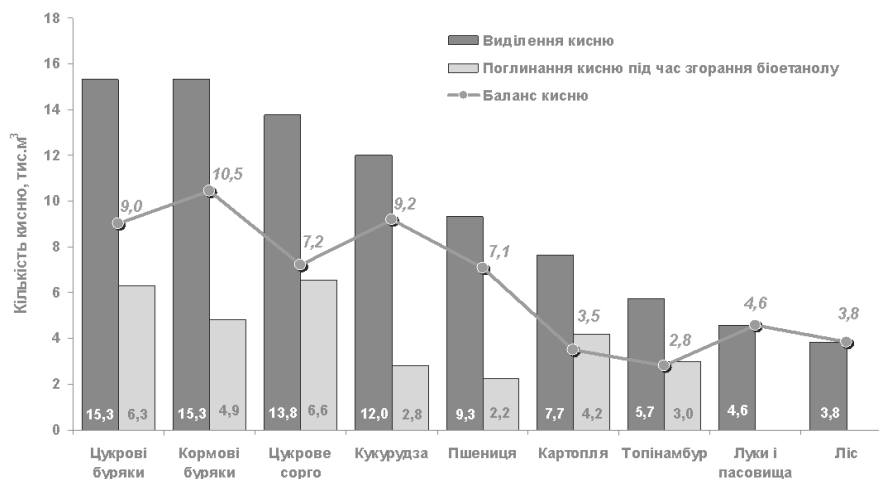


Рис. 1.6. Баланс кисню за вирощування енергетичних рослин та спалювання виготовленого з них біоетанолу

Екологічні аспекти виробництва та використання біопалива в Європі виписані у Вимогах Сталості [52, 295]. Біомаса та біопаливо, які не відповідають вимогам сталості, передбаченим у директиві, не зараховуються до нових високих нормативних часток відновлювальної енергії і тому виключаються з програм підтримки у країнах ЄС та країнах-членах. Іншими словами, біопалива, які не відповідають встановленим вимогам, зникнуть з ринку ЄС, а місцеві та закордонні постачальники будуть змушені підтверджувати дотримання нових

встановлених вимог. Це означає, що Вимоги Сталості не забороняють виробництво несталих біопалив як таких, але виключають їх з державних програм підтримки. Для отримання переваг, виробники сировини та біопалива повинні надавати достатньо доказів виконання Вимог Сталості.

Зокрема, Вимогами Сталості передбачено перелік земель, на яких не можна вирощувати біоенергетичні культури. До таких земель належать землі з наступним статусом:

- землі з високим рівнем біорізноманіття (ліс та лісисті території, заповідні зони, луки з високим рівнем біорізноманіття);
- землі з високим вмістом вуглецю (водно-болотяні угіддя, ліси з визначеним рівнем покриву);
- торфовища.

Згідно з Вимогами Сталості, викладеними у Директиві 2009/28 ЄС, з 2008 р. біопаливо мало забезпечувати скорочення на 35 % викидів парникових газів у порівнянні з використанням звичайного палива. Цей показник зріс до 50 % у 2017 році та до 60 % починаючи з 2018 року [295]. Проаналізувавши стандартні значення обсягів скорочення викидів парникових газів для різних видів виробництв (рис. 1.7) можна прийти до висновку, що починаючи з 2017 року виробництво біоетанолу з кукурудзи позбавлене державної підтримки, а з 2018 року така ж доля спіткала буряки цукрові. На сьогодні набрала чинності Директива 2018/2001 (RED II), згідно якої з 2021 року скорочення викидів парникових газів від використання біопалива для електро- та тепло генерації має становити не менше ніж 70 %, а з 2026 р. – 80 % у порівнянні з використанням традиційних видів палива [51]. Для того, щоб зменшити викиди парникових газів під час вирощування біомаси необхідно вносити зміни в традиційні технології вирощування енергетичних культур.

На особливу увагу заслуговує вивчення можливостей вирощування біоенергетичних культур на малопродуктивних та деградованих (маргінальних) землях, що дозволить уникнути конкуренції з вирощуванням харчових продуктів [22, 79, 167].

Незважаючи на високу перспективність буряків цукрових та сорго цукрового для біоенергетики, на сьогодні в Україні не здійснено оцінку енергетичного потенціалу сучасних вітчизняних сортів та гібридів цих рослин та відсутні технології їх вирощування на енергетичні цілі, адаптовані до різних ґрунтово-кліматичних умов України.

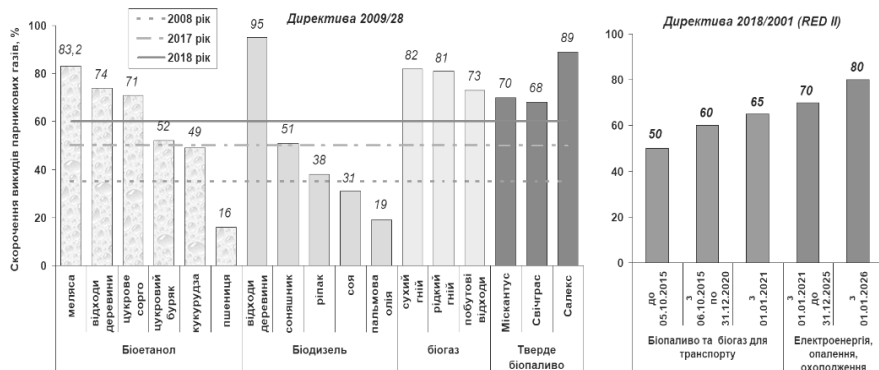


Рис. 1.7. Базові значення скорочення викидів парникових газів за окремими видами біопалива [51, 327]

У зв'язку з цим, метою роботи є обґрунтування теоретичних й агробіологічних основ формування продуктивності рослин та оптимізувати технологічні процеси вирощування і збирання біомаси сорго цукрового і буряків цукрових для підвищення рівня врожайності, технологічної якості цукромісткої біомаси й зменшення затрат коштів та енергії на їх вирощування, збирання і використання як біопалива.

1.4. Біологічні особливості сорго цукрового як біоенергетичної культури

У зв'язку з глобальними змінами клімату, які проявляються у підвищенні температури повітря та зменшенні кількості опадів сорго цукрове розглядається як найбільш перспективна культура для забезпечення людства цукром та біопаливом [43, 193]. Сорго цукрове відноситься до рослин C4 типу фотосинтезу, що дозволяє формувати стабільно високі врожаї біомаси навіть в умовах низького забезпечення елементами живлення та дефіциту води [15, 18, 42, 91, 124, 128, 179].

Сорго – одна з найдавніших сільськогосподарських культур в світовому землеробстві. Батьківщина сорго – Африка та Азія. В Індії та Китаї сорго вирощували ще 3000 років до нашої ери. Спочатку сорго вирощували переважно як кормову культуру, а в посушливих регіонах – також для харчових цілей. Сьогодні за посівними площами сорго посідає п'яте місце у світі, поступаючись лише перед пшеницею, рисом, кукурудзою й ячменем [230, 429, 466, 468]. У наш час сорго вирощується

у понад 90 країнах світу, серед яких Індія, США, Аргентина, Мексика, Нігерія, Китай та ін. [369]. У різко посушливих і пустинних районах Африки сорго слугує основною продовольчою і кормовою культурою. Загальна площа посівів сорго на африканському континенті складає більше 14 млн га. Найбільші посівні площі цієї культури в Індії – 16 млн га, де вирощується переважно зернове сорго.

У південних областях України у кінці XIX століття сорго цукрове було впроваджене у виробництво науковцем і практиком А.І. Ізмайльський [369]. Того часу сорго використовувалось здебільшого з метою отримання силосу, зеленого і грубого корму для тварин. У той же час сорго досліджував професор Н.Н. Васильєв на дослідних полях Уманського землеробського училища. На початку XX століття під керівництвом професора В.В. Таланова проведено масштабну роботу з інтродукування сортів сорго із США [291, 466]. Перші системні дослідження із селекції, насінництва та технології вирощування сорго в Україні розпочалися з 1927 року за участі видатного селекціонера академіка Б.П. Соколова, а з 1931 року цією культурою займається Б.Г. Демиденко.

У наш час цукрове (кормове) сорго використовують у харчовій промисловості, кормовиробництві та біоенергетиці [236, 255, 265, 342, 421, 424, 465].

1.4.1. Ботанічний опис роду сорго (*Sorghum*)

Сорго належить до родини злакових *Poaceae* або *Gramineae*. Рід сорго (*Sorghum Moench.*) об'єднує за різними даними від 34 до 50 видів, серед яких зустрічаються дикий й культурні, однорічні та багаторічні рослини. В Україні поширені два види сорго: сорго звичайне (*S. vulgare Pers.*) і сорго трав'янисте, або суданська трава (*S. sudanense Pers.*). Сорго цукрове відноситься до рослин з C4 фотосинтезом [171].

За зовнішнім виглядом сорго нагадує просо, але на відміну від останнього, має гладкі, заповнені серцевиною стебла заввишки 3 - 3,5 м. Рід сорго поєднує велика кількість різноманітних сортів, які вирощуються в усіх частинах світу [463].

Коренева система сорго – мичкувата, добре розвинена, досягає глибини 2,0 - 2,5 м і розростається завширшки 1,2 - 1,3 м, що обумовлює високу посухостійкість культури. Проростає сорго одним корінчиком, який певний час залишається основним органом ґрунтового живлення рослини. Коренева система сорго складається з п'яти самостійних типів коренів: головного зародкового,

мезокотільного, вузлового базального, коренів пагонів кущення і повітряних коренів. До початку фази сходів головний зародковий корінь проникає у ґрунт на глибину 0,1 - 0,2 м, а до настання фази кушіння – 0,7 - 0,8 м, утворюючи значну кількість бічних коренів. Мезокотильні корені в цей час виростають до 0,10 - 0,12 м. До фази викидання волотей вузлові корені перших ярусів сягають глибини до 0,9 - 1,0 м, головний корінь – до 1,6 - 1,8 м, а до фази воскової стиглості зерна – коренева система проникає на глибину понад 2,5 м. У кінці фази викидання волоті та на початку фази цвітіння відмічається розвиток повітряних коренів з нижніх надземних вузлів головного пагона і пагонів кущення. Важливою особливістю рослин сорго є здатність утворювати вузлові корені у пересушеному шарі ґрунту, проходячи через який, вони досягають вологих горизонтів [369, 464, 468].

Життєдіяльність кореневої системи сорго продовжується і після дозрівання насіння, що проявляється у відростанні отави після збирання урожаю. Не дивлячись на те, що сорго посухостійка культура, застосування поливу значно збільшує врожайність як зерна, так і зеленої маси. [292, 394].

Стебло сорго – прямостояче, складається з окремих міжвузлів, кількість і довжина яких залежать від біологічних особливостей рослин. У кожного сорту та гібрида кількість міжвузлів порівняно стійке: у ранньостиглих сортів – 5 - 10, у середньостиглих – 11 - 15 і у пізньостиглих – 16 - 25. Серцевина стебла сорго наповнена соком з вмістом цукру до 20 %. Найбільша кількість цукру в стеблах спостерігається в фазу повної стиглості зерна (ВВСН 89). Із вузла кушіння у сорго утворюється декілька стебел, але нормального розвитку досягають тільки 4 - 5 стебел. Кущистість залежить від виду і сорту, а також від умов агротехніки [466].

Листки сорго великого розміру, особливо у середній частині стебла, ланцетоподібної форми з цілісними, гострими краями. На одній рослині може бути від 5 до 25 листків. Листкова пластина завдовжки до 70 см, завширшки до 6 - 8 см [369, 466, 468]. Центральна жилка листка, яка ділить його пластину на дві частини, з нижньої сторони – потовщена, з верхньої – ледь увігнута. Середня частина листової пластини у багатьох сортів і гібридів сорго росте повільніше ніж краї, тому листок формується хвилястим і гнучким, що надає йому стійкості до вітру та граду. Листки молодих рослин у деяких сортів мають сизуватий відтінок у зв'язку з наявністю антоціанового забарвлення. Листки розташовані почергово з обох боків стебла, – кожному вузлу відповідає свій листочок. У листках відбуваються головні процеси, які

формують потенціал продуктивності рослин – фотосинтез і дихання. Через листовий апарат здійснює терморегуляцію і транспірацію. Високий осмотичний тиск клітинкового соку, характерний для ксерофітних рослин, у сорго вище ніж у кукурудзи. Посухостійкість сорго обумовлена здатністю продихів, які розміщені на листках, встановлювати нормальну діяльність після нестачі води і тим самим забезпечувати максимальну швидкість фотосинтезу. Продихи на листі сорго не закриваються повністю навіть під час тривалої посухи, завдяки глибокому проникненню кореневої системи, що забезпечує надземну частину росли вологою.

Листки сорго здатні заощадливіше витратити воду порівняно з іншими рослинами, що у поєднанні з потужною глибоко проникаючою кореневою системою і здатністю відбивати велику кількість тепла (сизо-білий наліт на стеблах і листках) робить сорго лідером серед посухостійких рослин.

Суцвіття сорго – волоть завдовжки від 0,15 до 0,6 м, центральна вісь якої може бути довгою, короткою, прямою, вигнутою. Має різне забарвлення, форма розлога або стиснута.

Колоски розміщуються на гілках попарно. Як правило, один з них (сидячий) утворює зерно, а другий на ніжці (чоловічий) – безплідний. На кінці гілочок волоті колоски розташовуються по три: один сидячий, плідний, і два на коротких ніжках – одностатеві, чоловічі й безплідні.

У сорго переважає перехресне запилення, але можливе й самозапилення.

Плід гола або плівчаста зернівка, яка у зернового сорго гола, здебільшого округла, у цукрового та віничного – плівчаста або напівплівчаста, довгаста та яйцеподібна. В одній волоті утворюється від 1600 до 3500 зернин, маса 1000 зерен – 20 - 30 г.

Забарвлення зерна біле, жовте, червоне, коричневе або чорне. Крім того, у плівчастих сортів сорго містяться глюкозида, таніди, які за несприятливих умов оберігають зерно від плісняви [315, 405, 442, 445].

За характером використання розрізняють сорго [228, 465]:

- *цукрове* – високоросла рослина, стебла якої використовують для вироблення патоки й сиропу, а також на силос та біопаливо; зерно плівчасте та напівплівчасте, що важко піддається обмолочуванню;

- *віничне* – технічна культура, з волотей якої виготовляють віники, щітки; серцевина стебла суха; волоті завдовжки 0,5 - 0,9 м не мають головної осі; зерно плівчасте;

- *трав'янисте* (суданська трава) – тонкостебельне, сильно кущиться й відростає після скошування; вирощують на зелений корм і сіно;

- *зернове* – відносно низькоросле; вирощують на зерно, яке використовують в харчових цілях, для відгодівлі тварин та виробництва біоетанолу; серцевина стебла напівсуха; зерно відкрите й легко обмолочується; харчові сорти здебільшого білозерні, без присмаку таніну.

1.4.2 Фази розвитку рослин сорго цукрового

Згідно загальноприйнятої шкали фаз росту і розвитку рослин (ВВСН) [106] сорго цукрове проходить десять фенологічних фаз. Впродовж перших шести фаз росту і розвитку рослин сорго цукрового формуються вегетативні органи рослин (вегетативний період), а в останні чотири фази – утворюються генеративні органи (репродуктивний період) (рис. 1.8).

Фаза появи сходів (ВВСН 00-09). Дана фаза розпочинається від потрапляння насіння у ґрунт (00). Після цього відбувається набубнявіння насінини (01-03) та поява зародкового корінця (05), з'являються кореневі волоски і придаткові корінці (06). На етапі 07 перший листок (колеоптиле) проростає з насінини і пробивається на поверхню (09). Тривалість фази появи сходів для сорго цукрового може тривати від 10 до 18 днів, залежно від температури ґрунту, вологості, глибини сівби та енергії проростання насіння. Найбільш дружні сходи pojawiaються за відносної вологості ґрунту 65 - 75 % та середньодобової температури повітря 15 - 18 градусів Цельсія.

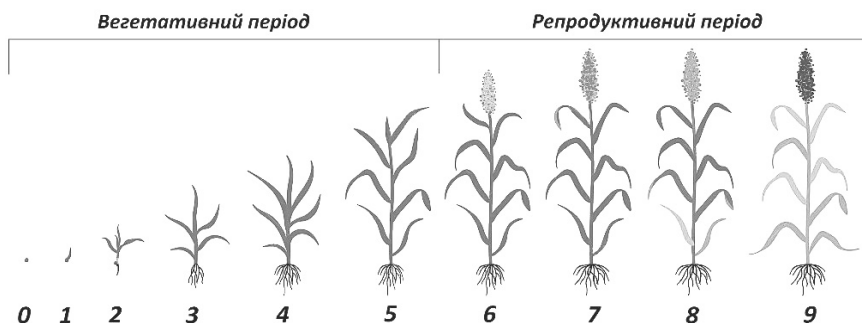


Рис. 1.8. Фази розвитку (ВВСН) та етапи органогенезу рослин сорго цукрового

Фаза появи третього листочка (BBCH 10-19). З колеоптиле з'являється перший справжній листок (10-11), формується головне стебло і закладаються точки росту бічних стебел (12-14). Проростає другий листочок (16), формуються вузли і міжвузля (17-18), з'являється третій листочок (19). Залежно від погодних умов третій листочок у рослин сорго цукрового з'являється через 10 - 15 днів після появи сходів, рослини при цьому сягають висоти від 7 до 10 сантиметрів.

Фаза кущення (BBCH 20-29). Впродовж фази кущення активно формується коренева система рослин, розвиваються вторинні (вузлові) корені (20-23). Коренева система сягає глибини 1,5 м і починає активно споживати поживні речовини з ґрунту (24-25). Формуються зачатки гілочок волоті (26-27), з'являється п'ятий листочок, а точка росту виходить на поверхню ґрунту (28-29). Фаза кущення триває близько 20 - 25 діб рослини сягають висоти від 17 до 30 см. Недостатня кількість вологи і поживних речовин в цей період негативно впливає на врожайність як зеленої маси, так і зерна сорго цукрового, тому необхідно проводити підкормку добривами. Також у фазу кущення необхідно активно контролювати чисельність бур'янів, оскільки приріст надземної частини рослин сорго цукрового в цей час незначний.

Фаза виходу в трубку (BBCH 30-39). Розпочинається активний ріст надземної частини рослин, збільшується площа листя. З'являється другий (31) та третій (32) стеблові вузли, міжвузля починають активно збільшуватись (32-33). У цей час добовий приріст становить 40 - 45 мм. З нижніх вузлів стебла формуються бічні поверхневі корені (34-35). На кінець фази виходу в трубку (39) залежно від біологічних особливостей сорту помітно 7-10 стеблових вузлів. Ця фаза триває близько 15 - 20 діб.

Фаза появи прапорцевого листка (BBCH 40-49). Продовжується інтенсивний ріст надземної частини рослин, при цьому добовий приріст висоти рослин становить 50 - 60 мм. Водночас відбувається накопичування сухої речовини (у тому числі вуглеводів) у зеленій масі рослин. З'являється останній, коротший за попередні, листок, форма якого нагадує прапорець. У цій фазі досягається максимальна площа листової поверхні рослин сорго цукрового. Тривалість фази – 15 - 17 діб.

Фаза появи волоті (BBCH 50-59). На початку цієї стадії видно листяні ошийники всіх листків. Волоть знаходиться у піхві прапорцевого листа і може відчуватися на дотик як набряк (50-51).

Завершується формування усіх органів волоті, з'являється з прапорцевого листка її кінчик (52-53). У середині фази (54-56) волоть повністю звільняється від прапорцевого листка і розпускаються її середні (56) та нижні (57) гілочки. Інтенсивно росте останнє міжвузля на якому розміщена волоть (58-59). Тривалість фази – 5 - 7 діб. З появою волоті закінчується період формування вегетативних органів рослин. У цій фазі рослини сорго цукрового можна розпочинати збирати для виробництва біогазу.

Фаза цвітіння (BBCH 60-69). З цієї фази розпочинається період формування генеративних органів рослин сорго цукрового. Ріст зеленої маси рослин у цій фазі припиняється. Цвітіння розпочинається за 2-4 доби після появи волоті. Цвітіння розпочинається у верхній (61-63), потім у середній (64-66) та нижній (67-68) частинах волоті. Тривалість фази цвітіння залежить від біологічних особливостей сорту і температури повітря та варіює від 4 до 9 діб.

Фаза молочно-воскової стиглості (BBCH 70-79). Після завершення цвітіння починає формуватися зерно. Спочатку зерно швидко розширюються і наповнюється молочною рідиною (71-72). Через 7-10 діб зерно досягає стадії м'якого тіста (75-76), коли його можна подрібнити між великим і вказівним пальцями. На цьому етапі у зерні збільшується концентрація крохмалю.

Фаза повної стиглості (BBCH 80-89). На цій фазі зерно досягло 75 % кінцевої сухої маси, а засвоєння рослиною поживних речовин майже завершено. Зерно більше не можна подрібнювати між великим і вказівним пальцями. Насіннева оболонка більше не зелена і набула остаточного кольору, який може бути білим, засмаглим, бронзовим або червоним (залежно від сортових особливостей). Тривалість фази повної стиглості зазвичай становить від 10 до 14 діб.

Фаза фізіологічної зрілості (BBCH 90-99). На цьому етапі зерно досягло максимальної сухої маси. Фізіологічна зрілість розпізнається за темною плямою або чорним шаром на дні ядра. Вологість зерна зазвичай коливається від 25 до 35 %. Загальний час від цвітіння до фізіологічної зрілості становить приблизно 40 - 45 діб. У цей час досягається максимальна концентрація вуглеводів у соці стебел, тому в цей час доцільно збирати стебла сорго цукрового для виробництва біоетанолу.

1.4.3. Перспективи використання сорго цукрового для біоенергетики

Сорго цукрове відноситься до високопродуктивних сільськогосподарською культурою, які стабільно формують високі врожаї навіть за несприятливих ґрунтово-кліматичних умов. Один гектар посівів сорго цукрового можна забезпечує вихід 90 - 120 т/га цукромісткої біомаси з вмістом вуглеводів у соку до 20 %. У 100 кг зеленої маси сорго цукрового міститься 24 - 25 кормових одиниць, що забезпечує його цінність як кормової культури. Сорго цукрове – універсальна культурою, зелену масу якої можна використовувати не тільки у кормовиробництві, а ще й у харчовій промисловості та виробництва різних видів біопалива (рис. 1.9).

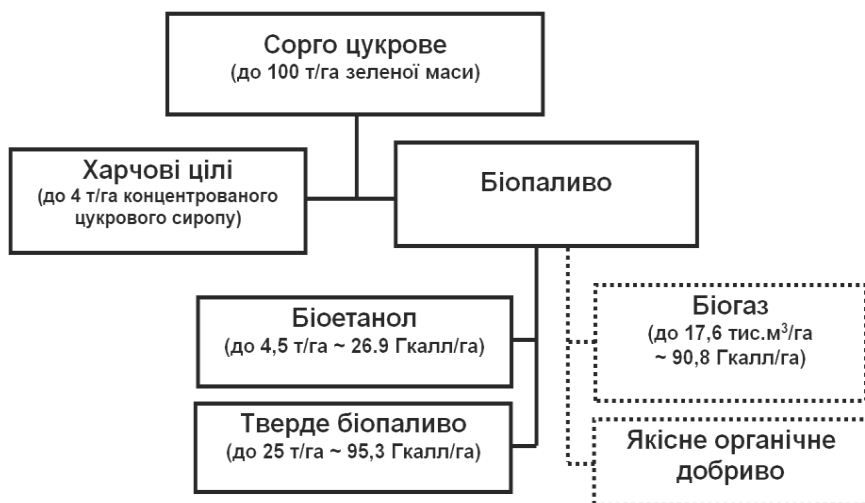


Рис. 1.9 Комплексне використання біомаси сорго цукрового

Сік, отриманий зі стебел сорго цукрового, за вмістом вуглеводів не поступається перед цукровою тростиною, проте на відміну від останньої окрім сахарози містить глюкозу, фруктозу та розчинний крохмаль, що перешкоджає процесу кристалізації. Тому із сорго цукрового виготовляють рідкий цукровий сироп, який використовують у харчовій промисловості.

Завдяки високому вмісту простих вуглеводів у соку сорго цукрове в усьому світі розглядається як найбільш перспективна культура для виробництва біоетанолу [36, 71, 107, 110, 112, 142, 162, 170, 217, 220, 221]. Сучасні вітчизняні високопродуктивні гібриди сорго цукрового дозволяють отримати до 4,5 т/га біоетанолу, що еквівалентно 112,5 ГДж/га (26,9 Гкалл/га) енергії (рис. 1.10).

Після видалення соку зі стебел сорго цукрового можна виготовляти тверде біопаливо (паливні гранули або брикети). Вихід твердого біопалива з одного гектара посівів сорго цукрового може перевищувати 25 т/га, під час згорання якого виділяється 400 ГДж/га (95,3 Гкалл/га) теплової енергії. Таким чином, сумарний вихід енергії, яку забезпечує 1 га посівів сорго цукрового перевищує 500 ГДж/га, що свідчить про перспективність використання цієї культури для біоенергетики.

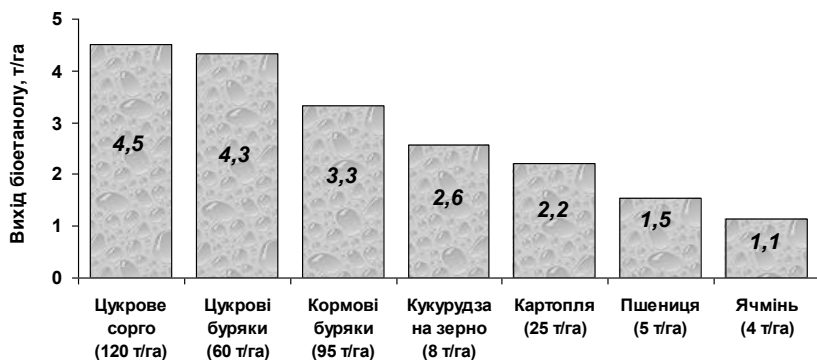


Рис. 1.10. Потенційний вихід біоетанолу з 1 га різних біоенергетичних рослин

Перспективним є використання біомаси сорго цукрового для виробництва біогазу [13, 14, 43, 54, 68, 70, 89, 90, 98, 147, 157, 193, 202, 212, 414]. Завдяки високій врожайності зеленої маси з одного гектара посівів сорго цукрового можливе виробництво до 17,6 тис. м³/га біогазу з концентрацією біометану в середньому 60 % (рис. 1.11). Залишки біогазової ферментації містять значну кількість легкодоступного для рослин азоту, фосфору, калію та мікроелементів і можуть використовуватись як добриво, яке за своєю дією схоже на мінеральні добрива.

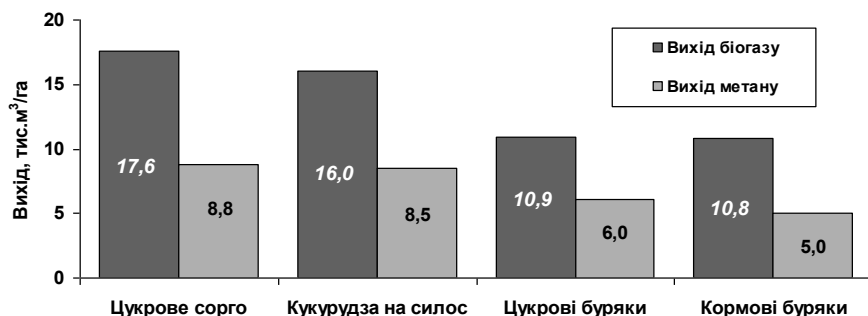


Рис. 1.11. Потенційний вихід біогазу з 1 га різних біоенергетичних рослин

На сьогодні вчені та виробничники розробляють технології комплексного перероблення біомаси сорго цукрового з метою зменшення собівартості біопалива (рис. 1.12). У засушливих регіонах африканського континенту сорго цукрове збирають в період воскової стиглості і залишають зрізані стебла на полі. Впродовж наступних 7 - 10 діб стебла висихають і збираються прес-підбирачами, які формують тюки з біомаси сорго. Тюки транспортують і зберігають для подальшого їх перероблення на біопаливо.

На першому етапі перероблення сухої біомаси сорго цукрового звожують і віджимають на вальцевих пресах, а отриманий сік використовують для виробництва біоетанолу. Отриману бегасу обробляють ензимами для трансформації целюлози та геміцелюлози у моноцукри, з яких в подальшому переробляють на біоетанол, а відходи використовуються для виробництва біогазу [54]. За такого підходу забезпечується максимальне використання енергії, накопиченої рослинами сорго цукрового та перетворення її у біопаливо. Крім того, потужності переробного підприємства задіяні впродовж всього року. Нажаль через особливості погодних умов дана технологія не може бути реалізованою в умовах України.

Цукромістку сировину з сорго цукрового можна також використовувати для виробництва біодизеля, при цьому насичена вуглеводами біомаса використовується як середовище для розмноження ліпідів мікроводоростей, які продукують біодизель [67].

Таким чином, сорго цукрове – це високопродуктивна невибаглива до умов вирощування рослина, біомаса якої є найбільш перспективною для виробництва різних видів біопалива.

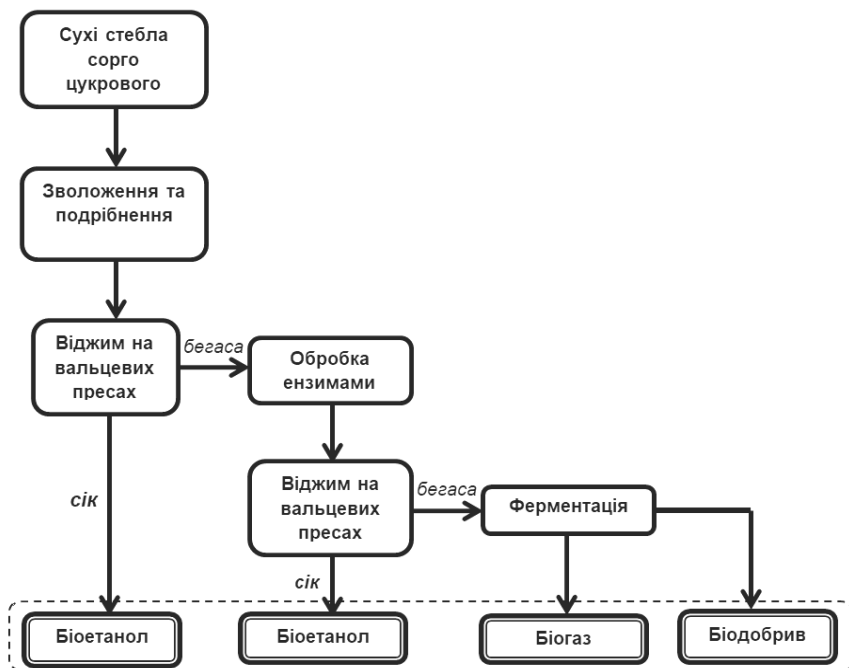


Рис. 1.12. Комплексне перероблення біомаси сорго цукрового на біопаливо

1.4.4. Продуктивність сорго цукрового залежно від рівня мінерального живлення

Завдяки високій продуктивності, невибагливості до умов вирощування сорго цукрове є однією з найбільш перспективних культу, сировина якої використовується як на харчові цілі та корми, так і для виробництва різних видів біопалив, особливо біоетанолу [162, 211]. Сорго цукрове належить до С4 рослин, які більш ефективно використовують світло, воду і елементи живлення порівняно з С3 рослинами [32], крім того сорго цукрове більш посухостійка культура

ніж цукрова тростина (*Saccharum officinarum*) та кукурудза (*Zea mays*), які зараз використовуються для виробництва біопалива у світі [10]. Виробництво і використання біоетанолу, виготовленого з біомаси сорго цукрового дозволяє більше ніж на 70 % скоротити викиди парникових газів [33]. Тому актуальність вирощування сорго цукрового зростає у зв'язку зі змінами клімату, які супроводжуються підвищенням температури повітря та зменшенням кількості опадів [114].

Застосування мінеральних добрив слугує одним із найбільш впливових чинників, що формують потенціал продуктивності рослин. Дози внесення добрив повинні бути обґрунтованими з врахуванням біологічних особливостей рослин та балансу поживних речовин у ґрунті. Внесення підвищених доз добрив, особливо азотних, призводить до масового негативного впливу на навколишнє середовище, значних викидів парникових газів та зниження біологічної активності ґрунтів [308, 363, 365, 406].

Не зважаючи на невибагливість до умов вирощування, сорго цукрове досить суттєво реагує на внесення мінеральних добрив. Азот, фосфор і калій – це основні елементи живлення, які можуть бути ефективними за удобрення соргових культур, хоча ґрунти, на яких вони вирощувались (чорноземи), як правило добре забезпечені калієм. Азотні добрива необхідні в будь – якому випадку, фосфорні – лише у поєднанні з азотними та азотно-калійними. Спільне внесення азотних і фосфорних добрив покращує якісні показники зерна і зеленої маси сорго, підвищуючи в них концентрацію білків, жирів, вуглеводів та фосфору [458]. Внесення фосфорних і калійних добрив без застосування азоту забезпечують мінімальну прибавку врожаю на рівні від 2,4 ц/га (за внесення K_{90}) до 5,1 ц/га (за внесення $P_{90}K_{90}$) [404].

Деякі вчені стверджують, що сорго цукрове маючи потужну і активну кореневу систему, не потребує добрив, так як потрібні поживні речовини рослина в необхідній кількості добуває з ґрунту. Сорго не вибагливе до родючості ґрунту і здатне рости, розвиватись і забезпечувати високі врожаї на землях, на яких інші рослини взагалі гинуть. Проте це не означає що сорго не потребує удобрення. На сьогодні відомо, що сорго, як і всі інші сільськогосподарські культури, реалізує свій біологічний потенціал за умови забезпечення необхідного комплексу агрозаходів, у тому числі внесення достатньої кількості мінеральних добрив [26, 82, 226], особливо на ґрунтах з низьким рівнем забезпечення елементами живлення [224, 354, 452].

Фосфорні добрива прискорюють визрівання насіння, калійні – забезпечують стійкість стебел до вилягання, а азотні – стимулюють ріст рослин і підвищують їх загальну продуктивність [162, 302].

Азот є найбільш дефіцитним елементом живлення для рослин сорго цукрового. Найбільше використання азоту рослинами відмічається у періоди інтенсивного росту і формування насіння, особливо у період за 10 - 15 діб до початку фази викидання волоті й 10 - 15 діб після фази цвітіння. Коренева система рослин сорго активно споживає фосфор від початку вегетації, до початку фази викидання волоті рослини засвоюють близько 50 % загального обсягу P_2O_5 . Калій споживається рослинами рівномірно упродовж усього вегетаційного періоду [332, 333].

Результати досліджень Макарова Л.Х. свідчать, що площа листової поверхні й уміст хлорофілу в листках рослин сорго цукрового досягали максимальних значень за внесення дози мінеральних добрив $N_{30}P_{60}K_{30}$, водночас на чисту продуктивність фотосинтезу добрива не мали суттєвого впливу [354, 355]. Однак, за даними Бондаренка В.П. застосування азотних добрив дозволяло підвищити фотосинтетичний потенціал, чисту продуктивність фотосинтезу, і як наслідок – загальну фотосинтетичну активність рослин сорго цукрового [237].

На основі досліджень Погребняка П.Л. [395] встановлено, що сорго виносить із ґрунту значну кількість макроелементів (близько 77 - 112 кг/га азоту, 35 - 56 кг/га фосфору та 129 - 158 кг/га калію). Частково вміст мінеральних речовин компенсується природними запасами з ґрунту, в залежності від районів вирощування, а ті речовини, яких не достатньо в ґрунті, необхідно компенсувати внесенням мінеральних добрив. Водночас внесення надмірних доз азотних добрив може призвести до накопичення нітратних і нітритних форм азоту у зеленій біомасі. Крім того, за високих доз азотного живлення послаблюється посухостійкість рослин, збільшується період їх вегетації та підвищується кустистість. Таким чином, ефективність добрив, особливо в посушливих умовах, проявляється лише за умов їх раціонального використання, завищені дози не мають позитивного впливу на продуктивність культур [276, 376].

За результатами досліджень [323, 324], найвища врожайність сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ (74,6 т/га) досягалась за дворазового внесення азотних добрив (перший раз – під час проведення передпосівної культивуації N_{45} , другий раз – під час підживлення рослин

N₄₅) на фоні P₆₀K₆₀, які вносили восени під глибоку оранку. Внесення дози добрив N₉₀P₆₀K₆₀ під сорго цукрове призводило до формування у ґрунті дефіциту азоту (50 - 70 кг/га), калію (120 - 150 кг/га) на фоні зрівноваженого балансу фосфору.

На південному-сході України під зернове та сорго цукрове оптимальною визнано дозу мінеральних добрив N₆₀P₆₀K₃₀, за збільшення доз азоту та фосфору до 90 кг/га приріст врожаю виявився значний [233].

У Степовій зоні України найбільш позитивний вплив на особливості росту та продуктивність сорго цукрового чинить повне мінеральне удобрення в дозі N₆₀₋₉₀P₆₀K₃₀, внесені під зяблеву оранку [379, 380, 381]. За результатами інших досліджень для Степової Зони рекомендується вносити азотні добрива

Сорго цукрове – рослина з високою потребою біофільних елементів [353]. Для формування врожаю в 35 - 125 т/га зеленої маси рослина потребує 85 - 300 кг/га азоту, 25 - 90 кг/га фосфору та 110 - 400 кг/га калію. Для формування 1 т зеленої маси сорго цукрове використовує 2,4 - 2,6 кг азоту, 0,7 - 0,8 кг фосфору, 3,0 - 3,2 кг калію.

У дослідженнях встановлено що накопичення зеленої маси сорго цукрового значною мірою залежить від доз мінеральних добрив, густоти рослин та ширини міжрядь. В умовах Лісостепу за внесення добрив у дозі N₂₀P₇₀K₁₃₀ збільшення густоти від 200 до 400 тис. рослин на 1 га обумовило приріст зеленої маси у фазі викидання волоті на 17,3 т/га порівняно з дозою N₆₀P₄₀K₆₀ [279].

Найвищий вихід цукрів (10,74 т/га) та біоетанолу (5,4 т/га) отримано під час збирання сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості за внесення добрив у дозі N₁₈₀P₁₅₀K₉₀. Для отримання найбільшого виходу біоетанолу з 1 т зеленої маси сорго (46,3 кг/т) доцільно вносити під сорго цукрове дозу добрив N₆₀P₅₀K₃₀ і збирати зелену масу у фазу молочно-воскової стиглості зерна. Дані отримані на чорноземах типових в умовах Правобережного Лісостепу України [325].

Дані досліджень розвитку та продуктивності рослин сорго цукрового, проведених на полях Волинського АПВ [437], свідчать, що внесення мінеральних добрив N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ дало приріст у порівнянні до контролю (без добрив) близько 22 т/га зеленої маси та 1,4 % сухої речовини.

Дослідженнями, проведеними в умовах Правобережного Лісостепу України встановлено, що для отримання виходу енергії з

одиниці площі посівів сорго цукрового на рівні 837 ГДж/га та виходу умовного біопалива – 28,5 т/га необхідно висівати гібрид ‘Аграрний 5F’ та вносити під посів добрива у дозі $N_{120}P_{100}K_{60}$ [290].

Відомо, що застосування азотних добрив дозволяє підвищити вихід біоетанолу. Збільшення доз азотних добрив дозволяло підвищити врожайність зеленої маси, не впливаючи суттєво на цукристість соку, при цьому вихід біоетанолу також зростав однак основний ефект було виявлено від внесення малих доз добрив [78, 127]. Встановлено, що суттєвий вплив на вихід біопалива мають строки сівби насіння сорго цукрового, при цьому ступінь впливу залежить від сортового складу. В умовах південно-західної частини США найвищий вихід біоетанолу досягнуто за сівби насіння в травні [199]. Іншими дослідженнями було встановлено, що ранні строки сівби насіння сорго цукрового дозволяють на 13 % збільшити вихід біоетанолу, при цьому дози добрив та норма висіву суттєво не впливали на вихід біопалива [114]. Разом з тим, рядом досліджень відмічено суттєвий вплив доз добрив як на врожайність зеленої і абсолютно сухої маси сорго цукрового, так і на цукристість його соку [85, 203].

Таким чином, застосування добрив суттєво впливає на показники продуктивності рослин сорго цукрового та якості вирощеної біомаси. При цьому ефективність застосування добрив залежить від сортового складу рослин, агрохімічних та агрофізичних характеристик ґрунту та погодних умов.

Водночас потребують подальшого вивчення процеси формування енергетичної продуктивності сорго цукрового під дією доз мінеральних добрив. Відкритим залишається питання оцінки економічної і енергетичної ефективності застосування мінеральних добрив під час вирощування сорго цукрового для виробництва різних видів біопалива у різних частинах Лісостепу України.

1.4.5. Залежність продуктивності сорго цукрового від сортових особливостей та тривалості вегетації рослин

Сорго цукрове є найбільш перспективною культурою для виробництва біопалива в світі завдяки його швидким темпам зростання, ранньому дозріванню, більш ефективному використанню води та обмеженій потребі в добривах [10, 80, 81, 162].

У зв'язку зі змінами клімату волога може стати головним стримуючим фактором для розвитку сільськогосподарського виробництва, тому сорго цукрове може замінити цукрову тростину та інші цукроносні та кормові культури, оскільки під час вирощування сорго цукрове споживає у 4 рази менше води порівняно з цукровою тростиною [164, 166, 192].

Тому стає актуальним питання вивчення впливу елементів технології вирощування сорго цукрового на його продуктивність та вихід біопалива. Завдяки стійкості до посухи сорго цукрове може вирощуватися на енергетичні цілі в зоні недостатнього зволоження південно-східної частини України [282, 429, 443]. Водночас установлено [444], що в умовах нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільше на врожайність сухої маси (69 %) впливають сортові особливості сорго цукрового. Крім того, оптимальні строки та способи збирання біомаси культури залежать від сортових особливостей, погодних умов, а також від способів подальшого використання зібраної біомаси: для виробництва біогазу чи біоетанолу [251].

Закордоном дослідження, спрямовані на вивчення агробіологічних основ формування продуктивності сорго цукрового проводяться здебільшого в країнах з теплим та посушливим кліматом, таких як: Індія [164], США [114, 199], Пакистан [80, 81], Туреччина [17], країнах Африки [146].

Відомо, що урожайність зеленої маси сорго цукрового та вихід біоетанолу значно залежить від сортових особливостей, а також від строків сівби насіння та строків збирання біомаси. Зокрема встановлено, що у південно-західних штатах США найбільший розрахунковий вихід біоетанолу було отримано за сівби насіння у травні, а ступінь впливу строків сівби насіння на продуктивність сорго цукрового значно залежала від його сортових особливостей [199]. Іншими дослідженнями було встановлено, що ранні строки сівби насіння сорго цукрового дозволяють на 13 % збільшити вихід біоетанолу, при цьому дози добрив та норма висіву суттєво не впливали на вихід біопалива [114].

Дослідженнями, проведеними в теплих та посушливих умовах Пакистану встановлено, що подовження вегетаційного періоду з 60 до 120 діб сприяло збільшенню сухої маси на 48 % та зменшенню золи на 28 % [80]. Разом з тим з подовженням вегетації рослин відмічалось значне зростання вмісту целюлози, геміцелюлози і лігніну, що негативно впливало на питомий вихід біогазу [80]. При цьому ранні і

пізні строки сівби насіння зменшували врожайність сухої маси сорго цукрового на 23 % [81].

Турецькими дослідниками відмічено, що за збирання рослин сорго цукрового у більш пізні строки збільшується врожай зеленої та сухої маси, висота рослин та вміст лігніну. За збирання сорго цукрового в фазах викидання волотей і молочної стиглості вміст сухих речовин не перевищував 24,7 % [17]. Тому найкращим строком збирання на кормові цілі є фаза воскової або повної стиглості. Жоден із досліджуваних сортів сорго цукрового не був придатний для силосування якщо його збирали раніше фази воскової стиглості [17].

Дослідженнями, проведеними в Кенії встановлено, строки збирання біомаси сорго цукрового є важливим фактором, що впливає на вміст цукру і вихід технічного біоетанолу. Результати цих досліджень показали, що збирання зеленої маси сорго цукрового через 104 - 117 діб після сівби насіння найбільш оптимальні для виробництва біоетанолу [146].

Широкомасштабні дослідження, які були проведені в чотирьох різних регіонах Індії показали, що найвища врожайність зеленої маси, вихід соку та вміст цукрів у соку відмічались за сівби насіння сорго цукрового в червні. За цього строку сівби отримали максимальний вихід біоетанолу для усіх 12 сортів сорго цукрового, які досліджувались [164].

Водночас строки збирання біомаси суттєво впливали на технологічну якість соку сорго цукрового та ферментативну активність мікробіоти під час виробництва біоетанолу [64, 143]. Найвищу концентрацію цукрів у соку стебел сорго цукрового відзначено у фазі повної стиглості, проте найбільший вихід цукру з одиниці площі (9,4 т/га) – між фазами воскової та повної стиглості [200].

За використання сорго цукрового на енергетичні цілі важливо збільшити часовий проміжок між початком і закінченням збирання біомаси, оскільки це дасть змогу підвищити економічні показники ефективності переробляння біомаси на біоетанол чи біогаз [209].

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить про недостатню обґрунтованість впливу строків збирання зеленої маси сорго цукрового на формування його енергетичної продуктивності, крім того виникає необхідність вивчення можливості дворазового збирання зеленої маси сорго цукрового як сировини для виробництва біопалива у різних частинах Лісостепу України.

1.5. Аналіз можливостей використання буряків цукрових для виробництва біопалива

Джерелом сировини для виробництва біоетанолу є цукроносні культури (цукрові та кормові буряки, сорго цукрове, цикорій та інші), крохмаленосні культури (картопля, топінамбур, кукурудза на зерно, пшениця, ячмінь та інші), а також целюлозомістка біомаса. Найбільш ефективною цукроносною культурою для виробництва біоетанолу в умовах помірного клімату є буряки цукрові, які відзначаються високим потенціалом продуктивності [8, 19, 24, 34, 39, 45, 63, 83, 93, 101, 111, 116, 119, 122, 150, 154, 156, 161, 178, 187, 191, 196, 197, 210, 213, 214, 215]. З одного гектара енергетичних буряків цукрових (за урожайності 60 т/га) можна отримати понад 4,3 т біоетанолу (див. рис. 1.9).

1.5.1. Сучасні тенденції щодо застосування добрив під час вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі

Курс на побудову вуглецево нейтральної світової економіки, який задекларований у Паризькій Кліматичній Угоді [4, 50, 72, 73] вимагає перегляду традиційних технологій як у промисловості, так і у сільськогосподарському виробництві [25, 134, 155, 201, 218]. Оскільки 18,4 % (див. рис. 1.3.) усіх глобальних викидів парникових газів формується аграрним комплексом [168], необхідно спрямувати усі зусилля науковців та виробничників на розроблення нових сталих технологій у рослинництві за мінімального використання синтетичних речовин (добрив, засобів захисту рослин), а також зменшення інтенсивності дії на ґрунті робочими органами сільськогосподарських машин.

Вважається, що внесення азотних добрив у ґрунт веде до утворенню закису азоту, який є більш агресивним парниковим газом порівняно з вуглекислим газом. У структурі глобальних викидів парникових газів частка від внесення мінеральних добрив становить 4,1 %, що значно вище порівняно з іншими чинниками у рослинництві [168].

Проблемі застосування добрив під час вирощування буряків цукрових присвячено велика кількість досліджень, як вітчизняних [314, 316, 318, 317, 319, 322, 383, 461], так і закордонних [16, 20, 40, 87, 88, 92, 95, 172, 175, 219].

Застосування азотних добрив є одним з ключових факторів впливу на продуктивність буряків цукрових [301, 467]. З одного боку внесення мінеральних добрив, особливо азотних, сприяє підвищенню врожайності біомаси буряків, з іншого – зменшує вміст сухої речовини та цукрів.

Разом з тим, через високу вартість мінеральних добрив, їх застосування веде до підвищення собівартості вирощеної біомаси. Зі збільшенням дози азотних добрив до 60 – 100 кг д.р. врожайність коренеплодів та гички буряків цукрових зростає, водночас знижується вміст цукру. Підвищення дози азоту веде до зростання коефіцієнта транспірації (до 600), що призводить до нераціонального використання вологи рослинами. Високі дози азоту негативно впливають на збереженість коренеплодів буряків цукрових до їх перероблення на цукор чи біопаливо [87, 462]. Тому визначення правильної дози внесення азотних добрив має першочергове значення під час розроблення технології сталого вирощування буряків цукрових на біопаливо.

Фосфорне та калійне добриво вноситься восени по стерні попередника. Для фосфору особливо важливо ретельне перемішування з ґрунтом, що пов'язано із слабкою його рухомістю. Буряки цукрові добре реагують на фосфорне добриво, навіть за високого вмісту фосфору в ґрунті [62, 88, 117, 322, 462]. Дослідження свідчать про важливість забезпечення фосфорного живлення буряків цукрових на початку і в кінці вегетації рослин [173, 229, 239, 374].

Буряки цукрові, як і сорго цукрове споживають велику кількість калію, оскільки цей мікроелемент бере участь у синтезі вуглеводів. Калій для буряків цукрових необхідний упродовж усього вегетаційного періоду рослин, оскільки наявність у достатній мірі цього макроелементу посилює фотосинтетичну активність рослин, пришвидшує синтез вуглеводів та їх транспортування до коренеплодів [129, 186, 366, 428]. Тому в системі живлення буряків цукрових для виробництва біопалива застосування калійних добрив є обов'язковим [2, 29, 62, 108, 322].

Незважаючи на значну кількість досліджень, спрямованих на вивчення впливу добрив на вихід цукру з буряків цукрових, відкритими залишаються питання пов'язані з особливостями формування енергетичного потенціалу цієї культури залежно від різних доз добрив.

1.5.2. Вплив строків збирання біомаси буряків цукрових на вихід біопалива

За традиційною технологією збирання коренеплодів буряків цукрових розпочинають за їх фізіологічної стиглості, тобто коли на дихання вони витрачають більше енергії, ніж утворюється нових енергетично корисних речовин в процесі фотосинтезу. Зазвичай у буряків цукрових уповільнюється формування розміру коренеплоду,

але триває процес накопичення вуглеводів. За сприятливих погодних умов і активного листкового апарату процес синтезу цукрів продовжується до жовтня, а за відсутності заморозків – до початку листопада. В умовах помірного середньоевропейського клімату за більш пізніх строків збиранні врожаю приріст біомаси становить 0,7 - 2,0 % [31, 66, 86, 121, 159, 462,]. Тому до збирання буряків цукрових як сировини для виробництва цукру слід приступати не раніше жовтня.

Для виробництва біоетанолу, як і для виробництва цукру, важливим є збір цукру з одиниці площі, оскільки від цього показника залежатиме вихід біоетанолу з одиниці площі.

Дещо інші вимоги до якісних показників біомаси буряків цукрових в разі перероблення їх на біогаз. У цьому випадку важливо отримати максимальну кількість біомаси. Вміст цукрі відіграє другорядну роль. Водночас важливо враховувати, що для виробництва біогазу можливе використання як коренеплодів, так і листового апарату буряків цукрових. Тому в цьому випадку строки збирання можуть бути ранішими [23, 84, 120, 136, 177, 181, 194]. Крім того, необхідність раннього надходження зеленої маси з поля у біогазові реактор може бути приводом для ранніх строків збирання (серпень - вересень). У цьому випадку важливо вивчити динаміку накопичення енергетично цінних речовин в коренеплодах та гичці буряків цукрових з метою обґрунтування раціональних строків збирання біомаси з врахуванням особливостей її подальшого перероблення (біогаз чи біоетанол)

1.5.3. Особливості виробництва біогазу та біоетанолу з біомаси буряків цукрових в Україні

За рахунок високому вмісту вуглеводів буряки цукрові (коренеплоди та гичка) поряд із кукурудзяним силосом є перспективною сировиною для виробництва біогазу [1, 7, 9, 12, 65, 104, 131, 135, 148, 144,]. Відповідно до нової європейської директиви про поновлювані джерела енергії (EEG 2012) масова частка кукурудзи у живильному субстраті для біогазових установок має становити не більше 60 %. Тому у ЄС зростає попит на енергетичні буряки цукрові для виробництва біогазу [38, 48, 60, 126, 133, 149, 160, 165, 198].

Найбільшим недоліком бурякової біомаси вважалась складність її зберігання впродовж тривалого періоду. Однак останні дослідження німецьких економістів спростовують це. Так, Матіас Шіндлер [123] дослідив 3 варіанти збереження біомаси буряків цукрових, як сировини для виробництва біогазу (рис. 1.13).

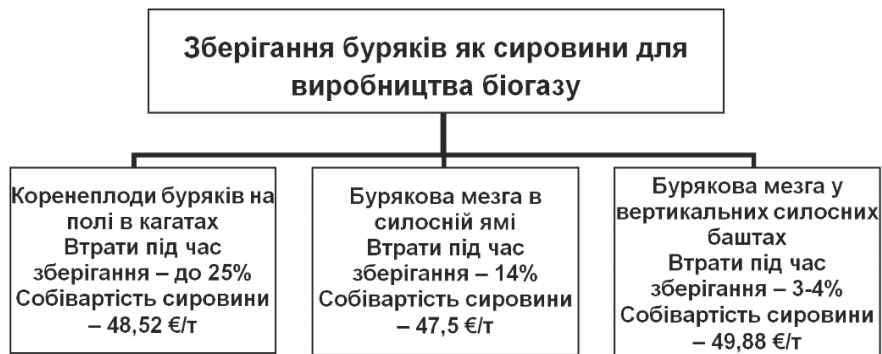


Рис. 1.13. Способи зберігання буряків цукрових для виробництва біогазу

За першим варіантом буряки зберігаються на полі після звичайного попереднього очищення, без будь-якої додаткової обробки, у звичайних кагатах. Кагати насипають за допомогою поворотного конвеєра на висоту до 10 м. Додаткове ущільнення буряків у даному випадку не потрібне, оскільки коренеплоди за рахунок своєї ваги укладаються досить компактно. За цим варіантом спостерігається «стікання» соку з кагату, яке може становити до 25 % маси буряків. Через це висота кагату до кінця зберігання може зменшитись на 40 %. Буряки при цьому стають твердішими, всихають. З кагату їх беруть за потребою, здійснюють легку дезінфекцію, видаляють каміння та подрібнюють. Далі подають до біогазової установки.

Другий варіант ґрунтується на зберіганні бурякової мезги в силосній ямі. Привезені попередньо очищені сухі коренеплоди після видалення камінців подрібнюють. Пропускна здатність подрібнювача становить 100 т/год. За допомогою конвеєра бурякова мезга подається у силосну яму ємністю близько 8000 т. Звідти мезга в міру необхідності перекачується безпосередньо в ферментатор. Цей варіант має низькі затрати на будівництво й облаштування силосної ями та низькі експлуатаційні затрати (завдяки перекачуванню). Натомість мають місце втрати через відкрите зберігання. За короткий час на поверхні мезги утворюється міцна кірка, швидко зменшується показник рН,

зменшується швидкість реакцій. Втрати при зберіганні таким чином становлять близько 14 відсотків.

За третім варіантом теж зберігають бурякову мезгу, проте не в ямах, а у вертикальних герметичних силосних баштах. Попередньо очищені звичайним способом буряки миють у пересувній мийці, подрібнюють та перекачують утворену мезгу до силосної башти. Максимальна ємкість такої башт порівняно невелика – близько 1100 т. Перший раз башту наповнюють у кінці вересня, другий і третій раз по 500 - 600 т – у грудні та березні. Через необхідність застосування пересувної установки для миття та подрібнення кожного разу під час наповнення башти виробничі затрати зростають. Крім того, буряк залишається на полі у кагатах до березня. Проте, за цим варіантом, завдяки закритому способу зберігання втрати сировини будуть незначними - близько 3 - 4 відсотки.

Враховуючи недоліки та переваги кожного з варіантів зберігання було встановлено, що собівартість біомаси перед її подачею до ферментатора буде майже однаковою за усіма варіантами. При цьому усі три варіанти забезпечують меншу собівартість бурякової біомаси ніж силосу кукурудзи (50,7 €/т).

Упродовж останніх років спостерігається стійка тенденція до зменшення площ посівів буряків цукрових. Причиною цього є відсутність ринків збуду цукру. Для забезпечення внутрішніх потреб у цукрі, а це 1,8 млн т., достатньо висівати буряки цукрові на площі близько 350 тис. га. Однак, для забезпечення збалансованої системи сівозмін в Україні площа буряків цукрових має становити близько 650 тис. га. У разі організації виробництва біоетанолу ці площі можуть бути задіяні для вирощування енергетичних буряків цукрових. Це дозволить щорічно отримувати до 30 млн т солодких коренеплодів, половину з яких залучити на виробництво цукру для забезпечення внутрішнього ринку, а з меляси виготовляти до 170 тис. т біоетанолу (табл. 1.2). Решту 15 млн т коренеплодів буряків цукрових можна переробляти на біоетанол. Це дозволить щорічно виробляти до 1,3 млн т біоетанолу.

Для виробництва біоетанолу на цукрових заводах необхідно здійснити їх модернізацію, що дозволить здійснювати робочий цикл за одним із 4 напрямів (рис. 1.14) залежно від кон'юнктури ринку. За першим (класичним)

способом буряки цукрові переробляються на цукор, а меляса – на біоетанол. Отриманий таким чином біоетанол матиме найнижчу собівартість ($\approx 0,7$ \$ / л), однак його кількість не задовільнить внутрішньої потреби. За другим способом всі коренеплоди переробляються на біоетанол, собівартість якого при цьому зростає до 1 \$ / л. Третім способом передбачено, що частина очищеного соку йде на виробництво цукру, а інша частина – біоетанолу. Вартість біоетанолу, за такого способу його виробництва, зростає до 1,1 \$ / л. Четвертий спосіб полягає у отриманні цукрового сиропу, який згодом буде перероблятися на біоетанол. Це дозволяє розтягнути в часі процес виробництва біоетанолу, але збільшує його собівартість майже до 1,2 долларів США за літр.

Таблиця 1.2

Диверсифіковане перероблення буряків цукрових на цукор і біоетанол

Валовий збір буряків цукрових, млн т, для виробництва:		Виробництво цукру для внутрішнього споживання, млн т	Вихід меляси, млн т.	Виробництво біоетанолу, млн т:	
цукру	біоетанолу			з меляси	безпосередньо з коренеплодів
15	15	1,8	0,71	0,17	1,15

Отже, в умовах України буряки цукрові є найбільш перспективною культурою для виробництва біоетанолу на модернізованих цукрових заводах. Виробництво біоетанолу з буряків цукрових дозволить відродити в Україні галузь буряківництва і стабілізувати посівні площі під цією культурою на рівні 650 тис.га., що позитивно вплине на структуру сівозмін. Однак, дотепер відсутня технологія вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі. Зокрема потребують уточнення оптимальні дози добрив, густина стояння рослин та строки збирання енергетичних буряків цукрових.

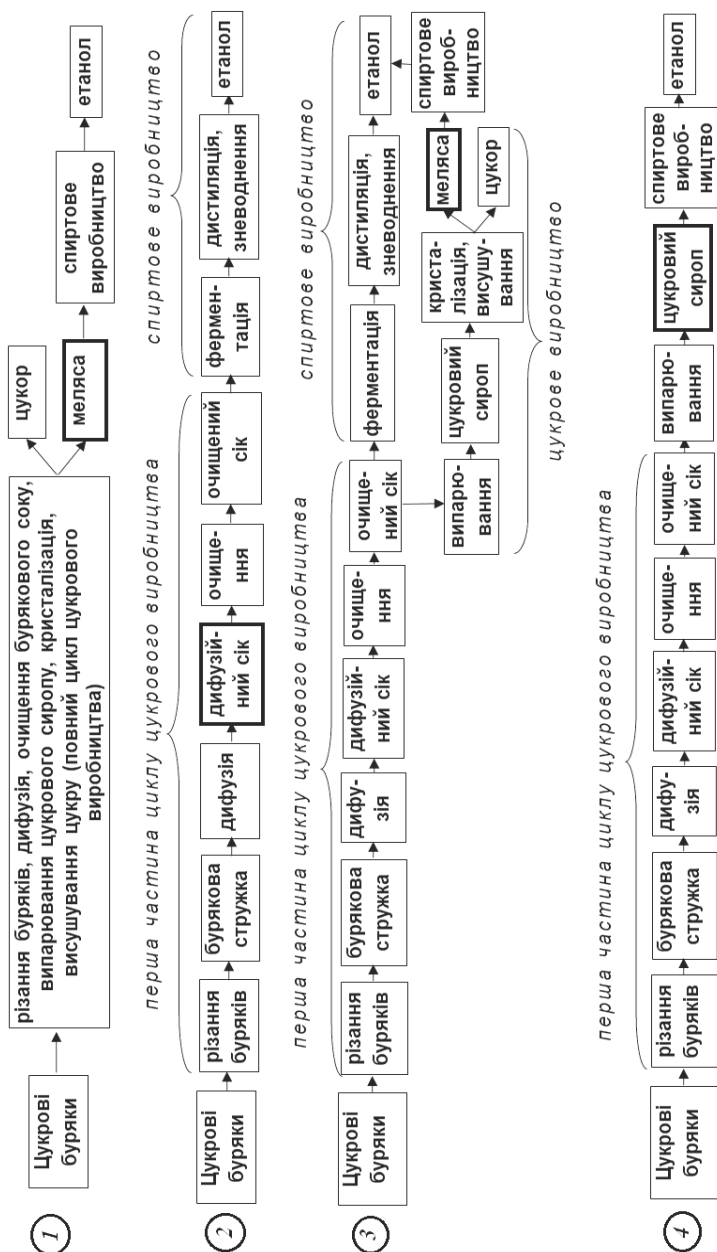


Рис. 1.14. Варіанти переробки буряків на цукор та біетанол

Висновки до розділу

За результатами огляду літератури можна зробити наступні висновки:

1. Щоб досягнути цілей, намічених Україною на шляху до побудови до 2060 року вуглецево нейтральної економіки потрібен системний підхід для проведення реформ в енергетичній сфері та агропромисловому виробництві.

2. Для забезпечення подальшого зростання галузі біоенергетики необхідно створити достатню кількість високоякісної сировинної бази, провідне місце в якій посідає цукромістка біомаса.

3. Сорго цукрове за рахунок високої продуктивності, високому вмісту вуглеводів та невибагливості до умов вирощування є найбільш перспективною сільськогосподарською культурою для виробництва різних видів біопалива (біоетанол, біогаз, тверде біопаливо). З одного гектара посівів сорго цукрового можна отримати до 4,5 т/га біоетанолу та до 25 т/га твердого біопалива, або до 17,6 тис. м³/га біогазу. Загальний вихід енергії з 1 га посівів сорго цукрового перевищує 400 ГДж/га.

4. В умовах України буряки цукрові є найбільш перспективною культурою для виробництва біоетанолу та біогазу, яке має здійснюватись на модернізованих цукрових заводах. Виробництво біопалива з буряків цукрових дозволить відродити в Україні галузь буряківництва і розширити посівні площі, що позитивно вплине на структуру сівозмін. Однак, дотепер відсутня технологія вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі. Зокрема потребують уточнення оптимальні дози добрив, густота стояння рослин та строки збирання енергетичних буряків цукрових.

3. Аналіз літературних джерел свідчить про необхідність вивчення впливу строків збирання біомаси цукроносних культур та особливостей застосування добрив на вихід біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні та погодні умови проведення досліджень

Дослідження проводились у чотирьох підзонах Лісостепу України (рис. 2.1): нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (Білоцерківська ДСС ІБКіЦБ НААН), нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (Ялтушківська ДСС ІБКіЦБ НААН), нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (Іванівська ДСС ІБКіЦБ НААН); недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України (Веселоподільська ДСС ІБКіЦБ).



Рис. 2.1. Розміщення дослідно-селекційних станцій в яких проводились польові дослідження:

Я ДСС – Ялтушківська дослідно-селекційна станція;

БЦ ДСС – Білоцерківська дослідно-селекційна станція;

ВП ДСС – Веселоподільська дослідно-селекційна станція;

І ДСС – Іванівська дослідно-селекційна станція.

2.1.1 Зона нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (Білоцерківська ДСС)

Білоцерківська ДСС знаходиться в зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України. Географічне положення станції становить 49°43' північної широти і 30°06' західної довготи. Дослідне поле Білоцерківської ДСС розміщене на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з умістом гумусу в орному шарі (0 - 30 см) – 3,9 %. Реакція ґрунтового розчину – близька до нейтральної (рН сольової витяжки становить 6,4). Ємність поглинання змінюється від 24,8 до 25,4 мг-екв. на 100 г ґрунту, насиченість поглинаючого комплексу – 82 - 87 %. Лужногідролізованого азоту в орному шарі ґрунту – 124 мг (за Корнфільдом); рухомого фосфору – 160 мг та калію – 96 мг (за Чириковим) на 1 кг ґрунту.

Основним джерелом зволоження ґрунту є атмосферні опади, які протягом року випадають нерівномірно. Найбільша частина опадів припадає на теплий період, особливо на середину літа. В окремі роки навесні спостерігається період без дощів, що негативно впливає на ріст і розвиток сорго цукрового та інших культур. Сума ефективних температур (сума температур вище 10 °С за вегетаційний період) складає 2500 - 2800 °С. Річна кількість опадів складає 538 мм, середня багаторічна температура повітря становить +6,9 °С (за даними Білоцерківської метеорологічної станції).

У роки проведення досліджень, за даними метеорологічних спостережень температурний режим 2011, 2012, 2013, 2014 та 2015 років був без значних коливань, але з перевищенням середніх багаторічних показників. У 2011 році за період вегетації температура повітря була більшою за середні багаторічні значення на 1,1 °С. За кількістю опадів 2011 рік відзначився певною нерівномірністю їх випадання, у квітні опадів випало менше на 27,2 мм від середніх багаторічних показників, проте у червні, липні та жовтні опадів випало більше від середніх багаторічних значень на 62,0, 30,1 та 29,9 мм. Інші місяці мають незначні відхилення від середніх багаторічних даних (рис. 2.2).

Температура повітря за вегетаційний період 2012 року перевищувала середні багаторічні показники на 2,71 °С (рис. 2.3). У цілому за вегетаційний період кількість опадів у 2012 році була меншою на 46,7 мм від середніх багаторічних значень. Зокрема у травні, червні, липні та вересні кількість опадів була меншою за середні багаторічні показники на 39,2; 33,2; 26,1 та 14,6 мм відповідно, проте у квітні, серпні і жовтні кількість опадів була більшою на 24,7; 31,8 та 9,9 міліметрів.

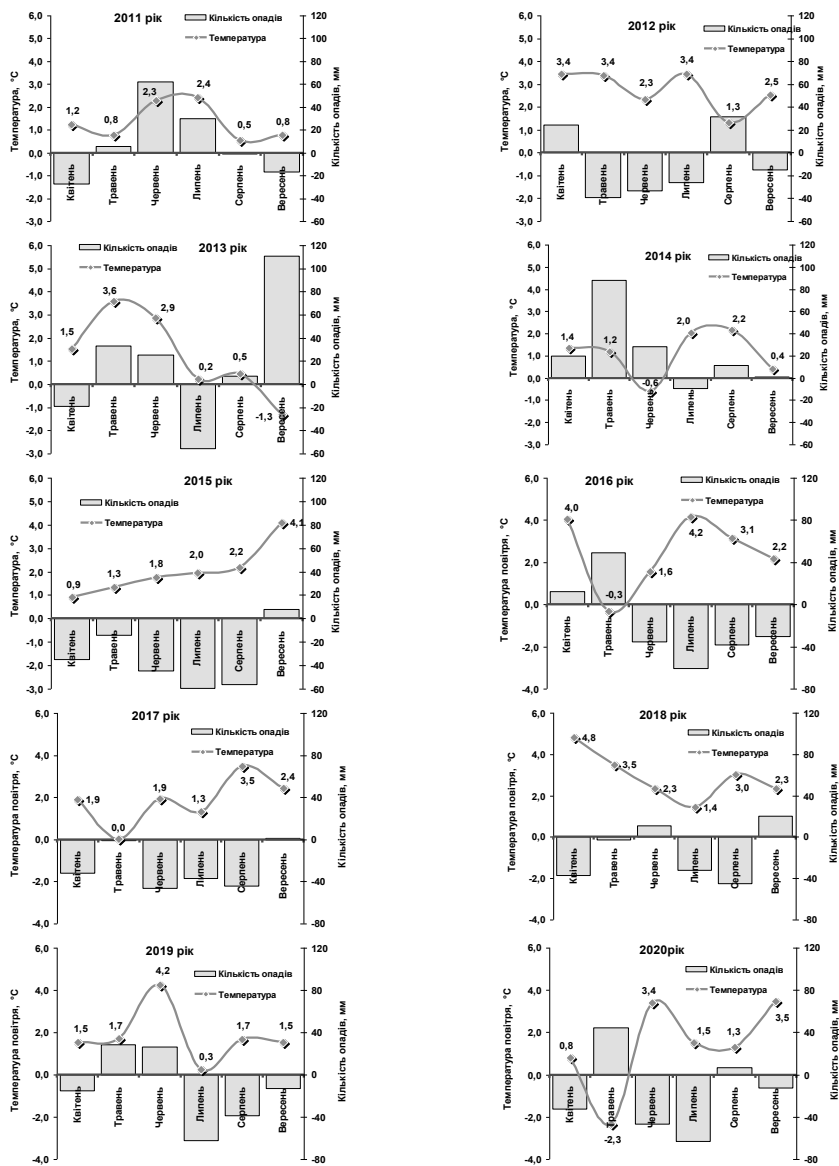


Рис. 2.2. Відхилення від середніх багаторічних значень кількості опадів і температури повітря (БЦ ДСС, 2011 - 2020 рр.)

У 2013 році за період вегетації рослин температура повітря перевищувала багаторічні значення на 1,3 °С. Кількість опадів була вищою за середні багаторічні показники на 75,4 мм. Слід зазначити, що у вересні кількість опадів значно перевищила середні багаторічні значення на 110,7 мм, тоді як у квітні, липні та жовтні їх кількість була нижчою на 18,8; 55,2 та 27,5 міліметра.

У 2014 році температура повітря в середньому за вегетаційний період перевищувала багаторічні дані на 1,1 °С. За кількістю опадів 2014 рік відзначився певною нерівномірністю їх надходження. У квітні, травні та червні кількість опадів перевищувала середні багаторічні показники на 19,7; 88,3 та 28,6 мм відповідно. У липні їх кількість була меншою за середні багаторічні показники на 9 мм. У серпні та вересні кількість опадів щодо багаторічних була більшою на 11,7 та 1,0 мм

Температурний режим у вегетаційний період рослин 2016, 2017, 2018, 2019 та 2020 років не відзначався значними коливаннями, проте спостерігалось перевищення середніх багаторічних показників для даної зони. У 2016 році за період вегетації температура повітря була більшою за середні багаторічні значення на 2,4 °С. За кількістю опадів 2016 рік відзначився певною нерівномірністю їх випадання, у квітні й травні опадів випало більше відповідно на 12,4 та 49,2 мм від середніх багаторічних, проте у червні, липні, серпні та вересні опадів випало менше від середніх багаторічних значень відповідно на 35,3; 60,5; 38,0 та 30,4 мм (рис. 2.4).

У 2017 році температура повітря за період вегетації рослин на 1,9 °С перевищувала середні багаторічні значення. У цілому за вегетаційний період кількість опадів цього року була меншою на 159,2 мм від середніх багаторічних значень. Зокрема у квітні, червні, липні й серпні кількість опадів була меншою за середні багаторічні показники на 32,1; 46,3; 36,9 та 43,9 мм відповідно, у травні і вересні кількість опадів була майже на рівні з багаторічними даними.

У 2018 році за період вегетації температура повітря була більшою за багаторічні значення на 2,9 °С. Кількість опадів за вегетаційний період була нижчою за середні багаторічні показники на 84,8 мм. Слід зазначити, що у червні й вересні кількість опадів перевищила середні багаторічні показники на 11 та 20,2 мм, тоді як у квітні, травні, липні та серпні їх кількість була нижчою на 36,8; 2,4; 31,8 та 45,0 міліметра.

У 2019 році температура повітря в середньому за вегетаційний період перевищувала багаторічні дані на 1,8 °С. За кількістю опадів 2019 рік відзначився певною нерівномірністю випадання опадів. У травні та червні їх кількість перевищувала середні багаторічні показники на 28,8 та 26,7 мм відповідно. У квітні, липні, серпні та вересні їх кількість була меншою за середні багаторічні показники відповідно на 14,8; 61,9; 38,6 та 12,9 міліметра.

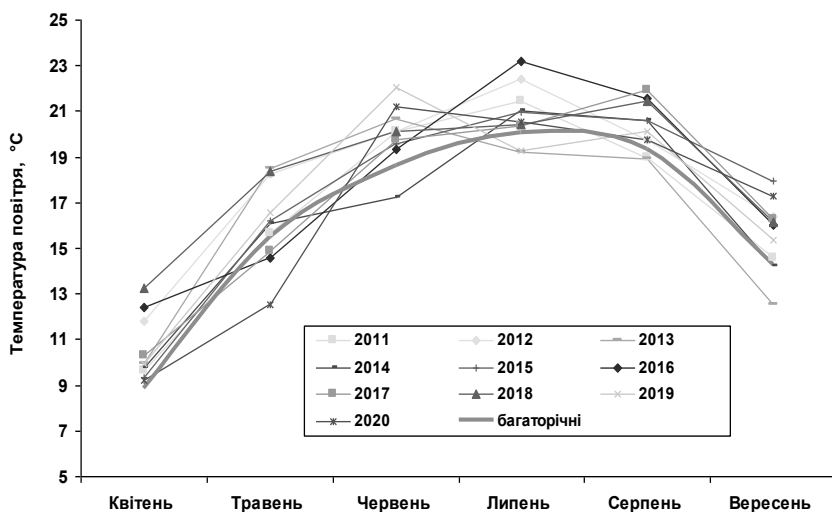


Рис. 2.3. Середньомісячна температура повітря за вегетаційний період (БЦ ДСС, 2011 - 2020 рр.)

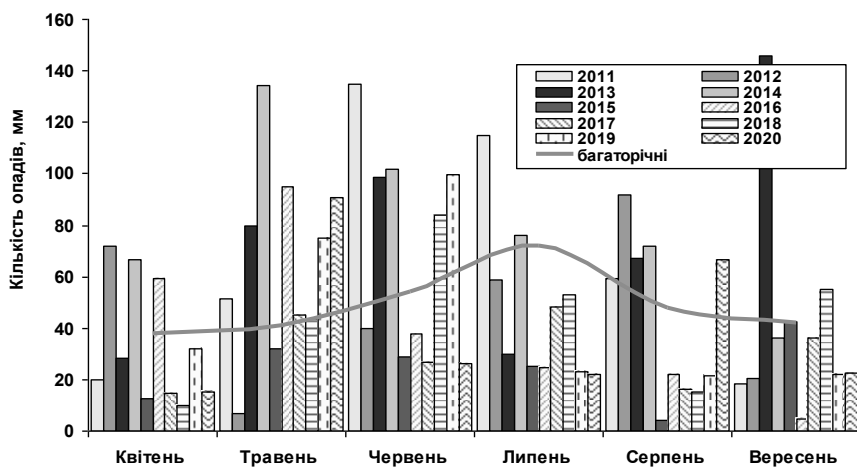


Рис. 2.4. Кількість опадів за період вегетації (БЦ ДСС, 2011 - 2020 рр.)

У 2020 році температура повітря за місяцями була вищою за середні багаторічні показники, і в середньому за вегетаційний період перевищувала на 1,4 °С. Слід зазначити, що 2020 рік був посушливим, так як кількість опадів була значно меншою за середні багаторічні дані. У квітні, червні, липні й вересні кількість опадів була меншою за середні багаторічні показники на 32,0; 46,7; 62,8 та 12,3 мм відповідно, у травні та серпні їх кількість дещо перевищила середні багаторічні дані на 44,7 та 6,6 міліметра.

Узагальнюючи погодні умови на Білоцерківській дослідно-селекційній станції у роки проведення досліджень за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК) можна зробити висновок, що 2015 рік був найменш сприятливий для росту і розвитку рослин, оскільки ГТК=0,47, що характерно для сильної посухи (рис. 2.5). Умови середньої посухи відмічались у 2016 та 2017 роках, ГТК становив відповідно 0,65 та 0,62. Слабка посуха спостерігалась у 2012, 2018, 2019 та 2020 роках, для яких ГТК становив 0,75, 0,87, 0,86 та 0,83 відповідно. Достатня кількість вологи була характерною для 2011 року проведення досліджень (ГТК=1,39). Для 2013 та 2014 років було характерна надмірна кількість вологи, оскільки ГТК становив відповідно 1,56 та 1,57.

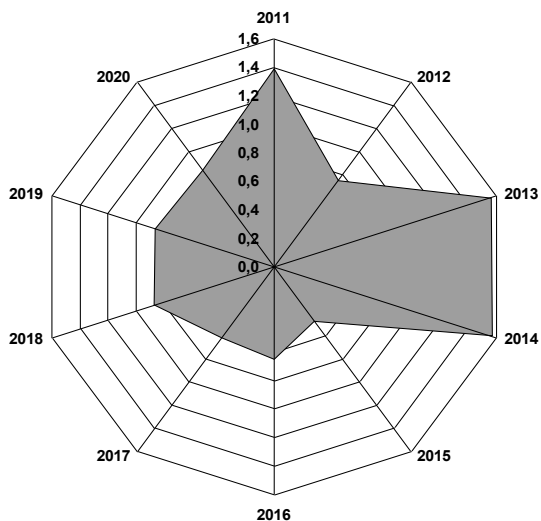


Рис. 2.5. Гідротермічний коефіцієнт Селянінова за роки досліджень (БЦ ДСС, 2011 - 2020 рр.)

2.1.2 Зона недостатнього зволоження Лісостепу України (Веселоподільська ДСС)

Грунтові відміни Веселоподільської ДСС представлені чорноземом типовим слабкосолонцюватим малогумусним середньосуглинковим. Потужність гумусного горизонту варіює від 35 до 45 см із загальним вмістом гумусу від 4,8 до 5,1 % (за Тюріним). Вміст лужногідролізованого азоту 110 - 115 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих форм фосфору – 25 - 50, калію – 90 - 130 мг/кг ґрунту (за Мачигінім). Структура орного шару пилувато-грудочко-зерниста. Ґрунти добре забезпечені елементами живлення, мають задовільну родючість.

Реакція ґрунтового розчину орного шару слабо лужна, ближча до нейтральної (рН 7,4 - 7,6). Гідролітична кислотність ґрунтового розчину орного шару складає 0,37 - 0,39 мл.-екв. на 100 г ґрунту.

Ґрунти дослідного господарства є типовими для даної зони, мають високий потенціал родючості і за вчасного і якісного виконання технологічних операцій, за сприятливих метеорологічних умов забезпечують високі й сталі врожаї буряків цукрових та інших сільськогосподарських культур.

Географічне положення станції становить 49°38' північної широти і 33°15' західної довготи. Клімат помірно-континентальний з недостатнім зволоженням. Зима помірно-холодна із значною амплітудою коливання температури повітря. Весна помірно-тепла, іноді з сухими вітрами і нерівномірним розподілом опадів як за числами, так і за декадами. Літо – помірно-тепле з нерівномірним розподілом опадів і проявом в окремі роки посушливих явищ. Опади часто мають зливовий характер, вітри переважно західного, південно-західного напрямку, середня швидкість – 4 м/с. Осінь помірно-тепла.

Веселоподільська ДСС знаходиться в зоні недостатнього зволоження. За даними Веселоподільської метеорологічної станції середня багаторічна температура повітря становить +7,2 °С з коливаннями за роками: мінімум +6,8 °С і максимум +9,2 °С. Тривалість періоду з ефективною температурою повітря вище 5 °С складає 200 – 210 діб, а вище 10 °С – 165 діб. Характерні різкі коливання температури повітря у зимові місяці, чергування відлиг і морозних періодів. Найсильніші морози бувають у січні, іноді в лютому.

Дні з температурою повітря нижчою, ніж 0°С, настають у жовтні й закінчуються в першій половині квітня. Середньодобова температура понад +5 °С встановлюється весною – у першій декаді

квітня, а восени – у четвертій декаді жовтня. Літній період характеризується помірною температурою, яка варіює в межах 18,2 - 20,6 °С, а максимальна температура влітку становить +37 °С.

Довжина вегетаційного сезону – 204 доби. Сума річних температур становить 2600 - 2900 °С. Підвищення температури весною іноді супроводжується суховіями, а зниження – заморозками на поверхні ґрунту. Помірна температура повітря у травні в окремі роки переходить у жарке літо, коли максимум досягає +38,2 °С. Високі температури за низької відносної вологості повітря негативно позначаються на рості й розвитку сільськогосподарських культур, призводять до значного зниження їх урожайності.

Середньорічна кількість опадів складає 457 мм. Опади протягом року випадають нерівномірно. Часто вони бувають у вигляді злив. Зокрема, кількість років з опадами менше 500 мм складає 53 %, у тому числі від 480 до 400 мм – 32 %, від 400 до 350 мм – 25 %, від 350 до 300 мм – 25 % і менше 300 мм – 18 %. За умовами зволоження господарство входить у слабо посушливу зону, в якій з кожних 10 років – 5 років посушливих, 3 роки середні за зволоженням, 2 роки – вологі. Погодні умови, що склалися впродовж 2011 - 2020 рр. у зоні недостатнього зволоження, наведено на рисунках 2.6 та 2.7.

Температура повітря та кількість опадів у роки досліджень мали незначні відхилення від середніх багаторічних показників. У 2011 році температура повітря за вегетаційний період перевищувала середні багаторічні показники на 1,1 °С, у 2012 році – на 3,1 °С, у 2013 році – на 1,7 °С, у 2014 році – на 1,6 °С та у 2015 році – на 1,7 °С.

Кількість опадів у 2011 році була меншою за середньо-багаторічні показники в середньому за вегетаційний період на 31,0 мм, у червні та липні кількість опадів була більшою на 36,5 та 67,5 мм, у квітні, травні, серпні, вересні та жовтні кількість опадів була меншою за середньо-багаторічні показники на 24,5; 20,5; 45,5; 29,7 та 14,8 мм відповідно (рис. 2.8).

У 2012 році кількість опадів у середньому за вегетаційний період перевищила середньо-багаторічні показники на 33 мм. У травні, серпні і жовтні кількість опадів була більшою на 13,9; 15,7 і 63,2 мм від середніх багаторічних показників, у квітні, червні, липні та вересні була меншою на 12,2; 28,2; 17,4 та 2,0 міліметра.

У 2013 році опадів було менше за середньо-багаторічні показники в середньому за вегетаційний період на 12,9 мм. Відхилення за місяцями були незначні, проте у червні і липні кількість опадів була меншою на 25,3 і 22,4 мм. У вересні опадів випало на 54,3 мм більше норми.

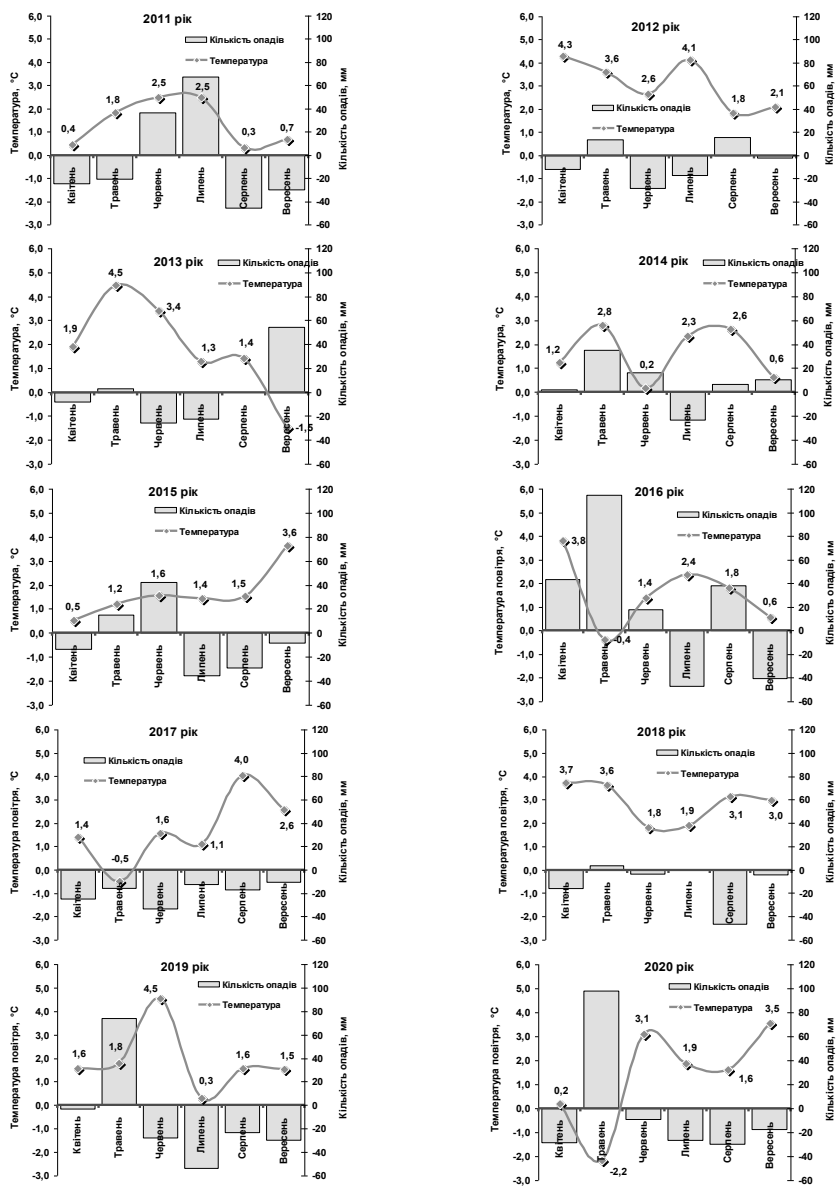


Рис. 2.6. Відхилення від середніх багаторічних значень кількості опадів і температури повітря (ВП ДСС, 2011 - 2020 рр.)

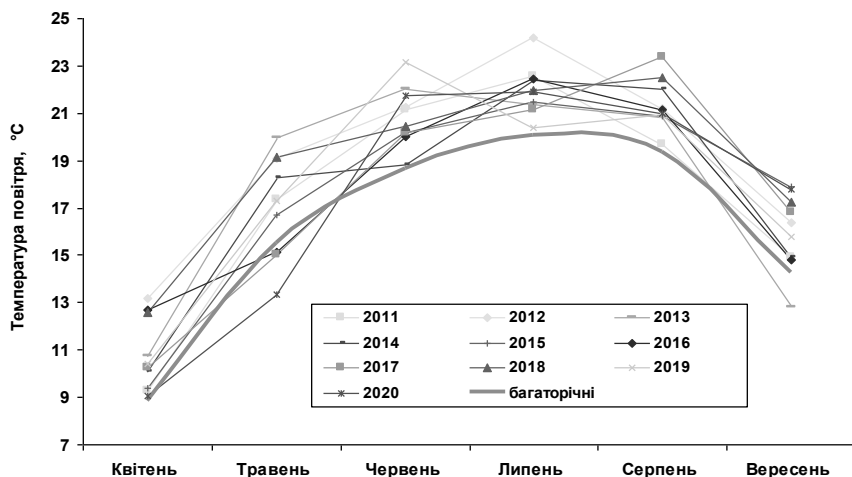


Рис. 2.7. Середньомісячна температура повітря за вегетаційний період (ВП ДСС, 2011 - 2020 рр.)

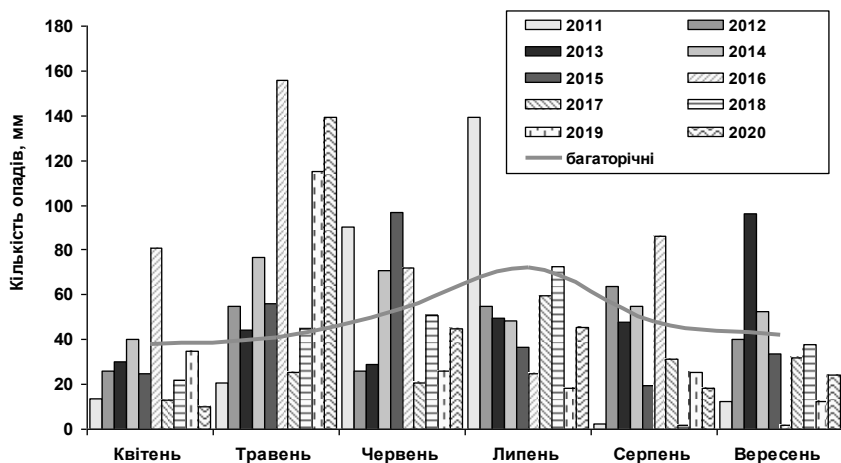


Рис. 2.8. Кількість опадів за вегетаційний період (ВП ДСС, 2011 - 2020 рр.)

У 2014 році відмічено значні коливання кількості опадів в період вегетації, але з перевищенням середньо-багаторічних показників (крім серпня). Так, у квітні, травні та червні їх кількість була вищою на 2,4; 35,5 та 16,6 мм відповідно. У липні кількість опадів була значно меншою за середні багаторічні показники (на 23,4 мм). У серпні та вересні кількість опадів перевищила багаторічні дані (на 6,7 та 10,3 мм).

У квітні, липні, серпні та вересні 2015 року кількість опадів в період вегетації була меншою на 13,3; 35,2; 28,7 та 8,2 мм порівняно з середніми багаторічними показниками. Чого не скажеш про травень і червень де кількість опадів перевищувала середні багаторічні показники на 15,2 та 42,6 міліметра.

Температура повітря та кількість опадів у роки досліджень мали незначні відхилення від середньо-багаторічних даних. У 2016 році температура повітря за вегетаційний період перевищувала середні багаторічні показники на 1,6 °C, у 2017 році – на 1,7 °C, у 2018 році – на 2,9 °C, у 2019 році – на 1,9 °C та у 2020 році – на 1,4 °C.

Кількість опадів у 2016 році була більшою за середньо-багаторічні показники в середньому за вегетаційний період на 127,0 мм, у квітні, травні, червні та серпні кількість опадів була більшою на 43,1; 114,8; 18 та 38,3 мм відповідно. У липні та вересні кількість опадів була меншою за середньо-багаторічні показники на 47,0 та 40,2 мм відповідно.

У 2017 році кількість опадів у середньому за вегетаційний період була меншою за середньо-багаторічні показники на 113,5 мм. За період вегетації рослин кількість опадів була меншою середніх багаторічних показників на: у квітні – 24,9 мм, у травні – 15,5 мм, червні – 33,1 мм, липні – 12,6 мм, серпні – 17,0 мм та вересні – 10,4 міліметра.

У 2018 році опадів було менше за середньо-багаторічні показники в середньому за вегетаційний період на 65,7 мм. Відхилення за місяцями були незначні, проте у квітні і серпні кількість опадів була меншою на 16,1 і 46,3 міліметра.

У 2019 році відмічено значні відхилення кількості опадів за період вегетації в бік зменшення відносно з середніми багаторічними показниками (крім квітня і травня). Так, у квітні кількість опадів з середньо багаторічними даними була майже однакова, а у травні з перевищенням на 74,3 мм. У червні, липні, серпні та вересні їх кількість

була нижчою на 27,8; 53,8; 22,8 та 29,4 мм відповідно.

У квітні, червні, липні, серпні та вересні 2020 року кількість опадів в період вегетації була меншою відповідно на 28,1; 9,3; 26,6; 29,6 та 17,7 мм порівняно з середніми багаторічними показниками. Чого не скажеш про травень де кількість опадів перевищувала середні багаторічні показники на 98,3 міліметра.

Узагальнюючи погодні умови на Веселоподільській дослідно-селекційній станції у роки проведення досліджень за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК) можна зробити висновок, що у більшості років погодні умови були сприятливі для росту рослин (рис. 2.9). Слабка посуха відмічалась у 2011, 2012, 2013, 2015, 2018, 2019 та 2020 роках. Водночас у 2014 та 2016 роках було достатньо волого (ГТК=1,02 та 1,21 відповідно), а у 2017 році – спостерігалась середня посуха (ГТК=0,58).

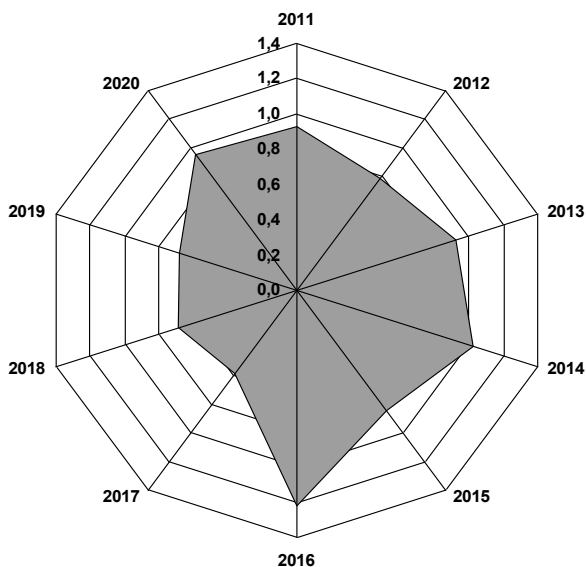


Рис. 2.9. Гідротермічний коефіцієнт Селянінова за роки досліджень (ВП ДСС, 2011 - 2020 рр.)

2.1.3 Зона нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (Іванівська ДСС)

Ґрунт дослідної ділянки на Іванівській ДСС – чорнозем типовий слабосолонцюватий важкосуглинковий, який характеризуються наступними агрохімічними показниками орного (0 - 30 см) шару: рН водне – 7,2 - 7,4; вміст гумусу – 4,5 - 4,7 % (за Тюрнімом); лужногідролізованого азоту – 180 мг/кг ґрунту; вміст P_2O_5 і K_2O за Мачигінім – відповідно 19 - 20 і 100 - 110 мг/кг ґрунту. Ємкість поглинання обмінних катіонів становить 26 - 31 мг-екв на 100 г ґрунту. Ґрунтові води знаходяться на глибині 15 - 20 м, тому польові культури використовують для свого росту вологу, що накопичується в ґрунті за рахунок атмосферних опадів. Іванівська ДСС знаходиться в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України. Географічне положення станції становить $50^{\circ}11'$ північної широти і $35^{\circ}03'$ західної довготи. За багаторічними показниками (105 років) кількість опадів за рік становить 550 мм, за вегетаційний період (від квітня до вересня) – 329 мм. Та слід відмітити, що опади були нерівномірними.

Середньодобова температура за рік за багаторічними показниками складає $7,15^{\circ}C$. Гідротермічні показники та їх відхилення від середніх багаторічних значень на Іванівській ДСС за 2011 - 2020 рр. наведено на рисунку 2.10.

Температура повітря за роки досліджень суттєво перевищувала середні багаторічні показники. У 2011, 2013, 2014 та 2015 роках у середньому за період вегетації температура повітря перевищувала середні багаторічні значення на 2,2; 2,4; 2,2 та $2,0^{\circ}C$ відповідно. Найбільш спекотним виявився 2012 рік, середня температура повітря в якому за період вегетації рослин на $3,9^{\circ}C$ перевищувала середні багаторічні показники (рис. 2.11). Щодо кількості опадів, то спостерігаються певні відхилення як за місяцями, так і за роками досліджень у цілому. У 2011 році сума їх становила за квітень - вересень 312 мм, що на 17,0 мм менше за середні багаторічні показники. У липні їх кількість становила 122,0 мм, що на 47,0 мм було менше за багаторічні дані, проте у серпні та вересні їх кількість була меншою на 31,0 та 29,0 міліметра.

У 2012 році кількість опадів за вегетаційний період була майже однаковою порівняно з середньо-багаторічними даними, навіть на 3,0 мм була більшою. Найбільша кількість опадів спостерігалась у серпні (125,0 мм), що більше на 71,0 мм від багаторічних значень. Найменша кількість опадів відмічена у червні (16,0 мм), що на 52,0 мм менше за багаторічні дані.

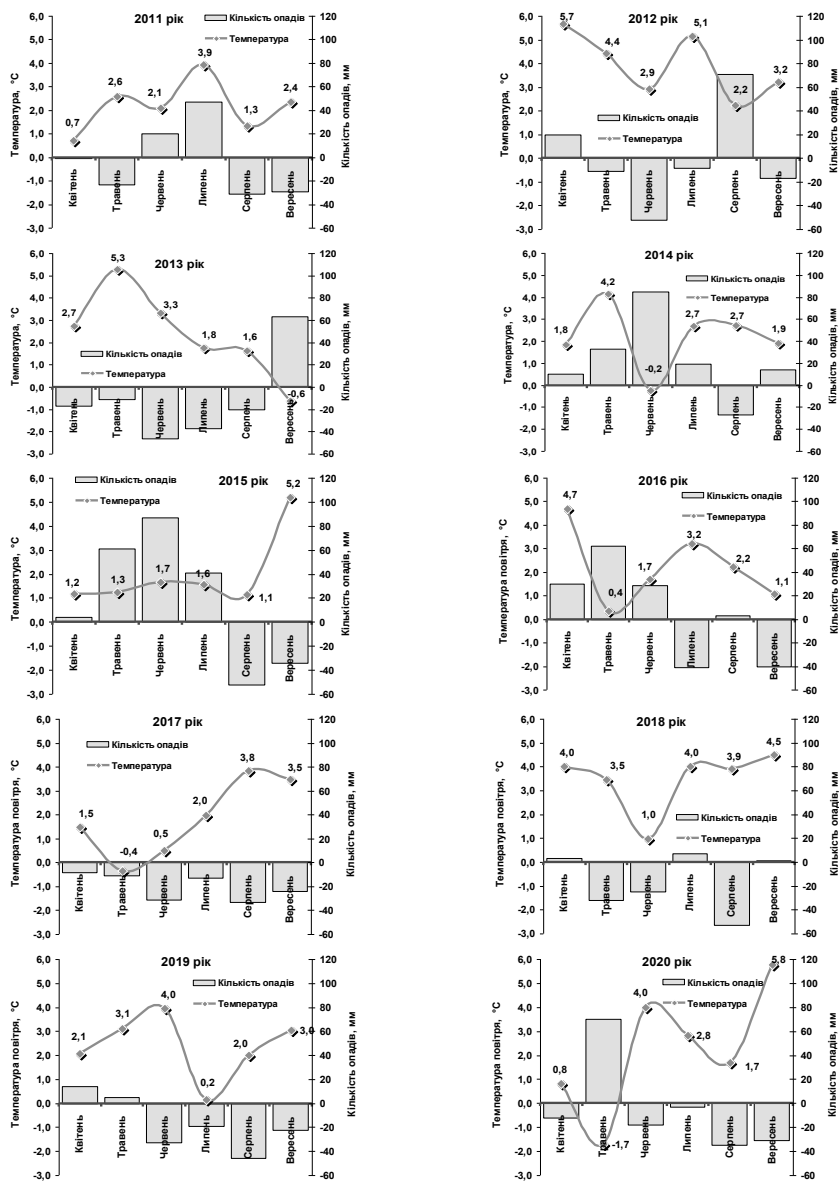


Рис. 2.10. Відхилення від середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів (І ДСС, 2011 - 2020 рр.)

За 2013 рік випало в середньому за вегетаційний період 261,0 мм опадів, що на 68,0 мм менше за середньо-багаторічні показники. Слід зазначити, що у квітні, травні, червні, липні та серпні кількість опадів була меншою на 17,0; 11,0; 46,0; 37,0 та 20,0 мм від багаторічних показників. Найбільша кількість опадів випала у вересні і становить 107,0 мм, що на 63,0 мм більше від середнього багаторічного значення (рис. 2.12).

У 2014 та 2015 роках за період вегетації (квітень - вересень) сума опадів становила 463 та 436 мм, що на 134 мм та 107 мм відповідно було більше за середні багаторічні значення. Найбільша їх кількість випала у травні (86 та 114 мм), червні (153 та 155 мм) та липні (94 та 116 мм).

Температура повітря у 2016 - 2020 роки досліджень суттєво перевищувала середні багаторічні показники для даної зони. У 2016, 2017, 2019 та 2020 роках у середньому за період вегетації температура повітря перевищувала середні багаторічні значення на 2,2; 1,8; 2,4 та 2,2 °С, відповідно. Найбільш спекотним у цій п'ятирічці виявився 2018 рік, температура повітря у якому на 3,5 °С перевищувала середні багаторічні показники.

Щодо кількості опадів, то спостерігаються певні відхилення як за окремими місяцями, так і за роками у цілому. У 2016 році сума їх становила за квітень - вересень 372 мм, що на 43,0 мм більше за середні багаторічні показники. У травні кількість опадів була максимальною і становила 115,0 мм, що на 62,0 мм перевищувало багаторічні дані, проте у липні та серпні їх кількість була меншою відповідно на 41 та 40 міліметра.

У 2017 році кількість опадів за вегетаційний період була меншою порівняно з середньо-багаторічними даними на 120,0 мм. Кількість опадів у квітні була меншою від багаторічних значень на 8 мм, у травні – на 11 мм, у червні та липні – відповідно на 31,0 та 13,0 мм. Кількість опадів у серпні та вересні була також відповідно на 33,0 та 24,0 мм менше за багаторічні дані.

За 2018 рік випало в середньому за вегетаційний період 230,0 мм опадів, що на 99,0 мм менше за середньо-багаторічні показники. Слід зазначити, що у травні, червні та серпні кількість опадів була меншою на 32,0; 25,0 та 53,0 мм від багаторічних показників. У квітні, липні та вересні випало відповідно на 3,0; 7,0 та 1,0 мм більше опадів порівняно з середніми багаторічними значеннями для даної зони.

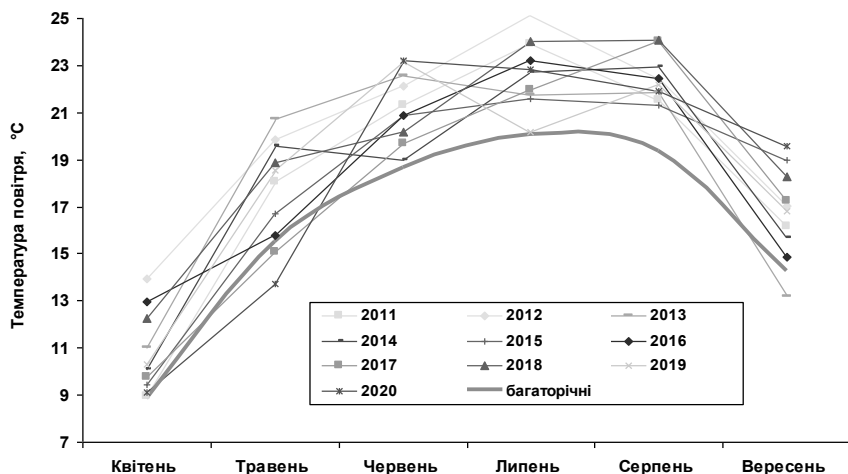


Рис. 2.11. Середньомісячна температура повітря за вегетаційний період (І ДСС, 2011 - 2020 рр.)

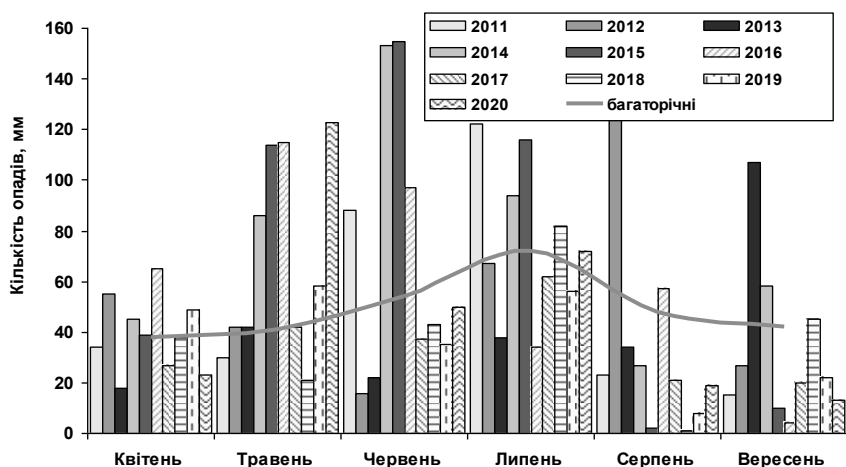


Рис. 2.12. Кількість опадів за за вегетаційний період (І ДСС, 2011 - 2020 рр.)

У 2019 та 2020 роках за період вегетації (квітень - вересень) сума опадів становила 228,0 та 300 мм, що на 101,0 мм та 29,0 мм відповідно було менше за середні багаторічні значення. Найбільша їх кількість випала у травні (58,0 та 123,0 мм), червні (35,0 та 50 мм) та липні (56,0 та 72,0 мм).

Проаналізувавши погодні умови за роки проведення досліджень на Іванівській ДСС за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова можна зробити висновок, що погодні умови переважно були сприятливі для росту рослин. Лише у 2017 - 2019 рр. відмічалась середня посуха, при цьому ГТК=0,59 - 0,62 (рис. 2.13). В умовах слабкої посухи вегетація рослин на досліді проходила у 2011 - 2013 рр. та у 2020 році (ГТК=0,81 - 0,92). Водночас найкраще волого забезпечення відмічалось у 2014 - 2016 рр. (ГТК=1,05 - 1,39).

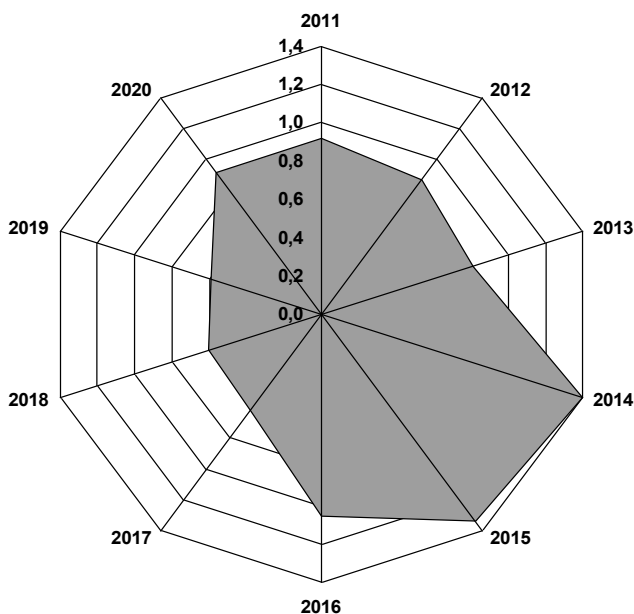


Рис. 2.13. Гідротермічний коефіцієнт Селянінова за роки досліджень (І ДСС, 2011 - 2020 рр.)

2.1.4 Зона нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (Ялтушківська ДСС)

Ялтушківська дослідно-селекційна станція розташована в зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України в північно-західній частині Вінницької області на території Барського району. Географічне положення станції становить 48°59' північної широти і 27° 27' західної довготи.

За агрокліматичним районуванням Вінницької області зона діяльності станції належить до другого району (центральна зона), яка характеризується помірно теплим вологим кліматом. Середня багаторічна температура січня дорівнює -60 °С, а липня – +210 °С. Середньорічна сума опадів становить близько 550 мм, а за вегетаційний період випадає від 280 до 360 мм. Засушливі дні вегетаційного періоду тут повторюються дуже часто. Середня глибина замерзання ґрунту – 56 см, сума ефективних температур (вище +50 °С) за період вегетації становить 1942 - 2059 °С. Середня багаторічна вологість повітря складає 75 відсотки.

Досліди з вирощування біоенергетичних культур для виробництва біопалива в 2011 - 2020 рр. були розміщені в полі №3 селекційної сівозміни. За даними агрохімічного обстеження дане поле характеризується наступними показниками (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрохімічні та агрофізичні характеристики ґрунту (Я ДСС)

Показник	Значення показника
Агровиробнича група ґрунтів	Сірі опідзолені слабо-змиті
Механічний склад ґрунтів	Грубопилювато середньо-суглинкові
Вміст гумусу, %	1,87 (за Тюрінім)
Забезпеченість ґрунту:	
азотом, мг на 1 кг ґрунту	63
фосфором, мг на 1 кг ґрунту	109
калієм, мг на 1 кг ґрунту	119
Гідролітична кислотність, мг.-екв. на 100 г ґрунту	2,9
pH ґрунту	5,3
Сума ввібраних основ, мг-екв./100 г	22,4
Щільність ґрунту, г/см ³	1,25
Вміст продуктивної води в 1 м шарі ґрунту	110

Таким чином, проаналізувавши показники агрохімічного стану дослідного поля, відмічаємо, що за рівнем родючості воно є близьким до середніх показників для східної частини Лісостепу України. Дане поле потребує першочергового внесення органічних добрив, а також забезпеченості рослин азотом протягом періоду вегетації сільськогосподарських культур. Внесення фосфорних та калійних добрив необхідно корегувати в залежності від виносу даних елементів живлення врожаєм культури, а також їх використання із ґрунту та мінеральних добрив.

Температура повітря у 2011 та 2013 роках була близькою до середніх багаторічних значень, перевищуючи їх на 0,9 та на 0,7 °C (рис. 2.14) у середньому за період вегетації. Проте, у 2012, 2014 та 2015 роках температура повітря перевищувала середні багаторічні дані на 2,3 °C, 1,3 та 2,5 °C відповідно (рис. 2.15).

Кількість опадів за роки досліджень була нерівномірною (рис. 2.16). Так, у 2011 році випало 173,3 мм опадів, що на 196,7 мм менше за середньо-багаторічні значення. Зокрема кількість опадів за місяцями становить: у квітні – 17,3 мм, що на 24,7 мм менше за багаторічні дані, травень – майже без опадів (2 мм), що на 60,0 мм менше, у червні випало на 17,4 мм опадів більше, у липні, серпні та вересні кількість опадів за багаторічні показники була меншою на 56,1; 40,6 та 32,7 міліметра.

За 2012 рік випало 332,6 мм опадів, що на 37,4 мм менше ніж середньо-багаторічні значення. Більша кількість опадів спостерігалась у квітні (92,4 мм) та липні (85,5). Недостача опадів порівняно з багаторічними даними спостерігалась у травні, червні, серпні та вересні відповідно на 18,2; 17,1; 16,1 та 33,9 міліметра.

У 2013 році випало 373,0 мм опадів, що на 3 мм більше за середньо-багаторічні значення. Слід зазначити, що найменша їх кількість випала у квітні (7,4 мм) та липні (12,2 мм), що на 34,6 та 75,8 мм менше за багаторічні дані. Найбільша кількість опадів випала у червні та вересні, що на 52,8 та 48,3 мм перевищила багаторічні дані.

У 2014 році сума опадів за вегетаційний період складала 352,8 мм, що на 17,2 мм менше за середні багаторічні дані. Найменша кількість опадів випала у квітні (23,7) та вересні (12,5). Найбільша кількість опадів спостерігається у липні – 169,3 мм. У травні та червні кількість опадів становила 34 та 54,1 мм, що на 28 та 19,9 мм менше за середні багаторічні показники.

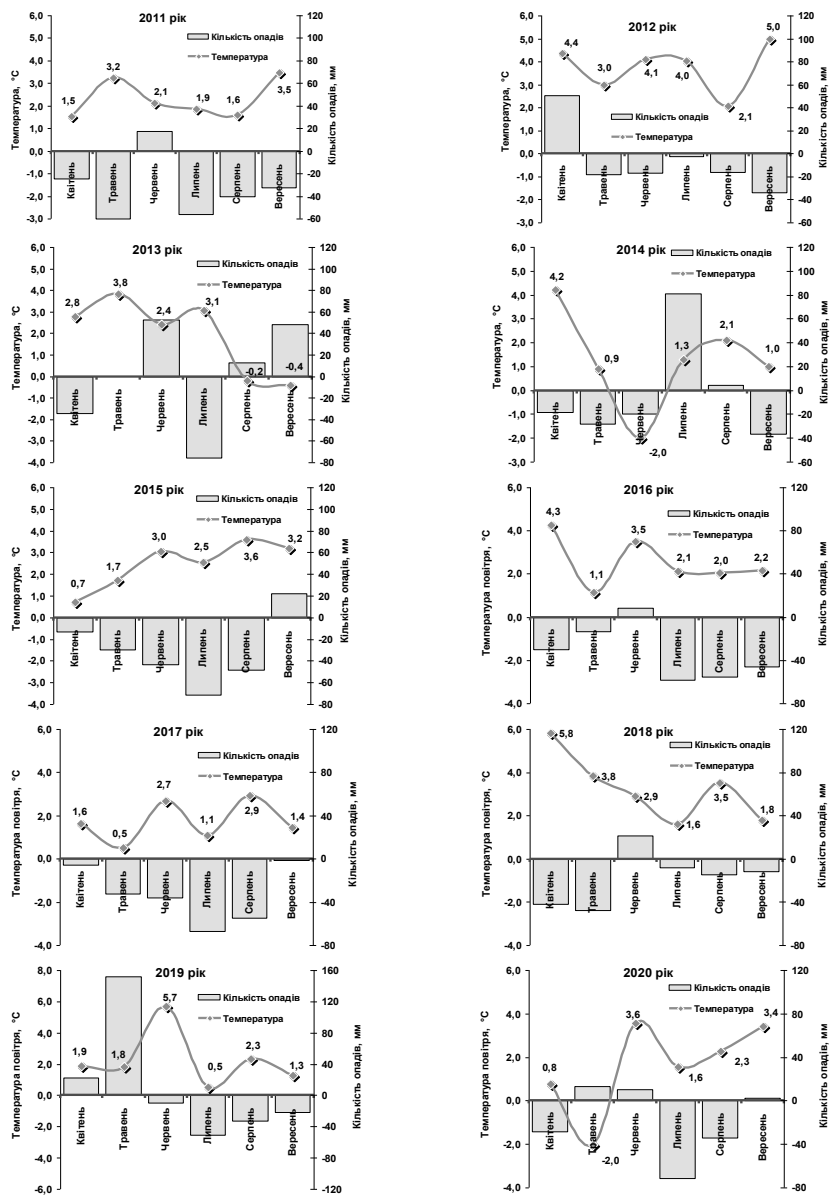


Рис. 2.14. Відхилення від середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів (Я ДСС, 2011 - 2020 рр.)

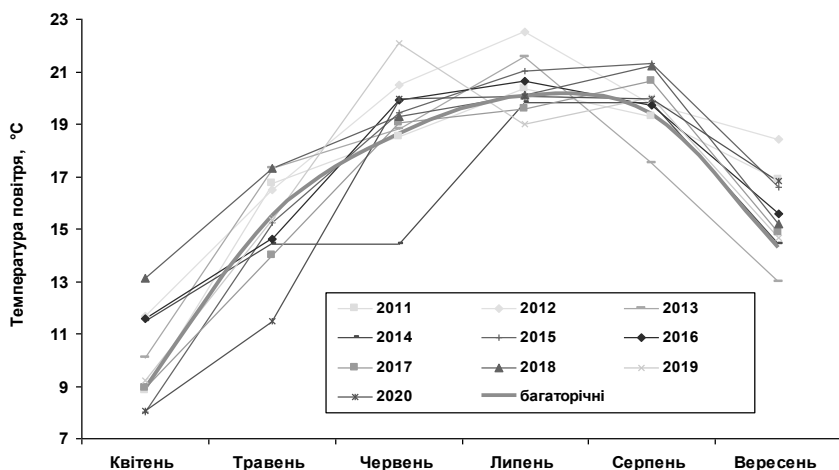


Рис. 2.15. Середньомісячна температура повітря за вегетаційний період (Я ДСС, 2011 - 2020 рр.)

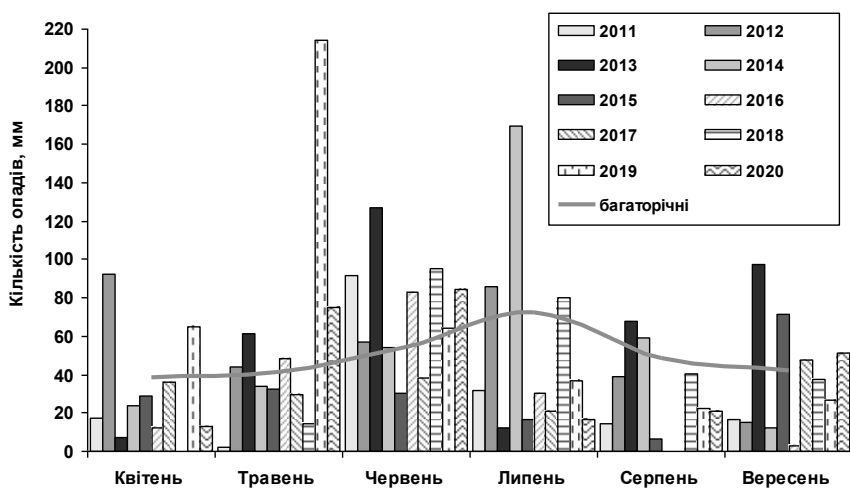


Рис. 2.16. Кількість опадів за вегетаційний період (Я ДСС, 2011 - 2020 рр.)

У 2015 році кількість опадів була значно меншою і становила 186,7 мм, що на 183,3 мм менше за середні багаторічні показники. Найменша їх кількість випала у серпні і становила 6,5 мм, що на 48,5 мм менше за багаторічні показники. Найбільша їх кількість випала у травні – 32,4 мм, що на 29,6 мм менше за середні багаторічні дані.

Отже, впродовж 2011 - 2015 років досліджень на всіх дослідно-селекційних станціях спостерігалась засушлива погода з підвищеними температурними показниками порівняно із середніми багаторічними значеннями. Водночас атмосферні опади випадали впродовж вегетаційного періоду нерівномірно.

Температура повітря у 2016 - 2020 роки проведення досліджень дещо різнилася до середніх багаторічних значень, перевищуючи їх в середньому за період вегетації на 2,5 °C у 2016 році, на 1,7 °C у 2017 році, на 3,3 °C у 2018 році та на 2,3 і 1,6 °C в 2019 і 2020 роках відповідно.

Кількість опадів за роки проведення досліджень була нижчою (крім 2019 р.) ніж середні багаторічні значення. Так, у 2016 році випало 176,2 мм опадів, що на 193,8 мм менше за середньо-багаторічні значення. Зокрема кількість опадів за місяцями становила: у квітні – 12,1 мм, що на 29,9 мм менше за багаторічні дані, у травні – 48,5, що на 13,5 мм менше за багаторічні дані, у червні випало на 8,6 мм опадів більше, у липні, серпні та вересні кількість опадів була меншою відповідно на 58,0; 55,0 та 46,0 мм порівняно з багаторічними показниками.

У 2017 році в цілому випало 172,5 мм опадів, що на 197,5 мм менше за середньо-багаторічні значення. Більша кількість опадів спостерігалась у квітні (36,4 мм) та червні і вересні (відповідно 38,0 і 47,4). Менша кількість опадів порівняно з багаторічними даними спостерігалась у травні, липні та серпні відповідно на 32,3; 67,0 та 55,0 міліметра.

У 2018 році випало 267,4 мм опадів, що на 102,6 мм менше за середньо-багаторічні значення. Слід зазначити, що найменша їх кількість випала у квітні (0 мм) та травні (14,5 мм), що на 42,0 та 47,5 мм менше за багаторічні дані. Найбільша кількість опадів випала у червні та липні, що на 21,2 мм перевищила багаторічні дані у червні, та на 7,9 мм нижче багаторічних даних у липні. У серпні і вересні кількість опадів була нижчою на 14,8 і 11,6 мм за багаторічні дані.

У 2019 році сума опадів за вегетаційний період складала 429,0 мм, що на 59 мм більше за середні багаторічні дані. Найменша кількість опадів випала у серпні (22,0 мм) та вересні (27,0 мм). Найбільша кількість опадів спостерігалася у травні – 214 мм. У квітні, червні та липні кількість опадів становила відповідно 65 мм, що більше за багаторічні дані на 23 мм, 64 мм та 37,0 мм, що менше за багаторічні дані на 10,0 та 51,0 міліметра.

У 2020 році кількість опадів була значно меншою і становила 261,8 мм, що на 108,2 мм менше за середні багаторічні показники. Найменша їх кількість випала у квітні, липні та серпні і становила відповідно 13,3 мм, 16,8 мм та 21,0 мм, що на 28,7; 71,2 та 34,0 мм менше за багаторічні показники. Найбільша їх кількість опадів випала у травні та червні – відповідно 75,0 та 84,5 мм, що на 13,0 та 10,5 мм більше за середні багаторічні дані.

Отже, впродовж 2016 - 2020 років досліджень на всіх дослідно-селекційних станціях спостерігалась засушлива погода з підвищеними температурними показниками порівняно із середніми багаторічними значеннями. При цьому атмосферні опади випадали впродовж вегетаційного періоду нерівномірно.

Підсумовуючи погодні умови у роки проведення досліджень на Ялтушківській ДСС за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова можна зробити висновок, що за вологозабезпеченням роки були досить контрастними (рис. 2.17). Найбільш посушливим був 2017 рік (ГТК=0,51), у 2011, 2015 та 2016 роках спостерігалась середня посуха (ГТК=0,56 - 0,60). Умови слабкої посухи були характерними для 2012 та 2020 років (ГТК=0,82 - 0,94), водночас 2013, 2014, 2018, 2019 роки відмічались достатнім волого забезпеченням (ГТК=0,96 - 1,38).

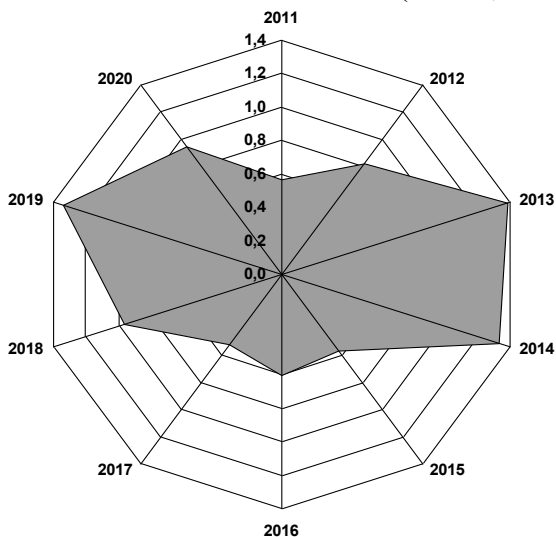


Рис. 2.17. Гідротермічний коефіцієнт Селянінова за роки досліджень (Я ДСС, 2011 - 2020 рр.)

Таким чином, погодні умови за роки проведення досліджень були переважно сприятливими для росту і розвитку цукроносних культур. Окремі роки за величиною гідротермічного коефіцієнта значно відрізнялися від середніх багаторічних, проте в цілому ГТК становив 0,91 (табл. 2.2), що свідчить про стійке підвищення середньодобової температури повітря на фоні зменшення кількості опадів у всіх підзонах Лісостепу України.

Таблиця 2.2

Гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК)

ДСС	Рік проведення досліджень										Ср. знач.
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
БЦ ДСС	1,39	0,75	1,56	1,57	0,47	0,65	0,62	0,87	0,86	0,83	0,96
ВП ДСС	0,92	0,78	0,92	1,02	0,83	1,21	0,58	0,68	0,67	0,95	0,86
І ДСС	0,92	0,87	0,81	1,39	1,33	1,05	0,62	0,61	0,59	0,91	0,91
Я ДСС	0,57	0,82	1,38	1,32	0,56	0,60	0,51	0,96	1,33	0,94	0,90

2.2. Характеристика сортів та гібрида цукроносних культур

Для проведення польових досліджень брали високопродуктивні сорти і гібриди цукроносних культур вітчизняної селекції, які на час проведення досліджень були занесені до Державного реєстру сортів рослин, або були передані на сортовипробування.

2.2.1. Характеристики сортів і гібридів сорго цукрового

Станом на вересень 2022 року до Державного реєстру занесено 18 сортів і гібридів сорго цукрового, з яких 17 – вітчизняної селекції. У дослідках використовували сорти та гібрид сорго цукрового селекції селекційно-генетичного інституту – національного центру насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ – НЦНС) та Інституту зернових культу НААН (ІЗК НААН).

‘Силосне 42’ – сорт сорго цукрового, занесений до Державного реєстру сортів рослин України з 2003 р. і рекомендований для Лісостепу. Оригігатор ІЗГ НААН. Сорт створено методом гібридизації

і наступних доборів із гібрида Сиваський 50 та сорту ‘Силосне 3’ із застосуванням фотоперіодичних кабін. Напрямок використання – зелений корм, силос, цукровий сироп. Сходи характерного темно-зеленого кольору. На стеблі 10 - 12 листків ланцетноподібної форми, без опушення, жилки темні. Волоть комової форми, завдовжки 13 - 17 см, чорного кольору зі слабким опушенням, ніжка прямостояча завдовжки 35 - 40 см. Насіння овальної форми, коричневого кольору, колір алейронового шару і ендосперму – темний, консистенція борошниста, маса 1000 зерен становить 21,9 г. Колоски округлої форми, остистість слабка, колоскова луска чорного кольору розміром 5х7 мм, сидяча. Рослини заввишки 242 см. Тривалість вегетаційного періоду – 124 діб. Сорт високопродуктивний, середньостиглий. Вміст білку в зерні становить 13,6 %, у зеленій масі – 8,7 %, клітковини – 32,8 %, вміст цукрів у стеблі – 19,0 %. Урожайність: сухої речовини 11,0 – 14,8 т/га, волотей з зерном 10,0 - 12,0 т/га, зеленої маси 55,0 - 76,0 т/га. Сорт стійкий до вилягання, осипання, посухи та ураження хворобами [367].

‘Медовий F1’ – гібрид сорго цукрового, у Реєстрі сортів рослин України з 1998 р. Гібрид створений спільними зусиллями СГП – НЦНС та науково-виробничої асоціації "Одеська біотехнологія". Створений методом схрещування стерильної лінії сорго цукрового ‘Оранжеве 128с’ та сорту ‘Нектарний’. Висота рослин близько 3 м, продуктивна кустистість середня 3 - 4 стебла на рослину, діаметр стебла 25 - 26 мм. Головне стебло містить 12 - 13 надземних вузлів та 11 - 12 слабоопушених листків завдовжки 75 - 80 см. У сприятливих ґрунтово-кліматичних умовах з нижніх вузлів утворюються додаткові коріння. Волоть слабо опушена, овальної форми, завдовжки 28 - 30 см. Зернівки овальної форми, світло-коричневого кольору, повністю вкриті плівками. Колоски остисті, ромбічної форми. Гібрид – середньостиглий, з вегетаційним періодом (від сходів до повної стиглості зерна) 110 - 120 діб, стійкий проти вилягання та сажкових захворювань, слабо ушкоджується попелицею. Гібрид ‘Медовий F1’ не поступається кращому стандарту за врожайністю зеленої маси (у богарних умовах забезпечує 50 - 60 т/га зеленої маси, а за зрошення – до 100 т/га), в соку стебел міститься близько 17 - 18 % цукрів, що майже у 2 рази більше, ніж у стандартних гібридів. Гібрид придатний до механізованого збирання і характеризується надійним насінництвом. Пропонується використовувати як кормову культуру, так і для технічної переробки стебел з метою одержання соку, сиропу, спирту та інших продуктів, зокрема біопалива.

‘*Фаворит*’ – сорт сорго цукрового, у Реєстрі сортів рослин України перебуває з 2004р. Рекомендовано використовувати у зоні Лісостепу. Оригіна́тор – СГІ – НЦНС. Сорт створено методом індивідуального добору з гібридної комбінації. На стеблі рослини формують 11 - 12 зелених листків. Волоть овальна, чорна, з помірним опушенням, завдовжки 25 - 35 см, незначно похилена, розміщена на ніжці завдовжки 45 - 55 см. Листки зелені, завдовжки 70 - 80 см та завширшки 8 - 9 см, з незначним опушенням пластинки і жилок. Зерно чорне округле, плівчастість на 90 - 100 %, добре обмолочується. Колоски ромбічної форми, остистість до 1 см, колоскові луски чорні, глянце́ві, розміром 4х4 см. Сорт ‘*Фаворит*’ відрізняється від інших сортів великою трохи нахиленою волоттю, округлим зерном з щільними лусками, які навіть за жорсткого режиму обмолоту не обрушуються. Маса 1000 насінин складає 27 г; маса волоті з зерном – 117 г. Вегетаційний період складає 125 діб. Рослини заввишки 1,8 - 2,5 м. Сорт посухостійкий, придатний до механізованого збирання. У соку стебла міститься близько 14 % цукрів, у зерні – 5,9 - 6,1 % білку. Сорт характеризується стабільним, високим урожаєм зеленої маси та насіння. Стійкий до вилягання та ураження сажкою. Високоврожайний, у богарних умовах забезпечує 40 - 120 т/га листостеблової маси [368].

‘*Довіста*’ – гібрид сорго цукрового селекції ІЗГ НААН, який забезпечує високий темп початкового росту, середньопізній. Занесений до Державного реєстру сортів рослин України з 2008 р. Рекомендований до вирощування у Степовій та Лісостеповій зонах. Напря́м використання – кормовий. Сходи темно-зелені з антоціановим відтінком. Рослини досягають висоти 210-237 см і утворюють в середньому 1,4-1,8 прямостоячих соковитих стебел на 1 рослину. Вміст цукру в сокові стебел у фазі повної стиглості зерна варіює в межах 12,8 - 15,6 %. Волоті овальної форми, завдовжки 16-21 см, солом’яно-коричневого забарвлення. Зерно жовто-коричневого кольору, крупне (маса 1000 шт. 22,4 - 23,7 г). Період вегетації становить 130 - 140 діб від появи сходів до повної стиглості зерна. Гібрид ‘*Довіста*’ має середні показники посухостійкості та високі показники стійкості до хвороб. Урожайність зеленої маси складає 75 - 90 т/га, волотей з зерном – 11 - 12 т/га, сухої речовини – 15 - 17 т/га. [367].

‘*Сиваський 85*’ – середньостиглий гібрид сорго цукрового створений на Генічеській дослідній станції ІЗК НААН. Метод створення: схрещування на стерильній основі лінії ‘Дн 5с’ та сорту

‘Силосне 3 покращене’. Висота рослин 1,9 - 2,4 м, листки мають зелену центральну жилку, стебло добре облистяне, соковите, з вмістом цукрів до 14 – 16 %. Волоть добре виповнена зерном, прямостояча, розлога, з коричневим забарвленням. Продуктивна кущистість – 2 - 4 стебла на кожну рослину. Тривалість періоду від сходів до молочно-воскової стиглості зерна – 78 - 90 діб (в умовах зрошення – 100 - 115 діб). Дозрівання волоті на головному та бокових стеблах практично одночасне. Продуктивне кущення – два стебла на кожну рослину. Слабо реагує на прохолодні періоди весни та слабо пошкоджується злаковими попелицями. Урожай листостеблової маси на незрошуваних землях становить 40 - 45 т/га, в особливо гостро посушливі роки – 18 - 23, в умовах зрошення – до 95 т/га. Вміст волотей в загальній масі досягає 25 - 28%. Рослини мають високу інтенсивність відростання після укосів і за середнього вологозабезпечення формують два укоси. Добре реагує на зрошення та добрива.

‘Ананас’ – середньопізній гібрид сорго цукрового створений у ІЗГ НААН методом схрещування на стерильній основі лінії ‘Кафрське кормове 186с’ та сорту цукрового сорго ‘Силосне 42’. Напрямок використання – кормовий та для біоенергетики. Зона вирощування – Степ, Лісостеп. Висота рослин – 2,4 – 2,7 м, кущистість – 1,3 - 1,5 стебла на 1 рослину. Сходи темно-зелені з антоціановим відтінком. Стебла високу прямостоячі соковиті, вміст цукру в соковій стебел при повній стиглості зерна 14,9 - 17,8%. Волоті овальні, завдовжки 16 – 21 см, солом’яно-коричневого забарвлення, зерно світло-коричневого кольору, крупне (маса 1000 шт. – 24 – 26 г). Вегетаційний період 120 - 130 днів до повної стиглості зерна. Гібрид має середні показники посухостійкості та високі показники стійкості до хвороб. Урожайність сухої речовини – 15 – 17 т/га, в т. ч. волотей з зерном – 10 – 11 т/га, зеленої маси – 65 - 80 т/га.

‘Зубр’ – міжвидовий гібрид технічного та фуражного напрямку використання зеленої маси, отриманий у СГІ НЦНС від схрещування стерильних ліній сорго цукрового з сорго віничним. Рекомендується вирощувати для отримання солодкого соку та продуктів його переробки (сироп, спирт тощо), біогазу та твердого біопалива, а також на силос і зелену масу. Високоврожайний, у богарних умовах забезпечує 50 - 60 т/га листостеблової маси, а при зрошенні та сприятливих умовах до 150 т/га (15 - 25 т/га сухих речовин). Вміст розчинних вуглеводів у соку стебел 15 - 18 %. Середньостиглий, з періодом до технологічної стиглості 90 - 100 діб. Високорослий

(2,5 - 3,8 м), має середню облистяність (12 - 13 листків на стебло). Куцистість 3 - 4 стебла на рослину, стебла товсті (20 - 25 мм), з соковитою серцевиною. Волоть обернуто-конусоподібної форми, дуже нещільна, коричневого кольору, безоста. Зернівка середня, на 75 - 100 % закрита лускою, маса 1000 насінин 25 - 30 г. Холодостійкий в період проростання насіння, стійкий до вилягання при тривалому перестой на корені, добре придатний для механізованого збирання, не уражується хворобами, слабо пошкоджується попелицею. Для одержання дружних сходів потребує добре вирівняного поля та висіву насіння у вологий ґрунт на глибину 5 - 6 см. Кращий спосіб сівби широкорядний. Оптимальна густина при вирощуванні на фураж для півдня України до 100 тис. рослин/га, для Лісостепу і Полісся 120 - 150 тис. рослин/га (на час збирання врожаю). Посіви для одержання солодкого соку повинні мати густоту на 15 - 20 % меншу [330].

‘Мамонт’ – середньостиглий гібрид створений у СГІ НЦНС. Рекомендується для вирощування на силос і зелену масу, а також для отримання солодкого соку та продуктів його переробки (сироп, спирт тощо) і твердого палива. Висок врожайний, у богарних умовах забезпечує 50 - 60 т/га листостеблової маси, а в умовах зрошення та сприятливих умовах – до 150 т/га (15 - 25 т/га сухих речовин). Вміст розчинних вуглеводів в соку стебел становить 15 - 18 %. Максимальний урожай 258 т/га отримали в 2016 р. на зрошенні в дослідях ТОВ «Сорго України» в умовах Маріуполя, Донецької обл. Вміст сухих речовин в соку стебел складав майже 20 відсотків. Середньостиглий, з періодом до технологічної стиглості 90 - 100 діб. Високорослий (2,5 - 3,8 м), з середньою облистяністю (12 - 13 листків на стебло). Куцистість 3 - 4 стебла на рослину. Стебла товсті (20 - 25 мм), з соковитою серцевиною. Холодостійкий в період проростання насіння, стійкий до вилягання при тривалому перестой на корені, придатний для механізованого збирання, не уражується хворобами, слабо ушкоджується попелицею. Характеризується економічно вигідним насінництвом. Волоть обернутоконусоподібної форми, дуже нещільна, коричневого кольору, безоста. Зернівки середні, на 75 - 100 % закриті лусками, маса 1000 насінин 25 - 30 г. Для одержання дружних сходів потребує добре вирівняного поля та висіву насіння у вологий ґрунт на глибину 5 - 6 см. Кращий спосіб сівби широкорядний. Оптимальна густина при вирощуванні на фураж для півдня України до 100 тис. рослин/га, для Лісостепу і Полісся – 120 - 150 тис. рослин/га (на час збирання врожаю). Посіви для одержання солодкого соку повинні мати густоту на 15 - 20 % меншу [330].

2.2.2. Характеристики сортів і гібридів буряків цукрових

Станом на вересень 2022 року до Державного реєстру занесено 58 сортів і гібридів буряків цукрових, з яких 13 – вітчизняної селекції (оригінатор ІБКіЦБ НААН). Дослідження з визначення енергетичного потенціалу буряків цукрових під впливом технологічних чинників та факторів зовнішнього середовища проводились з використанням наступних сортів і гібридів:

‘Константа’ – занесений до Держреєстру сортів рослин України у 2004 році і рекомендований для вирощування у зонах Лісостепу і Степу. Однонасінний триплоїдний гібрид на стерильній основі, врожайно-цукристого напрямку, стійкий до кагатної гнилі. За врожайності 49,4 т/га буряки мають цукристість 16,7 %, збір цукру – 8,2 т/га, вихід цукру на заводі – 9,9 т/га.

‘Білоцерківський однонасінний 45’ – виведений Білоцерківською дослідно-селекційною станцією ЩБ, диплоїдний сорт урожайно-цукристого напрямку, створений методом індивідуально-групового добору, однонасінність плодів – 90 - 97 %, схожість – 85 - 90 %, високоврожайний, стійкіший до хвороб листків та цвітущості, ніж стандарт. Забезпечує врожайність коренеплодів на рівні 43,8 т/га при вмісті цукру 17,6 % і його зборі 7,63 т/га. Районований в 1984 році в Київській області. Рекомендований для вирощування в зоні достатнього зволоження (Полісся).

‘Булава’ – занесений до Держреєстру сортів рослин України у 2003 році і рекомендований для вирощування у зонах Лісостепу і Полісся. Однонасінний диплоїдний гібрид на стерильній основі, врожайно-цукристого напрямку, стійкий до церкоспорозу, кореніду, має високу технологічну якість, високостійкий до кагатної гнилі. За врожайності 64,7 т/га буряки мають цукристість 17,6 %, збір цукру – 11,4 т/га, вихід цукру на заводі – 9,9 т/га.

‘Ворскла’ – занесений до Державного реєстру сортів рослин України у 2003 році і рекомендований для вирощування у зонах Лісостепу і Полісся. Однонасінний диплоїдний гібрид на стерильній основі, врожайно-цукристого напрямку, стійкий до церкоспорозу, кореніду, гнилей коренеплодів, має високу технологічну якість. За результатами Державного сорто випробування у середньому мав такі показники продуктивності: врожайність 61,1 т/га, за цукристості 17,0 %, збір цукру – 10,4 т/га.

‘Шевченківський’ – занесений до Державного реєстру сортів рослин України у 2002 році і рекомендований для вирощування у зонах

Лісостепу і Степу. Однонасінний триплоїдний гібрид на стерильній основі, врожайно-цукристого напрямку, стійкий до церкоспорозу, коренеїду, гнилей коренеплодів, має високу технологічну якість, придатний для механізованого збирання. За результатами Державного сортовипробовування у середньому мав такі показники продуктивності: врожайність 59,6 т/га, за цукристості 17,1 %, збір цукру – 10,2 т/га.

‘ЦБ 0801’ – занесений до Державного реєстру сортів рослин України у 2011 році і рекомендований для вирощування у зонах Лісостепу та Полісся. Однонасінний триплоїдний гібрид на стерильній основі, врожайно-цукристого напрямку, стійкий до церкоспорозу, коренеїду, гнилей коренеплодів та ризоманії, має високу технологічну якість, придатний для механізованого збирання. За результатами Державного сортовипробовування у середньому мав такі показники продуктивності: врожайність 62,0 т/га, за цукристості 17,5 %, збір цукру – 10,9 т/га.

‘Козак’ – одноростковий диплоїдний гібрид урожайно-цукристого напрямку використання, створений на Верхняцькій ДСС ІБКіЦБ НААН. Материнський компонент - одноросткова диплоїдна форма з ЦЧС; батьківський компонент - багатонасінна диплоїдна форма. За результатами апробації за показником збору цукру з гектара суттєво перевищує рівень національного стандарту (кращі вітчизняні та зарубіжні аналоги) і становив 10,7 т/га (110,9 % від стандарту). Гібрид рекомендований для вирощування в зонах Степу і Лісостепу. У Державному Реєстрі сортів рослин України з 2017 року.

‘Герой’ – одноростковий диплоїдний гібрид урожайно-цукристого напрямку продуктивності, характеризується підвищеною стійкістю до ураження церкоспорозом і гнилями коренеплодів. Гібрид створено на Уманській у співпраці з Верхняцькою ДСС ІБК і ЦБ НААН. Батьківські форми характеризується продуктивним типом насінника, висотою 110 - 130 см, щільним розміщення насіння на 10 см відрізка стебла, кількість квіток на рослині в межах 5 - 7 тис. шт., плоди округло-плоскі, маса 1000 насінин 13 - 14 г. Коренеплід за розміром великий, середньої довжини, ширококонічної форми, головка на 1/4 виступає над поверхнею ґрунту. За результатами апробації збір цукру складав 10,9 т/га. У Державному реєстрі з 2017 року.

‘Злука’ – Однонасінний триплоїдний гібрид на стерильній основі створений Іванівською ДСС сумісно з Білоцерківською ДСС ІБКіЦБ НААН. Гібрид урожайно-цукристого напрямку, стійкий до цвітухи та

церкоспорозу, придатний для механізованого збирання (7,9 - 8,6 балів). За результатами Державного сорто випробування врожайність коренеплодів складала 56,6 т/га, цукристість – 18,6 %, збір цукру – 10,6 т/га. У Державному Реєстрі сортів рослин України з 2010 року.

У Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік унесено 222 вітчизняних та зарубіжних сортів та гібридів буряків цукрових [294]. За належного виконання всіх елементів технології вирощування, ці сорти та гібриди дають досить високі показники продуктивності та виходу біопалива з них. Селекціонерами ІБКіЦБ НААН створено гібриди буряків цукрових, які в повній мірі можна вирощувати на енергетичні цілі [329].

Найбільш продуктивними за врожайністю, серед вітчизняних гібридів є однонасінні триплоїдні гібриди, що створені на стерильній основі. Серед них рекомендованими можуть бути такі гібриди, як: 'Кварта', 'Злука', 'Рамзес', 'Олександрія', 'Вільшанський'. Врожайність коренеплодів таких гібридів сягає більше 50 т/га, при цьому їх цукристість досягає 17 - 18 % і більше. Тому їх можна впевнено рекомендувати для виробництва біогазу. Усі наведені в таблиці гібриди є рекомендованими для вирощування переважно в Поліській та Лісостеповій зоні.

Висновки до розділу

1. Польові дослідження проводились у чотирьох різних ґрунтово-кліматичних зонах: недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України (ВП ДСС); нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (І ДСС); нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (БЦ ДСС) і нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (Я ДСС);

2. Аналіз погодних умов впродовж 2011 – 2020 рр. для різних частин лісостепової зони України, в яких проводились польові дослідження, свідчить про високий рівень відхилення від середніх багаторічних значень як за температурними показниками, так і за кількістю опадів ($ГТК = 0,47 - 1,57$), що дозволило більш повно оцінити екологічну пластичність та стабільність досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового та буряків цукрових, а також вплив елементів технології вирощування на формування енергетичного потенціалу цукромісткої біомаси.

3. Дослідження проводились із вітчизняними високопродуктивними сортами і гібридами цукроносних культур.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР

Енергетичну оцінку цукроносних культур та елементів технології їх вирощування проводять за загальним виходом енергії, яку можна отримати з одного гектара посівів у разі перероблення вирощеної біомаси на різні види біопалива, при цьому враховується комплексний підхід до використання вирощеної біомаси. Комплексний підхід передбачає використання усієї біомаси в енергетичних цілях: біомаса в рідкому вигляді (сік, сироп) – для виробництва біоетанолу; біомаса в твердому вигляді (бегаса, залишки стебел) – для виробництва твердого біопалива чи біогазу.

3.1 Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового

Комплексний підхід до використання біомаси сорго цукрового полягає у тому, що після видалення соку (з якого виготовляється біоетанол) зі стебел залишки біомаси можуть бути використані для виробництва твердого біопалива або біогазу. Отже загальний вихід енергії з одиниці площі посіву сорго цукрового визначається як сума енергій, отриманих з біоетанолу та твердого біопалива або біогазу, виготовлених з біомаси сорго цукрового, зібраної з цієї площі.

3.1.1. Методика розрахунку виходу біоетанолу з біомаси сорго цукрового

За літературними джерелами [464], а також результатами досліджень, проведених у ІБКіЦБ НААН [268, 269] встановлено, що сік зі стебел сорго цукрового містить близько 15 % сухої речовини, з якої 13 % – сахароза, 1 % – моноцукрів та 1 % інших сухих речовин (крохмаль, мінеральні речовини).

Таким чином, біоетанол із соку сорго цукрового виробляється переважно із сахарози. Вихід біоетанолу можна розрахувати за формулою (3.1):

$$M_{\text{сорго}} = \frac{U_{\text{ст}} \cdot n \cdot S \cdot b \cdot k}{100}, \quad (3.1)$$

де, $M_{\text{сорго}}$ – вихід біоетанолу з 1 га сорго цукрового, т/га;

$U_{\text{ст}}$ – урожайність стебел, т/га;

n – коефіцієнт виходу соку, $n=0,5$;

S – загальний вміст цукрів у соку, %;

b – коефіцієнт виходу біоетанолу з сахарози, $b=0,53$;
 k – коефіцієнт заводського виходу біоетанолу, $k=0,9$.

Для розрахунку виходу біоетанолу використовуємо формулу спиртового бродіння:



Згідно з рівнянням хімічної реакції (3.2) вихід біоетанолу із сахарози становить 53 %, решта 47 % – вуглекислий газ. Отже коефіцієнт b , що характеризує вихід біоетанолу з сахарози, яка домінує у соку сорго цукрового становить $b=0,53$. Сучасні заводи з виробництва біоетанолу допускають втрати біоетанолу на рівні 9 - 15 %, тому коефіцієнт заводського виходу приймаємо $k=0,9$.

Для дотримання вимог сталості щодо викидів парникових газів, вуглекислий газ, який є побічним продуктом під час виробництва біоетанолу необхідно збирати для подальшого використання не допускаючи його надходження до атмосфери. У цьому випадку використання біоетанолу виготовленого з соку сорго цукрового забезпечить зменшення викидів парникових газів більше ніж на 70 % порівняно з використанням ископного палива [52, 327].

Сік зі стебел сорго цукрового отрууюють переважно за допомогою вальцевих пресів [466, 352, 243]. Вихід соку при цьому становить близько 50 % від врожаю біомаси стебел, або 75 % від наявної у стеблах вологи. Дослідженнями, проведеними у відділі технологій вирощування біоенергетичних культур ІБКіЦБ НААН встановлено, що вихід соку залежить від сортових особливостей сорго цукрового та від способу попередньої підготовки біомаси і варіює в значних межах – від 33 до 75 % від маси стебел [270]. Тому для розрахунку виходу біоетанолу приймаємо вихід соку 50 %, тобто $n=0,5$.

Після підставлення відповідних значень коефіцієнтів та скорочення формула (3.1) для сорго цукрового матиме вигляд:

$$M_{\text{сорго}} = \frac{0,2385 \cdot U_{\text{ст}} \cdot S}{100}, \quad (3.3)$$

де, $M_{\text{сорго}}$ – вихід біоетанолу з 1 га сорго цукрового, т/га;

$U_{\text{ст}}$ – урожайність стебел, т/га;

S – загальний вміст цукрів у соку, %;

Для визначення виходу біоетанолу можна також скористатися графіком (рис. 3.1).

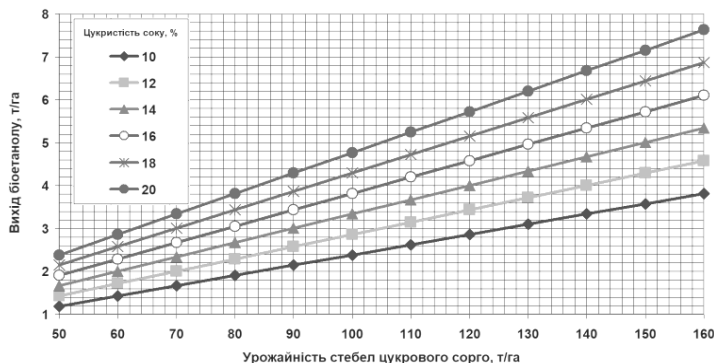


Рис. 3.1. Вихід біоетанолу залежно від урожайності стебел та цукристості соку сорго цукрового

Щоб визначити вихід енергії з біоетанолу, виготовленого з біомаси сорго цукрового, вирощеної на одному гектарі, необхідно масу отриманого біоетанолу помножити на його питому теплотворну здатність:

$$E_M = M \cdot e_M, \quad (3.4)$$

де E_M – вихід енергії, ГДж/га;

M – вихід біоетанолу з 1 га сорго цукрового, т/га;

e_M – питома теплотворна здатність біоетанолу, ГДж/т (оскільки біоетанол спалюється в двигунах внутрішнього згорання, за питому теплоту згорання приймаємо нижчу теплотворну здатність – 24,7 ГДж/т [360]).

Для визначення виходу енергії з біоетанолу можна також скористатися графіком (рис. 3.2).

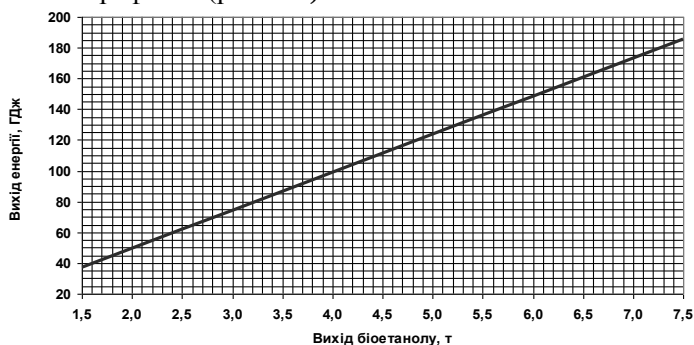


Рис. 3.2. Вихід енергії залежно від маси виготовленого біоетанолу

3.1.2 Теоретичні основи розрахунку виходу твердого біопалива

Після видалення соку, зі стебел сорго цукрового можна виготовляти тверде біопаливо (паливні гранули, брикети). Вихід твердого біопалива розраховується за формулою:

$$T = \frac{U \cdot c \cdot (100 + w)}{10000}, \quad (3.5)$$

де T – вихід твердого біопалива, т/га

U – врожайність зеленої маси стебел сорго цукрового, т/га

c – суха речовина біомаси стебел, %

w – вологість твердого біопалива, %

Згідно європейським вимогам тверде біопаливо може мати вологість до 10 %, тому приймаємо $w=10$ % [56].

Для визначення виходу твердого біопалива можна також скористатися графіком (рис. 3.3).

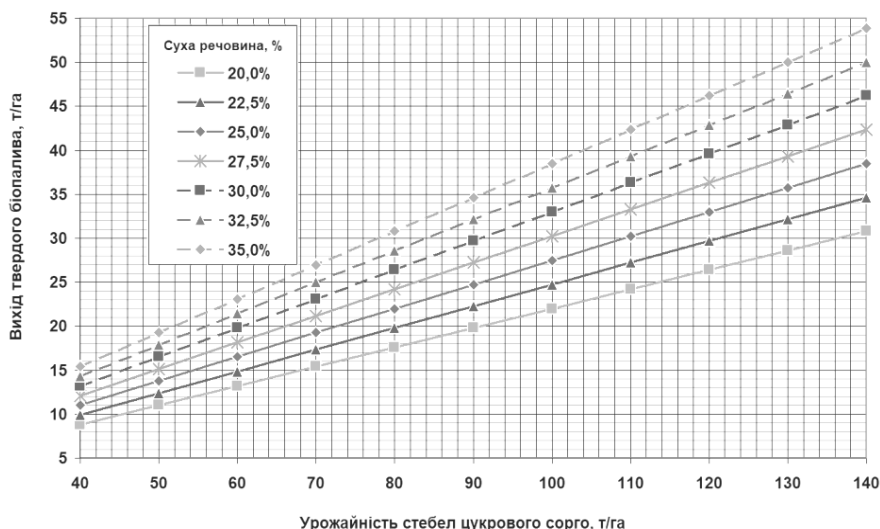


Рис. 3.3. Вихід твердого біопалива залежно від урожайності стебел та сухої речовини сорго цукрового

Вихід енергії визначають як добуток маси твердого біопалива отриманого з 1 га посівів сорго цукрового на його питому теплотворну здатність:

$$E_T = T \cdot e_t, \quad (3.6)$$

де E_T – вихід енергії з твердого біопалива, ГДж/га;

T – вихід твердого біопалива з 1 га сорго цукрового, т/га;

e_t – питома теплотворна здатність твердого біопалива, МДж/кг.

Оскільки тверде біопаливо використовується переважно у стаціонарних теплогенеруючих установках (твердопаливних котлах) за питому теплоту згорання приймаємо верхню теплотворну здатність твердого біопалива.

Питома теплота згорання твердого біопалива з сорго цукрового буде залежати від його вологості та зольності і визначатиметься за формулою:

$$e_T = \left(\frac{100 - W - Z}{100} \right) \cdot e_{T0}, \quad (3.7)$$

де e_t – питома теплотворна здатність твердого біопалива, МДж/кг;

W – вологість твердого біопалива, %;

Z – зольність твердого біопалива, %;

e_{T0} – питома теплотворна здатність абсолютно сухого беззольного твердого біопалива, МДж/кг;

За літературними даними відомо, що вища теплотворна здатність абсолютно сухої беззольної біомаси рослинного походження варіює не в значних межах і становить близько $e_{T0}=18,5$ МДж/кг [356].

Підставивши значення e_{T0} у формулу (3.7) та врахувавши, що згідно стандарту вологість твердого біопалива 10 % отримаємо:

$$e_T = 16,65 - 0,185 \cdot Z \quad (3.8)$$

На рисунку 3.4. наведено графічну інтерпретацію залежності (3.8).

У разі відсутності інформації про вміст золи у стеблах сорго цукрового приймаємо теплотворну здатність $e_t=16$ ГДж/т.

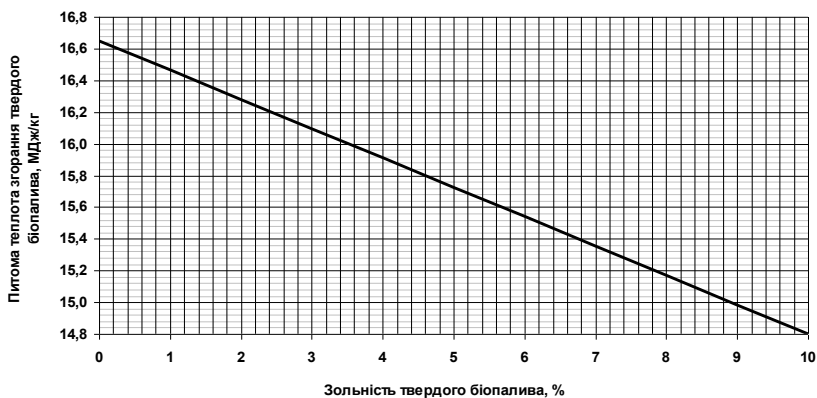


Рис. 3.4. Залежність теплотворної здатності твердого біопалива від зольності (за вологості $W=10\%$)

3.1.3. Визначення енергетичного потенціалу за виходом біогазу з біомаси сорго цукрового

Біогаз – це горючий газ, який утворюється у результаті бродіння різних видів біомаси і складається з метану CH_4 (50 - 75 %), вуглекислого газу CO_2 (25 - 50 %), водяної пари H_2O (до 10 %), азоту N_2 (до 5 %), кисню O_2 (до 2 %), водню H_2 (до 1 %), аміаку NH_3 (до 2,5 мг/м³) та сірководню H_2S (10 - 30 мг/м³) [59]. Основним компонентом біогазу є горючий газ метан, вміст якого залежить від типу сировини і процесу бродіння.

Біогаз утворюється в результаті природного процесу мікробного розкладання органічної маси у вологому середовищі в анаеробних умовах (за відсутності кисню). Сировиною для біогазових установок є перш за все сільськогосподарські субстрати, такі як рідкий та стійловий гній та енергетичні культури (буряк цукровий, кукурудза, сорго цукрове, міскантус тощо).

Для розрахунків виходу біогазу з біомаси сорго цукрового приймаємо методичні підходи, які наведені у аналітичних записках Агентства з відновлюваних ресурсів Німеччини (FNR) [59]. Приймаємо, що з 1 кг сухої речовини сорго цукрового можна отримати 0,7 м³ біогазу з вмістом метану 60 %. Отже, формула для розрахунку виходу біогазу з 1 га посівів сорго цукрового матиме вигляд:

$$F_{\text{сорго}} = \frac{U_{\text{сорго}} \cdot Q_{\text{сорго}} \cdot q}{100}, \quad (3.9)$$

де, $F_{\text{сорго}}$ – розрахунковий вихід біогазу (вміст метану 60 %), тис. м³/га;

$U_{\text{сорго}}$ – урожайність зеленої маси сорго цукрового, т/га;

$Q_{\text{сорго}}$ – вміст сухої речовини, %;

q – питомий вихід біогазу з 1 кг сухої речовини ($q = 0,7$ м³/кг).

Для визначення виходу біогазу можна також скористатися графіком (рис. 3.5).

Щоб визначити енергетичний потенціал біогазу, отриманого з одного гектара посівів сорго цукрового необхідно об'єм біогазу помножити на його питому теплоту згорання (3.10):

$$E_{\Gamma} = F \cdot e_F, \quad (3.10)$$

де E_{Γ} – вихід енергії, ГДж/га;

F – вихід біогазу з 1 га сорго цукрового, тис. м³/га;

e_F – питома теплотворна здатність біогазу, МДж/м³.

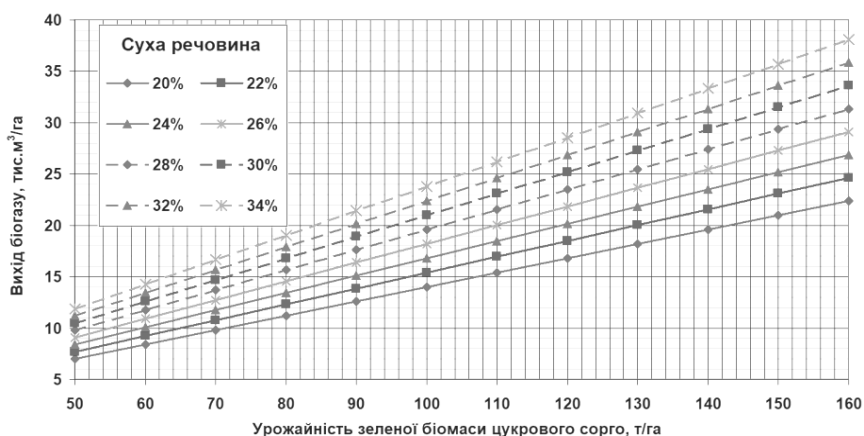


Рис. 3.5. Вихід біогазу залежно від урожайності та сухої речовини сорго цукрового

Біогаз може використовуватись як для теплогенеруючих установках (котлах) так і в двигунах внутрішнього згорання. Якщо біогаз використовується в котлах чи парових турбінах за питому теплоту згорання приймаємо вищу теплотворну здатність, а якщо у двигунах внутрішнього згорання – нижчу.

Вища теплотворна здатність основного компоненту біогазу, метану, становить $39,8 \text{ МДж/м}^3$ [448]; нижча – $35,8 \text{ МДж/м}^3$. Враховуючи, що в нашому випадку частка метану в біогазі складає 60 %, вища теплотворна здатність біогазу становить $39,8 \cdot 0,6 = 23,9 \text{ МДж/м}^3$, а нижча – $21,5 \text{ МДж/м}^3$.

В Україні біогаз використовується переважно для виробництва електроенергії за «зеленим» тарифом [309]. Більшість установок які виробляють електроенергію з біогазу використовують двигуни внутрішнього згорання, тому в цьому випадку необхідно розрахунок проводити за нижчою теплотворною здатністю.

Для визначення виходу енергії з біогазу можна також скористатися графіком (рис. 3.6) або номограмами.

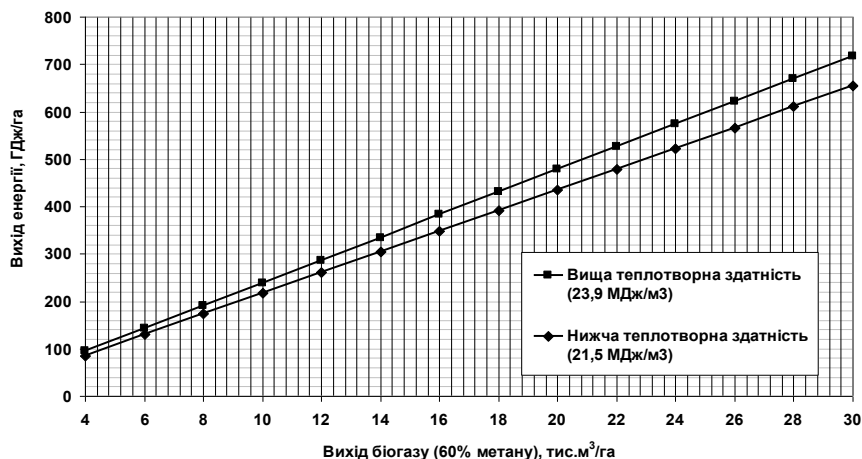


Рис. 3.6. Вихід енергії залежно від об'єму виготовленого біогазу

3.2. Методичні основи оцінки енергетичного потенціалу буряків цукрових

За комплексного перероблення біомаси буряків цукрових на біопаливо використовуються як коренеплоди так і листовий апарат рослин. Коренеплоди можуть використовуватись для виробництва біоетанолу чи біогазу, а з листя буряків цукрових можливе виробництво тільки біогазу.

3.2.1. Методика розрахунку виходу біогазу з біомаси буряків цукрових

Для розрахунку виходу біогазу приймаємо, що з 1 кг сухої речовини буряків цукрових можна отримати 0,7 м³ біогазу з вмістом метану 60 %. При цьому біогаз може бути виготовлений як з коренеплодів так і з листя. Отже, формула для розрахунку виходу біогазу з 1 га посівів енергетичних буряків цукрових матиме вигляд:

$$F_{\text{буряки}} = F_{\text{кор}} + F_{\text{гич}} = \frac{U_{\text{кор}} Q_{\text{кор}} + U_{\text{гич}} Q_{\text{гич}}}{100} q, \quad (3.11)$$

де, $F_{\text{буряки}}$ – загальний вихід біогазу, тис. м³/га;

$F_{\text{кор}}$ та $F_{\text{гич}}$ – вихід біогазу відповідно з коренеплодів та листя, тис. м³/га;

$U_{\text{кор}}$ – урожайність коренеплодів, т/га;

$Q_{\text{кор}}$ – вміст сухої речовини в коренеплодах, %;

$U_{\text{гич}}$ – урожайність листя, т/га;

$Q_{\text{гич}}$ – вміст сухої речовини в листках, %;

q – питомий вихід біогазу з 1 кг сухої речовини ($q = 0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$)

Щоб визначити вихід біогазу можна також скористатися графіком (рис. 3.7).

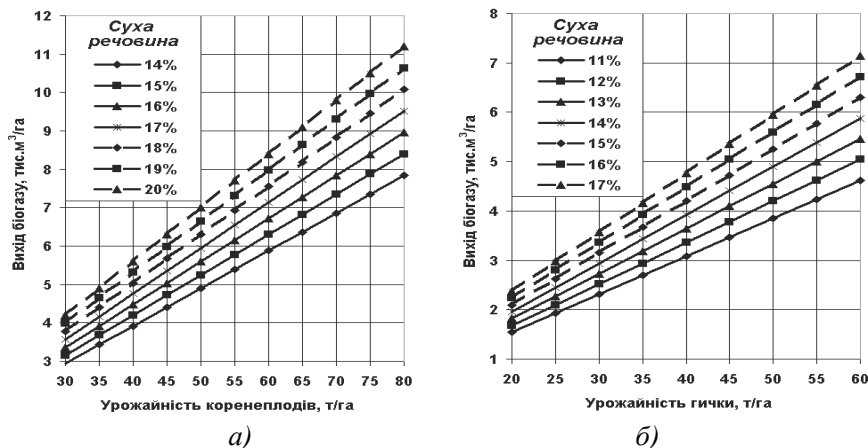


Рис. 3.7. Вихід біогазу залежно від урожайності та сухої речовини:

а) – коренеплодів; б) – гички.

Щоб визначити вихід енергії з біогазу, отриманого з одного гектара посівів енергетичних буряків цукрових необхідно об'єм біогазу помножити на його енергоємність:

$$E_F = F \cdot e_F \quad (3.12)$$

де: E_F – вихід енергії, ГДж/га;

F – вихід біогазу з 1 га енергетичних буряків цукрових, тис. м³/га;

e_F – теплотворна здатність біогазу, МДж/м³ (за вмісту метану 60 %
 $e_F = 21,8$ МДж/кг).

Для визначення виходу енергії з біогазу можна також скористатися графіком (рис. 3.8).

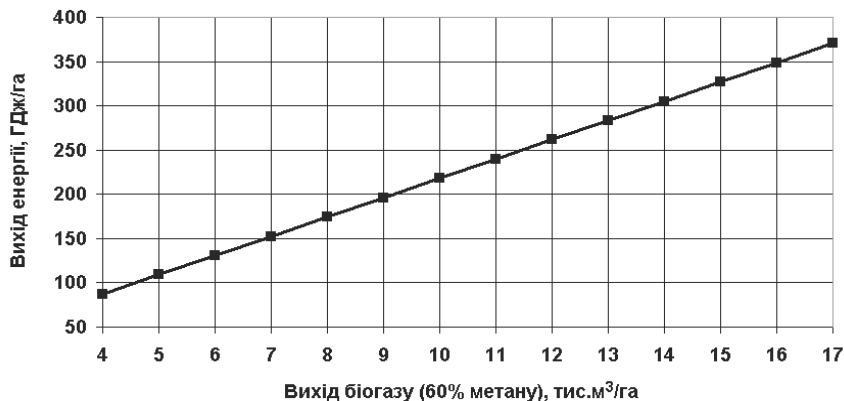


Рис. 3.8. Вихід енергії залежно від кількості отриманого біогазу

3.2.2. Теоретичні основи визначення виходу біоетанолу з коренеплідів буряків цукрових

Розрахунок виходу біоетанолу з сировини буряків цукрових здійснюємо за формулою (3.13):

$$M_{\text{буряки}} = \frac{U_{\text{кор}} \cdot S \cdot b \cdot k}{100}, \quad (3.13)$$

де, $M_{\text{буряки}}$ – вихід біоетанолу з 1 га енергетичних буряків цукрових, т/га;

$U_{кор}$ – урожайність коренеплодів, т/га;

S – цукристість коренеплодів, %;

b – коефіцієнт виходу біоетанолу з сахарози, $b=0,53$;

k – коефіцієнт заводського виходу біоетанолу, $k=0,9$.

Для визначення виходу біоетанолу можна також скористатися графіком (рис. 3.9).

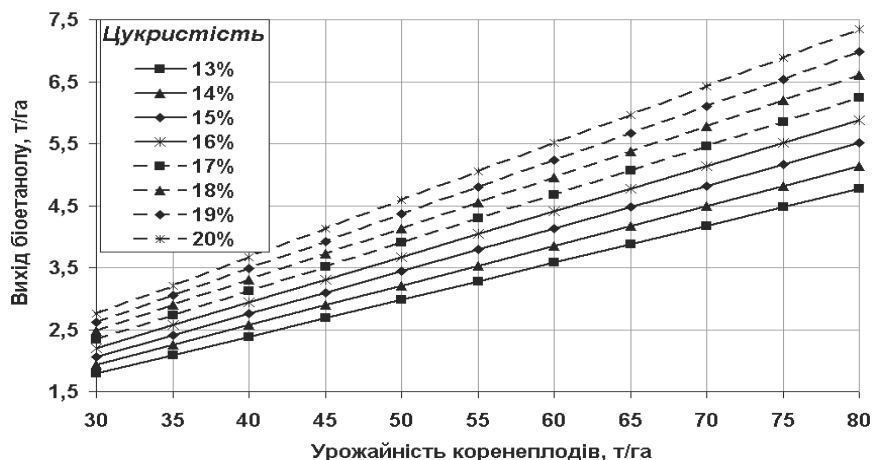


Рис. 3.9. Вихід біоетанолу залежно від урожайності та цукристості коренеплодів буряків цукрових

Щоб визначити вихід енергії з біоетанолу, отриманого з одного гектара посівів буряків цукрових необхідно масу біоетанолу помножити на його питому теплотворну здатність:

$$E_m = M \cdot e_m, \quad (3)$$

де E_m – вихід енергії, ГДж/га;

M – вихід біоетанолу з 1 га енергетичних буряків цукрових, т/га;

e_m – теплотворна здатність біоетанолу, ГДж/т (25 ГДж/т).

Для визначення виходу енергії з біоетанолу можна також скористатися графіком (рис. 3.10).

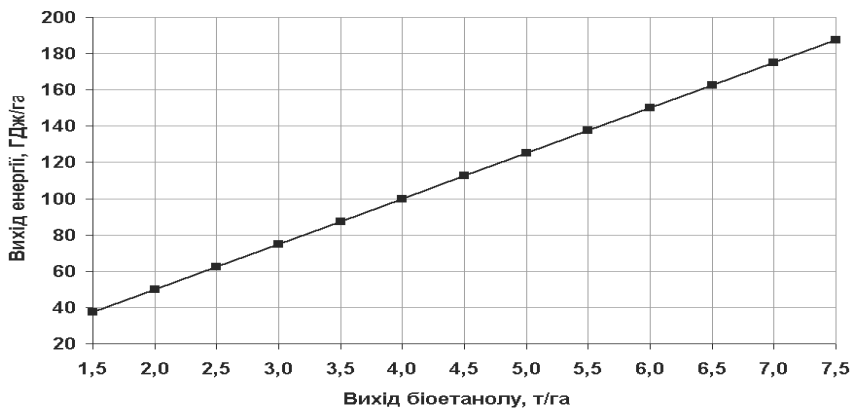


Рис. 3.10. Вихід енергії залежно від кількості отриманого біоетанолу

Висновки до розділу

1. Розроблені методичні основи визначення енергетичного потенціалу цукроносних культур, що дозволяє проводити оцінку енергетичної ефективності різних генотипів сорго цукрового і буряків цукрових та елементів технології їх вирощування як сировини для виробництва біопалива.
2. Запропонована методика ґрунтується на визначенні виходу енергії з біопалива, яке може бути виготовлене з біомаси цукроносних культур, зібраної з одиниці площі.
3. Порівняння загального виходу енергії різних сортів і гібридів буряків цукрових та сорго цукрового, а також технологій їх вирощування дозволяє проводити оцінку енергетичного потенціалу культури для різних ґрунтово-кліматичних умов.

РОЗДІЛ 4

АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР

Формування продуктивності рослин відбувається в тісному взаємозв'язку з кількісними та якісними змінами їх біометричних показників. З іншого боку, точність та доступність методів визначання розмірно-масових характеристик рослин, як об'єктів досліджень, є запорукою об'єктивної оцінки потенціалу їх продуктивності. Тому важливо використовувати методи, які забезпечують високу точність фіксації параметрів рослин за допомогою сучасного обладнання та програмного забезпечення [296].

4.1. Розробка методики для визначання площі листової поверхні сорго цукрового

Листок у рослин сорго цукрового є сидячим і складається з двох частин: пазухи та листової пластинки. Пазушна частина листка щільно охоплює міжвузля, захищаючи стебло рослини від несприятливих факторів зовнішнього середовища та робить його більш стійким до вилягання. Листкова пластинка сидяча, ланцетоподібна, гладенька із суцільними гострими краями. Листкова пластинка – з паралельним жилкуванням, має довжину 40 - 90 см, ширину – 4 - 8 см. Центральна жилка ділить листову пластинку на дві рівні частини, при цьому з нижньої частини листка вона потовщена, а з верхньої – увігнута. Середня частина листової пластини росте повільніше ніж її краї, тому листок сорго цукрового має хвилясту поверхню. У період високих температур листя та стебла рослин вкриваються білим восковим покривом, який запобігає перегріву рослин та випаровуванню вологи листовим апаратом [466].

Листок є найбільш важливим асимілюючим органом рослини, в якому відбувається первинний синтез органічних речовин із неорганічних (води та вуглекислого газу) під дією фотонів світла (процес фотосинтезу). Утворені у листках в процесі фотосинтезу органічні речовини слугують структурно-енергетичним матеріалом, за рахунок якого відбувається ріст і розвиток рослини та накопичення в її вегетативних органах (стеблі, коренеплоді тощо) енергетично цінних

речовин (жирів, білків, вуглеводів). За рахунок фотосинтезу у листовому апараті рослин синтезується 90 - 95 % сухої речовини рослин [373]. Таким чином, енергетична продуктивність рослини прямо пропорційна інтенсивності протікання процесу фотосинтезу та площі її листового апарата.

4.1.1. Аналіз методів визначення площі листової поверхні рослин сорго цукрового

Над розробкою методів визначення площі листової поверхні різних сільськогосподарських культур працювали такі вчені та дослідники, як Берсон Г.З. (томати) [234], Гізбуллін Н.Г. (насінники буряків) [275], Ніколаєнко В.В. та Федоряко Н.І. (полуниця) [372, 456], Вільямс Л. та Монтеро Ф. (виноград) [132], Стікле Ф (сорго) [195] та інші.

На сьогоднішній день існує ряд методів визначення площі листової поверхні різних видів рослин [35, 132, 216, 234, 275, 334, 372, 373, 386, 397, 456, 457]. Найбільшого поширення набув спосіб визначення площі листової поверхні методом висічок, згідно з яким відбирають середню пробу 10 - 15 рослин, зрізують листки і зважують їх. Потім, зрізане листя складають у стопки і за допомогою ручного свердла (трубки із загостреними кінцями) зі стопки роблять 5 - 10 круглих висічок діаметром 5 - 25 мм залежно від розміру листків. Висічки беруться таким чином, щоб у пробу попали як листові пластини, так і центральні жилки. Після цього висічки зважують та за співвідношенням маси висічок відомої площі до загальної маси листя визначають площу листової поверхні проби. Дана методика не забезпечує високої точності визначення площі листової поверхні, оскільки вона базується на співставленні маси листка та маси висічки відомої площі з цього листка. При цьому не враховується нерівномірність розподілу маси вздовж поверхні листка.

Не менш поширеним є розрахунковий метод, який ґрунтується на кореляційних зв'язках між площею листка та його розмірами (довжиною, шириною). У більшості випадків розрахунковий метод полягає у співставленні площі листка з площею прямокутника, більша сторона якого відповідає довжині листка, менша – ширині, при цьому використовується перевідний коефіцієнт. Можливість визначати площу листової пластини без зривання листка є суттєвою перевагою даного методу. Однак для високої точності розрахунків необхідно визначати перевідний коефіцієнт не тільки для кожної

сільськогосподарської культури, але й для кожного її сорту чи гібрида. Для цього слід використовувати прямі методи визначання площі листової поверхні.

Відомі способи безпосереднього визначання площі листового апарата, які полягають у нанесенні контурів листка на міліметровий папір або накладанні на листок градуїрованої сітки (палетки) з наступним визначанням площі. У цьому випадку площа листка визначається безпосередньо, а отже точність визначання площі буде вищою, ніж методом висічок, однак при цьому значно ускладнюється і уповільнюється процедура визначання площі.

Застосування спеціальних механічних чи електронних пристроїв для визначання площі листка (планіметрів) дозволяє пришвидшити розрахунок площі листової поверхні та забезпечує досить високу його точність (рис. 4.1).

Визначання площі за допомогою планіметра здійснюється шляхом обведення контуру листка штифтом планіметра. Для визначення площі поверхні листків округлої форми краще застосовувати полярні планіметри (рис. 4.1 б, в, г), а для листків, довжина яких значно (у 3 і більше разів) перевищує ширину, краще користуватися планіметрами роликового типу (рис. 4.1 д, е, є). При цьому точність визначання площі листка залежить від точності обведення його контуру та похибки самого приладу.

Висока вартість планіметрів (до 50 тис. грн) та можливість суб'єктивної помилки, пов'язаної з точністю обведення контуру листка, робить застосування планіметрів недоцільним для визначання площі листової поверхні.

Таким чином, існуючі способи та пристрої для визначання площі складних двовимірних фігур не дозволяють швидко з високою точністю встановити площу листової поверхні. Тому розроблення нової методики для визначання площі листової поверхні сорго цукрового та інших сільськогосподарських культур із застосуванням сучасної обчислювальної техніки є актуальним та своєчасним.

Розроблення нової методики визначання площі листової поверхні сорго цукрового проводилось у два етапи: 1 – створення бази даних розмірних характеристик листків; 2 – аналіз бази даних та розрахунок коефіцієнтів регресії.

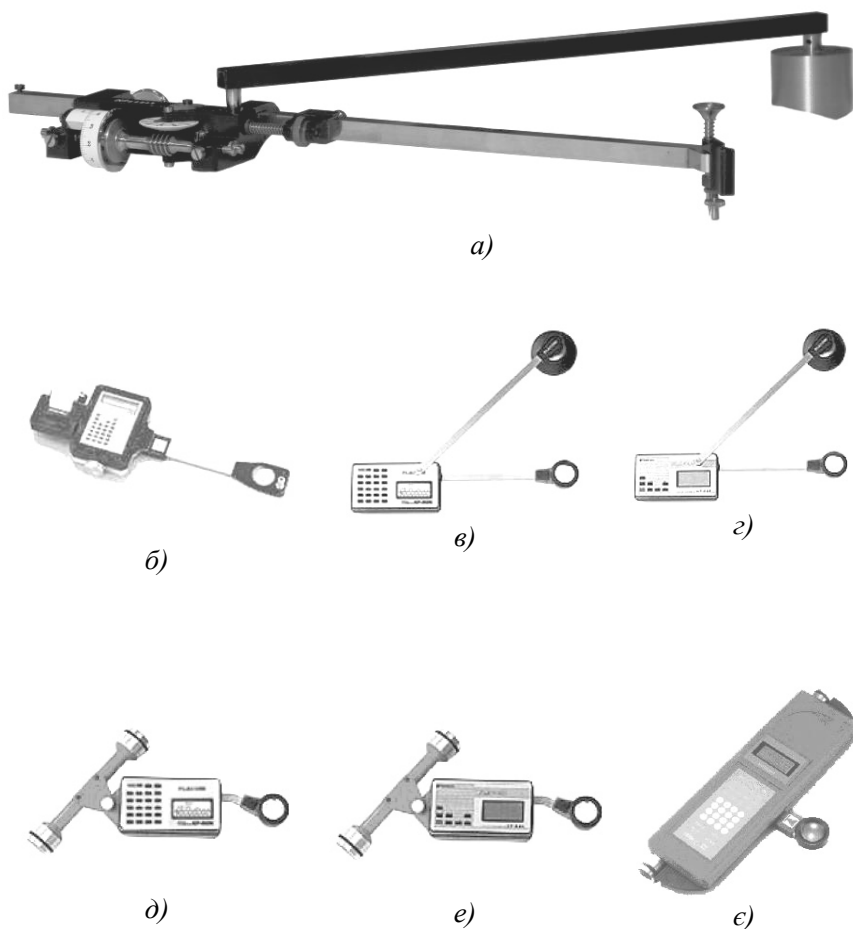


Рис. 4.1 – Планіметри для визначання площі фігур:

а) – механічний планіметр Амслера-Кораді;

*б), в) та г) – електронні планіметри полярного типу:
KP-21C, KP-80N та KP-82N відповідно;*

*д), е) та е) – електронні планіметри роликів типу:
KP-90N, KP-92N та KP-1000 відповідно.*

4.1.2. Методика визначення площі листкової поверхні методом сканування

На першому етапі впродовж 2011 - 2013 рр. проводили відбір листків різних сортів та гібридів сорго цукрового та здійснювали їх обмірювання і сканування з подальшим визначенням площі за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Було розроблено методику відбирання зразків листків та визначення їх розмірних характеристик та площі поверхні. Для цього відбирають підряд 10 рослин в одному рядку, який має знаходитись на відстані не менше 3 м від країв облікової ділянки. Густота стояння рослин в місці відбирання проби має бути характерною для даного варіанту досліду. Відібрані рослини зрізуються на рівні поверхні поля і визначають біометричні показники: довжину та масу рослини; діаметр стебла; кількість листків та їх розміри (довжину та ширину).

Після вимірювання листки розрізають на частини завдовжки до 25 см. Розрізані частини одного листка складають у прозорий конверт (канцелярський файл) таким чином, щоб окремі частини не торкались між собою. Після цього здійснюють сканування файлів з частинами листка на планшетному сканері. Роздільна здатність має бути однаковою для всіх сканованих зображень. Якщо процедура сканування буде здійснюватись за кілька годин, або наступного дня файли з листками рекомендується покласти під прес (пластину з твердого матеріалу розміром не менше 35 x 25 см, на яку встановлюють вантаж масою 5 - 10 кілограм).

Визначання площі листкової поверхні здійснюється через співставлення розміру сканованого зображення листка з розміром фігури відомої площі (шаблоном). Створення шаблонного зображення полягає у скануванні фігури відомої площі. Для цього необхідно вирізати з чорного (темного) паперу квадрат (шаблон) розміром, наприклад, 5 x 5 см. Від точності розмірів шаблону буде залежати точність визначення площі листків. Слід пам'ятати, що роздільна здатність під час сканування файлів з листками та шаблону має бути однаковою.

Для визначання площі листків сорго цукрового за відсканованими зображеннями використовуємо програмне забезпечення AreaS 2.1, яку спочатку слід відкалібрувати. Для цього у вікні програми AreaS натискаємо кнопку «Відкрити малюнок» та відкриваємо файл із зображенням шаблону. Задаємо межі сканування таким чином, щоб чорний квадрат шаблону знаходився всередині периметра з пунктирних ліній (рис. 4.2).

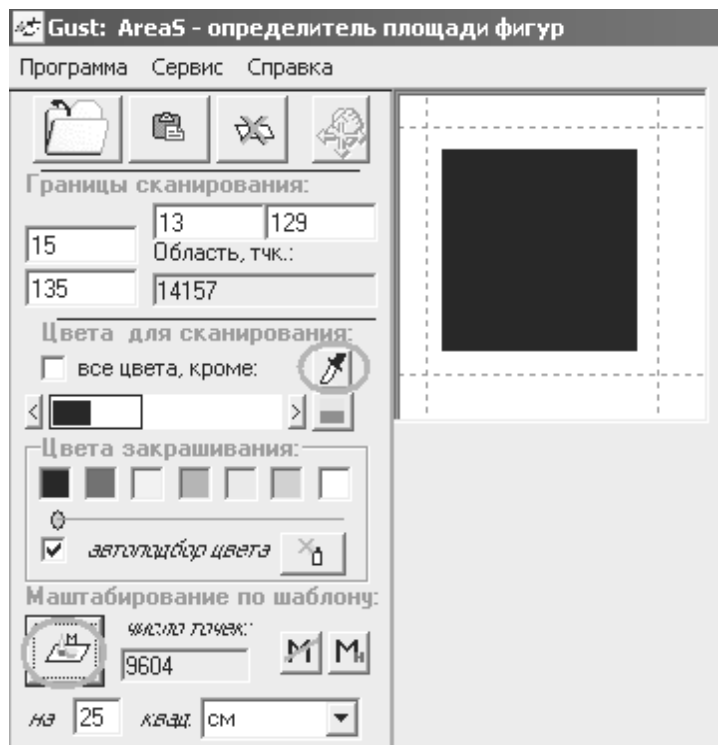


Рис. 4.2. Калібрування програми AreaS

У полі «Колір для сканування» за допомогою «піпетки» вибираємо чорний колір, оскільки наш об'єкт сканування чорного кольору. У полі «Масштабування за шаблоном» натискаємо кнопку «Визначення масштабу», після чого програма визначає кількість пікселів (точок), що знаходиться всередині шаблону. Вказуємо площу шаблону та одиниці виміру (25 см^2). Щоб уникнути некоректного визначення площі листової поверхні калібрування слід проводити під час кожного запуску програми AreaS.

Після проведення калібрування програми приступаємо до визначення площі листової поверхні, для чого відкриваємо файл із зображенням листка та задаємо межі сканування таким чином, щоб усі частини листка знаходились всередині периметра з пунктирних ліній (рис. 4.3).

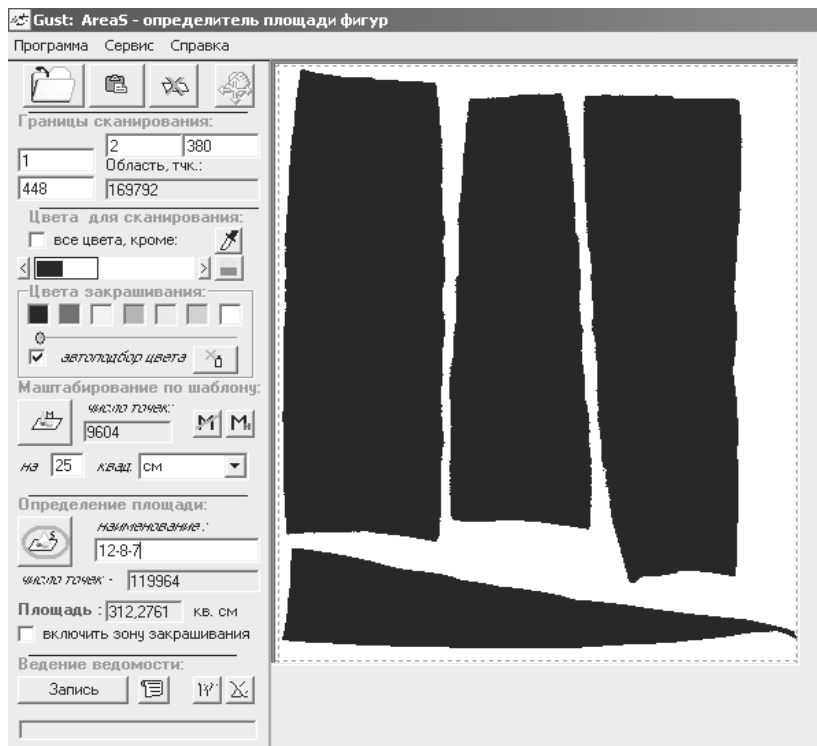


Рис. 4.3. Визначання площі листової поверхні за допомогою програми AreaS.

У полі «Визначання площі» натискаємо однойменну кнопку, після чого починається процедура обчислення площі, після чого у графі «Площа» з'явиться числове значення площі листової поверхні, виражене у відповідних одиницях (см²).

Площу листової поверхні рослини сорго цукрового визначаємо як суму площ усіх її функціональних листків.

За розробленою методикою упродовж 2011 - 2013 рр. наповнювали базу даних розмірних характеристик та площі поверхні листків рослин сорго цукрового гібрида 'Медовий F1' та сортів 'Фаворит' і 'Силосне 42', які внесені до Державного реєстру сортів рослин, а також перспективних гібридів 'Бізон', 'Зубр', 'Мамонт' та 'Нектарний', селекції СГІ НЦНС.

Отже, за результатами досліджень розроблено методику визначання площі листової поверхні, яка полягає у скануванні листової пластини на планшетному сканері та опрацюванні отриманих графічних файлів за допомогою спеціального програмного забезпечення. Підібрано режим сканування, що дозволяє отримати чітке контрастне зображення поверхні листка. В подальшому дана методика була адаптована для визначання площі листової поверхні буряків цукрових [256] та міскантусу гігантського [331].

4.1.3 Удосконалення розрахункового методу визначення площі листової поверхні

Застосувавши методи кореляційного та регресійного аналізів було встановлено взаємозв'язки між лінійними розмірами листка та площею листової поверхні для кожного з досліджуваних гібридів сорго цукрового.

Результати досліджень засвідчують наявність тісного кореляційного зв'язку між площею листової поверхні та розмірами листка. При цьому, залежність площі листової поверхні від довжини листка майже для всіх досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового (за винятком гібрида 'Зубр') виявилася сильнішою ніж від ширини листка. Так, найбільш тісною була залежність площі від довжини листка гібрида 'Бізон' ($r=0,960\pm0,028$), найменш тісною – гібрида 'Нектарний' ($r=0,758\pm0,066$). Залежність площі листка від його ширини була найбільшою у гібрида 'Зубр' ($r=0,952\pm0,031$), а найменшою – у гібрида 'Медовий F1' ($r=0,706\pm0,072$).

Характерною ознакою гібридів 'Медовий F1' і 'Нектарний' є відсутність кореляційного зв'язку між довжиною і шириною листка. Так, коефіцієнт кореляції між довжиною і шириною листка рослин сорго цукрового гібрида 'Медовий F1' становить $r=0,224\pm0,098$. Для рослин гібрида 'Нектарний' ця залежність взагалі виявилась неістотною ($t_r=1,69 < t_{0,05}=1,98$) і становила $r=0,168\pm0,100$. Це пояснюється особливостями росту листової пластини даних гібридів. З'являючись із пазухи, яка щільно облягає майже все стеблове міжвузля, листова пластина даних гібридів росте у довжину, а її ширина майже не змінюється.

Незважаючи на наявність тісного зв'язку між площею і лінійними розмірами листка рослин сорго цукрового, найтісніший кореляційний зв'язок ($r=0,976 - 0,995$) встановлено між площею листової поверхні та добутком довжини листка на його ширину. Наявність кореляційного

зв'язку такої сили свідчить про можливість визначання площі листової поверхні через добуток довжини на ширину листка. При цьому відпаде необхідність зривати листок, щоб визначити його площу та значно спрощується процедура її визначання. Таким чином, площу листка сорго цукрового можна визначити за формулою:

$$S = k \cdot L \cdot B, \quad (4.1)$$

де S – площа поверхні листка, см^2 ;

k – безрозмірний емпіричний коефіцієнт, що відображає співвідношення між площею листка та добутком його довжини на ширину;

L та B – відповідно довжина та ширина листка, см .

Коефіцієнт регресії k для різних гібридів сорго цукрового визначали емпіричним способом за допомогою регресивного аналізу бази даних (рис. 4.4 - 4.10). Аналіз графіків залишків на нормальному імовірнісному папері свідчить про високу адекватність підібраних лінійних моделей та відсутність автокореляції.

Зведені результати регресійного аналізу (табл. 4.1) свідчать, що для листків сорго цукрового коефіцієнт k змінюється від 0,736 (гібрид 'Медовий F1') до 0,760 (гібрид 'Мамонт'). Стандартна помилка при цьому не перевищує $S_k=0,016$, а критерій істотності знаходиться в межах $t_k=45,3 - 96,5$, що значно перевищує табличне значення $t_{0,05}=1,98$. Отже розрахункові значення коефіцієнтів регресії k для усіх досліджуваних гібридів є істотними.

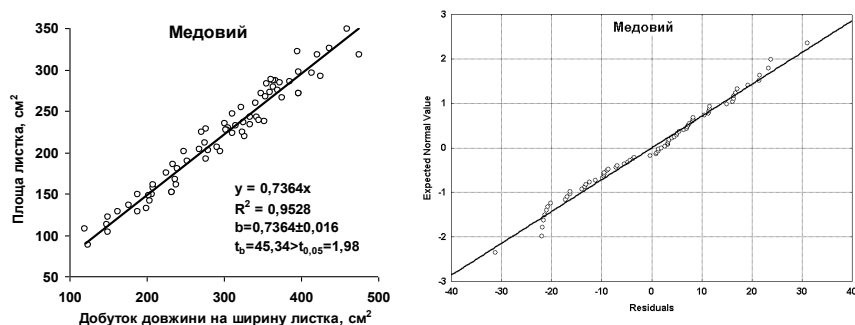


Рис. 4.4. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового гібрида 'Медовий F1'

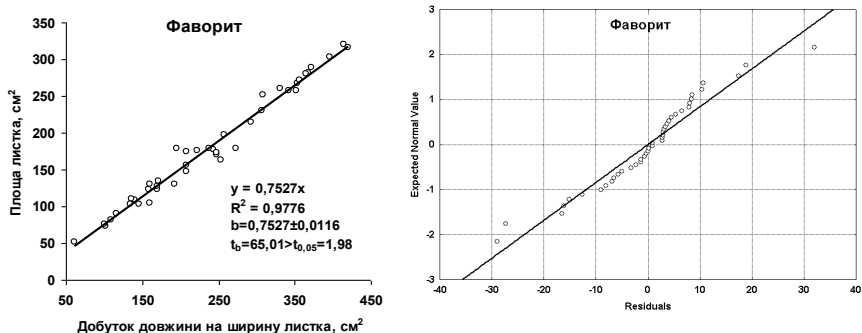


Рис. 4.5. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового сорту 'Фаворит'

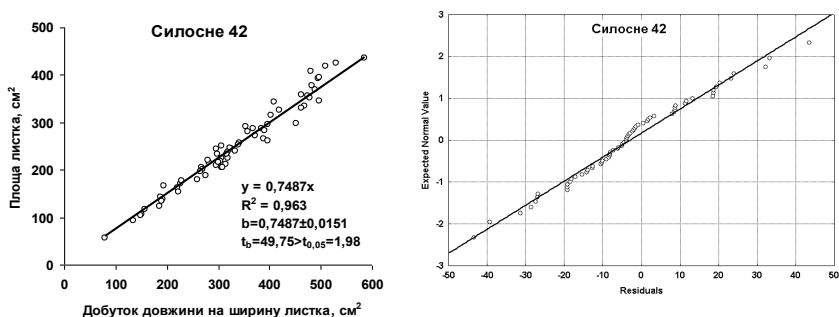


Рис. 4.6. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового сорту 'Силосне 42'

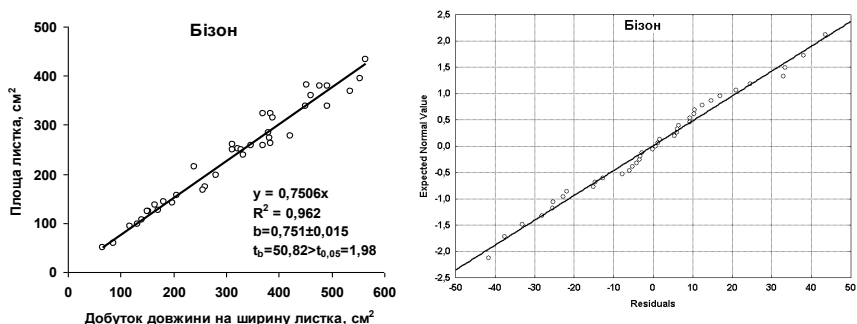


Рис. 4.7. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового гібрида 'Бізон'

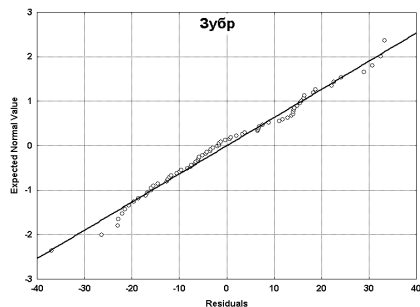
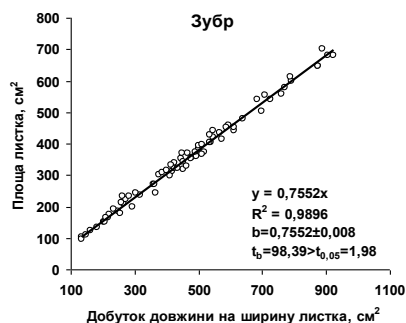


Рис. 4.8. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового гібрида 'Зубр'

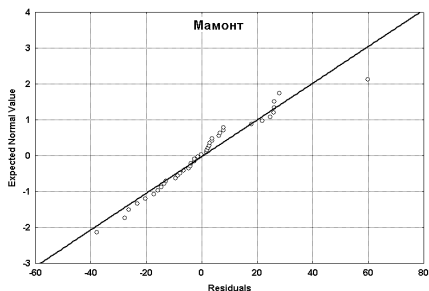
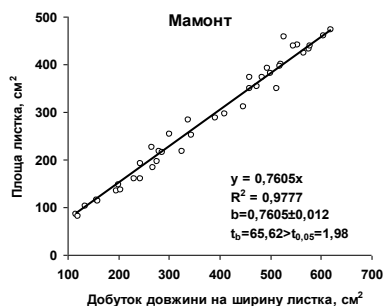


Рис. 4.9. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового гібрида 'Мамонт'

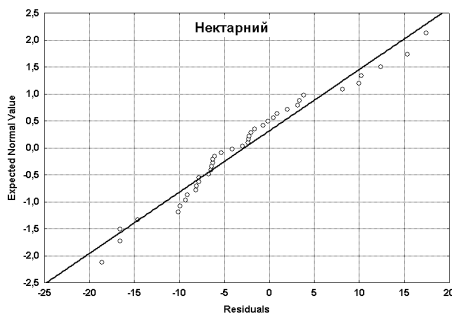
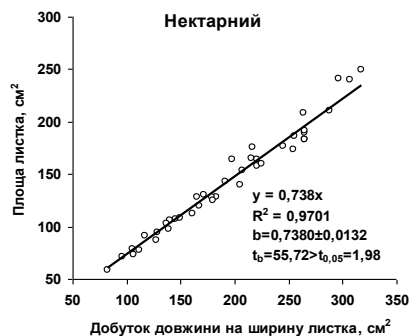


Рис. 4.10. Регресійна залежність та графік залишків для сорго цукрового гібрида 'Нектарний'

Таблиця 4.1.

Результати регресійного аналізу

Сорти та гібриди	Коефіцієнт регресії, k	Стандартна помилка, S_k	Критерій істотності, t_k ($t_{0,05}=1,98$)
‘Медовий F1’	0,736	0,016	45,3
‘Фаворит’	0,753	0,012	65,0
‘Силосне 42’	0,749	0,015	49,7
‘Бізон’	0,751	0,015	50,8
‘Зубр’	0,755	0,008	98,4
‘Мамонт’	0,760	0,012	65,6
‘Нектарний’	0,738	0,013	55,7

Таким чином, площу поверхні листкової пластини рослин сорго цукрового можна визначити скориставшись формулами, наведеними в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Формули для розрахунку площі листкової поверхні різних сортів і гібридів сорго цукрового

Сорт/гібрид сорго цукрового	Формула для розрахунку площі поверхні листка
‘Медовий F1’	$S = 0,736 \cdot L \cdot B$
‘Фаворит’	$S = 0,753 \cdot L \cdot B$
‘Силосне 42’	$S = 0,749 \cdot L \cdot B$
‘Бізон’	$S = 0,751 \cdot L \cdot B$
‘Зубр’	$S = 0,755 \cdot L \cdot B$
‘Мамонт’	$S = 0,760 \cdot L \cdot B$
‘Нектарний’	$S = 0,738 \cdot L \cdot B$

У 2013 році було проведено перевірку точності визначання площі листкової поверхні різними методами. За контроль приймалися значення площі, отримані методом сканування листків. Для проведення перевірки було заміряно та проскановано понад 100 листків з 12 рослин сорго цукрового.

Результати перевірки свідчать, що розрахунковий метод визначання площі листкової поверхні для сорго цукрового з використанням уточнених перевідних коефіцієнтів є точнішим, порівняно з ваговим методом «висічок». Про це свідчить ближче

розміщення «зірочок» ніж «ромбиків» до лінії (рис. 4.11). Так, під час визначання площі поверхні окремих листків сорго цукрового за методом висічок середня відносна похибка становить $\pm 9,1\%$, а за розрахунковим методом – $\pm 4,2\%$.

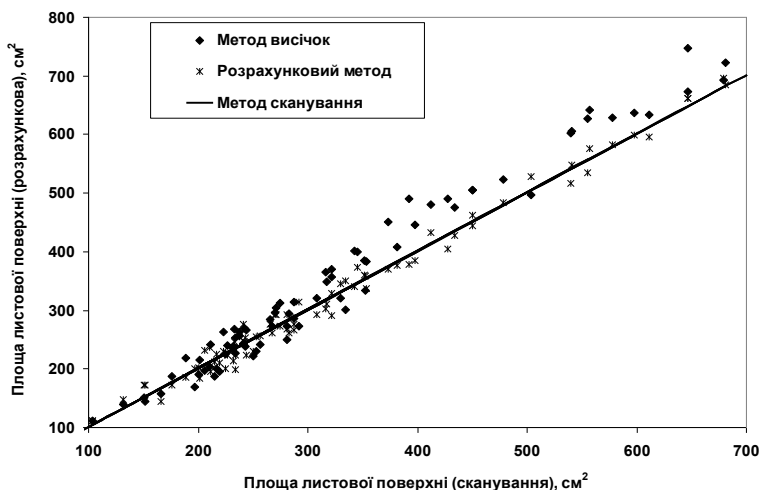


Рис. 4.11. Порівняння різних методів визначання площі поверхні листків сорго цукрового

Таким чином, удосконалений метод визначення площі листової поверхні забезпечує високу точність розрахунків без зривання листків з рослини.

4.2. Побудова стохастичної моделі для прогнозування фракційного складу коренеплодів буряків цукрових

Головною передумовою зниження втрат та пошкодження коренеплодів під час механізованого збирання буряків цукрових на енергетичні цілі є правильне налаштування робочих органів бурякозбиральних машин у відповідності до агротехнічної оцінки стану бурякової плантації [410]. Регулювання робочих органів для викопування необхідно здійснювати з врахуванням розмірних характеристик коренеплодів, які носять імовірнісний характер. Отже, перед початком механізованого збирання буряків цукрових необхідно

мати інформацію про фракційний склад коренеплодів. За існуючими методиками для визначення фракційного складу коренеплодів за їх діаметром необхідно викопати, очистити від ґрунту та гички, а потім заміряти штангенциркулем щонайменше 200 коренеплодів [423]. Проведення робіт за такою методикою супроводжується значними затратами часу та ресурсів. Разом з тим наявність кореляційних зв'язків між окремими розмірно-масовими характеристиками коренеплодів буряків цукрових, а також нормальний закон розподілу цих показників дозволяють використати методи імітаційного статистичного моделювання для прогнозування фракційного складу коренеплодів до їх збирання.

4.2.1. Агробіологічні основи розрахунку діаметра коренеплодів буряків цукрових залежно від врожайності та густоти стояння рослин

В основу розрахунків покладено дані про біологічну врожайність та густоту стояння рослин буряків цукрових, які визначаються безпосередньо перед збиранням та припущення, що коренеплоди буряків цукрових за їх діаметром розподіляються за нормальним законом із коефіцієнтом варіації $V=0,19 - 0,29$ [313].

Знаючи біологічну врожайність та густоту насаджень на час збирання, середню масу коренеплоду можна визначити за формулою:

$$M = 10^3 \cdot \frac{Y}{G}, \quad (4.2)$$

де M – середнє значення маси коренеплоду, г;

Y – врожайність коренеплодів, т/га;

G – густота стояння рослин буряків цукрових на час збирання, тис. шт./га.

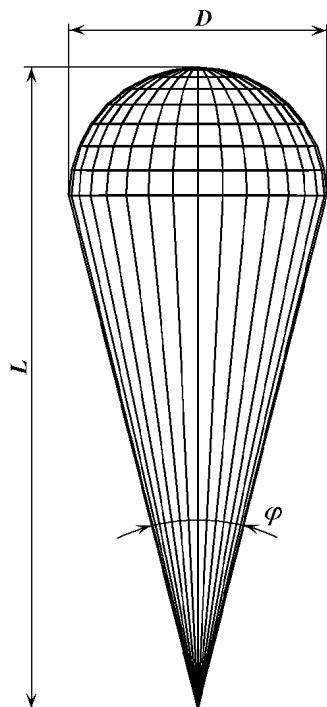
Розглянувши коренеплід буряка цукрового як геометричне тіло, що складається із конуса та на півсфери (рис. 4.12), його об'єм можна визначити за формулою:

$$V_{кор} = V_{кон} + V_{сф} = \frac{\pi D^2}{12} \cdot \left(L + \frac{D}{2} \right), \quad (4.3)$$

де $V_{кор}$ – об'єм тіла коренеплоду, см³;

D – діаметр коренеплоду, см;

L – довжина коренеплоду, см.



**Рис. 4.12. Модель форми
коренеплоду буряків
цукрових**

Використавши індекс форми коренеплоду як співвідношення його діаметра до довжини формула (4.3) прийме вигляд:

$$V_{\text{кор}} = \frac{\pi D^3}{24k} (2+k), \quad (4.4)$$

де k – індекс форми коренеплоду, безрозмірна величина: $k=D/L$.

Масу коренеплоду M знаходимо як добуток його об'єму на щільність ρ :

$$M = \frac{\pi \rho D^3}{24k} (2+k) \quad (4.5)$$

де M – маса коренеплоду, г;
 ρ – щільність тіла коренеплоду, г/см³.

Розв'язавши рівняння (4.5) відносно діаметра коренеплоду D , отримаємо:

$$D = \sqrt[3]{\frac{24 \cdot M \cdot k}{\pi \rho (2+k)}} \quad (4.6)$$

Адекватність рівняння (4.6) перевіряли, порівнюючи розрахункові значення діаметра коренеплодів з результатами вимірювань, які проводили перед збиранням буряків цукрових. Для розрахунків приймали $k=0,5$; $\rho = 1,2$ г/см³. Коефіцієнт кореляції між теоретично розрахованим за формулою (4.6) діаметром коренеплоду та визначеним шляхом вимірювання становить $r=0,965$ (рис. 4.13).

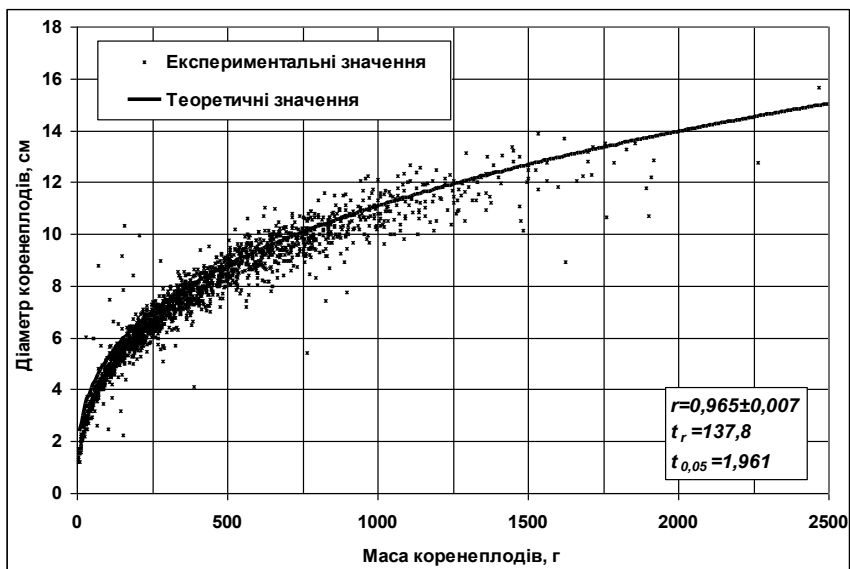


Рис. 4.13. Залежність діаметра коренеплодів буряків цукрових від маси

Підставивши у рівняння (4.6) значення маси коренеплоду M з виразу (4.2) отримаємо аналітичну залежність за допомогою якої можна визначити середній діаметр коренеплодів залежно від врожайності Y та густоти стояння рослин Γ :

$$D = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{24 \cdot Y \cdot k}{\Gamma \cdot \pi \cdot \rho \cdot (2 + k)}} \quad (4.7)$$

де Y – врожайність коренеплодів, т/га;

Γ – густота стояння рослин буряків цукрових на час збирання, тис. шт./га;

ρ – щільність тіла коренеплоду, г/см³.

k – індекс форми коренеплоду, безрозмірна величина: $k = D/L$.

Графічна інтерпретація залежності (4.7) наведена на рис. 4.14.

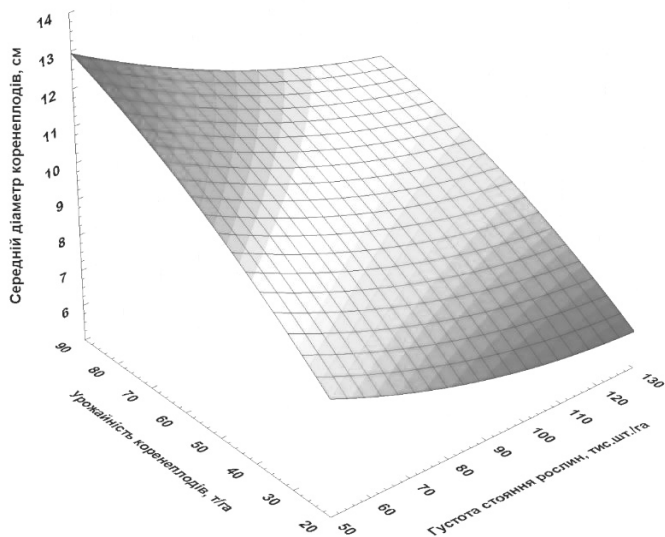


Рис. 4.14. Залежність середнього діаметра коренеплоду від врожайності та густоти стояння рослин буряків цукрових

Отже, користуючись формулою (4.7) знаючи біологічну врожайність коренеплодів буряків цукрових U та їх густоту стояння Γ на час збирання можна визначити середній діаметр коренеплоду.

4.2.2. Стохастичне моделювання фракційного складу коренеплодів

Суть запропонованої методики розрахунку полягає у тому, що за допомогою імітаційного статистичного моделювання здійснюється прогнозування фракційного складу коренеплодів буряків цукрових [364].

Оскільки розподіл коренеплодів за їх діаметром відповідає нормальному закону розподілу, частку коренеплодів, діаметр яких не перевищує певного значення d_1 , можна визначити за формулою:

$$P(0 < x < d_1) = F(d_1) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_0^{d_1} e^{-\frac{(x-D)^2}{2s^2}} dx, \quad (4.8)$$

де $P(0 < x < d_1)$ – частка коренеплодів діаметром від 0 до d_1 ;

$F(d_1)$ – інтегральна функція розподілу;

D – середній діаметр коренеплоду;

s – середньоквадратичне відхилення діаметра коренеплоду:

$s = V \cdot D$, де V – коефіцієнт варіації.

За формулою (4.8) можна визначити кількісну частку коренеплодів, діаметр яких не перевищує заданих меж. Однак для практичних цілей більш корисною є інформація про масову частку коренеплодів, адже саме за масою визначається відсоток втрачених під час збирання коренеплодів [303].

У результаті імітаційного комп'ютерного моделювання встановлено, що між характеристиками фракції коренеплодів за кількістю та масою існує залежність, графік якої наведено на рис. 4.15.

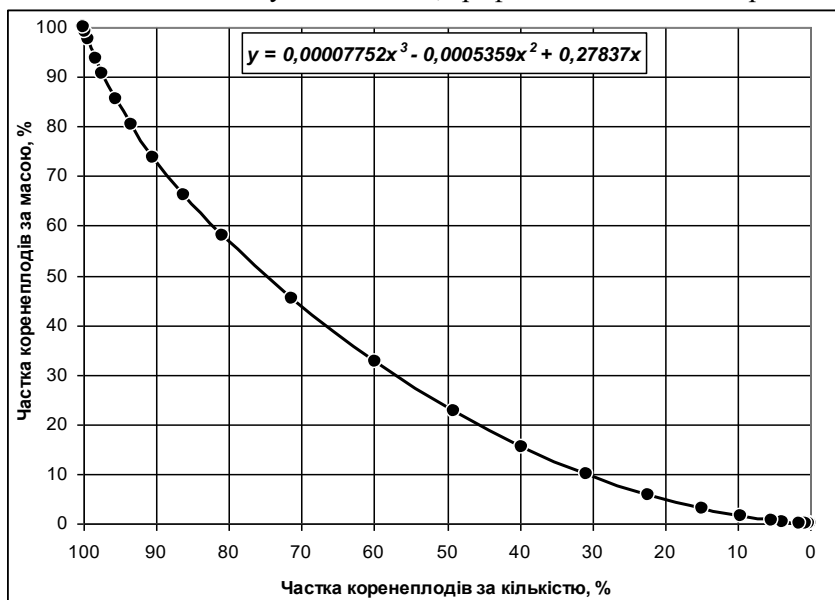


Рис. 4.15. Графік переходу кількісного розміру фракції коренеплодів буряків цукрових у масовий

Таким чином, визначивши біологічну врожайність коренеплодів та густоту стояння рослин буряків цукрових, користуючись формулою (4.7) можна розрахувати середній діаметр коренеплоду. Після цього, за формулою (4.8) розраховується кількісна частка коренеплодів, діаметр яких не перевищує встановленого значення. Масова частка коренеплодів заданої фракції визначається на основі залежності, представленої на рис. 4.15. Результати розрахунків наведено в таблиці 4.3.

Отже, за врожайності 60 т/га та густоти стояння рослин 100 тис. шт./га масова частка коренеплодів, діаметром до 40 мм становитиме 1,2 %, а отже за збирання вітчизняними бурякозбиральними машинами ймовірно втрати коренеплодів через зазори у викопуючих, очисних та транспортуючих робочих органах становлять до 1,2 %. За використання іноземних комплексів, зазори у яких складають до 60 мм ймовірна частка втрат становитиме вже близько 8,5 відсотка.

Таблиця 4.3

**Прогноз фракційного складу коренеплодів буряків
цукрових залежно від врожайності (густота 100 тис. шт./га), %**

Фракція см	Врожайність, т/га						
	20	30	40	50	60	70	80
до 4	7,0	3,6	2,3	1,6	1,2	1,0	0,8
до 5	19,9	10,7	6,7	4,7	3,5	2,7	2,2
до 6	41,5	24,4	16,0	11,3	8,5	6,6	5,3
до 7	66,2	44,4	31,1	22,8	17,4	13,8	11,2
до 8	85,3	65,9	50,3	39,0	30,9	25,0	20,6
до 9	95,3	83,2	69,4	57,3	47,5	39,8	33,6
до 10	99,0	93,5	84,3	74,2	64,6	56,2	49,0
до 11	99,8	98,1	93,4	86,8	79,2	71,6	64,5
до 12	100,0	99,6	97,8	94,3	89,4	83,8	78,0
до 13	100,0	99,9	99,4	98,0	95,4	92,0	87,9
до 14	100,0	100,0	99,9	99,4	98,3	96,6	94,1
понад 14	0,0	0,0	0,1	0,6	1,7	3,4	5,9

Висновки до розділу

1. Розроблено методику визначання площі листової поверхні, яка полягає у скануванні пластини листка на планшетному сканері та опрацюванні отриманих графічних файлів за допомогою спеціального програмного забезпечення. Підібрано режим сканування, що дозволяє отримати чітке контрастне зображення поверхні листка.

2. За результатами експериментальних досліджень встановлено тісний кореляційний зв'язок між площею листової поверхні та розмірами листка рослин сорго цукрового. Найтісніший кореляційний зв'язок ($r=0,976 - 0,995$) встановлено між площею листової поверхні та добутком довжини листка на його ширину. Розраховано перевідні коефіцієнти для визначання площі листової поверхні різних сортів та гібридів сорго цукрового розрахунковим методом.

3. Розроблено стохастичну модель для розрахунку середнього діаметра коренеплідів буряків цукрових та прогнозування їх фракційного складу на основі біологічної врожайності та густоти стояння рослин на час збирання, що дозволяє керувати процесом формування енергетичної продуктивності.

РОЗДІЛ 5

ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ СОРТУ, СТРОКІВ СІВБИ НАСІННЯ ТА ДОЗ ДОБРИВ

У 2011 - 2015 роках проведено дослідження з визначення впливу елементів технології вирощування та факторів зовнішнього середовища на процеси росту і розвитку рослин сорго цукрового та його енергетичну продуктивність. Дослідження проводились у центральному та східному Лісостепу України (БЦ ДСС та І ДСС), на землях з низьким рівнем родючості у зоні нестійкого зволоження (Я ДСС) та у зоні недостатнього зволоження (ВП ДСС).

5.1. Енергетична продуктивність сорго цукрового у центральній частині Лісостепу України

Результати досліджень, проведені на БЦ ДСС свідчать, що врожайність зеленої маси сорго цукрового суттєво залежали від досліджуваних факторів (рис. 5.1), при цьому найбільший вплив мали погодні умови (39,0 %) та застосування мінеральних добрив (38,8 %). Вплив строків сівби насіння та сортових особливостей був значно меншим і становив відповідно 4,5 та 3,0 відсотка.

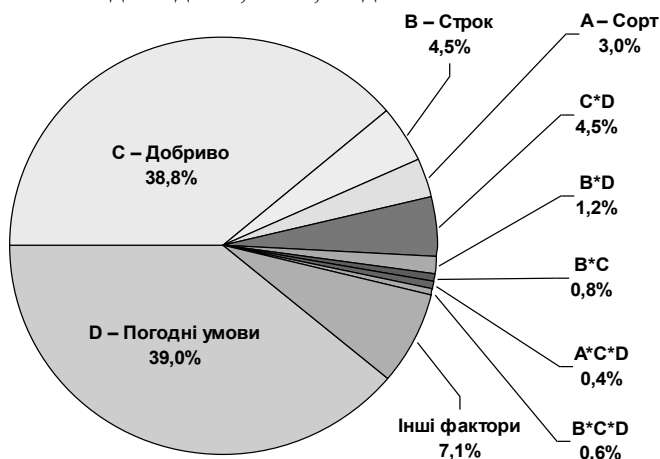


Рис. 5.1. Вплив досліджуваних факторів на врожайність зеленої маси сорго цукрового (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Погодні умови 2013 року були найсприятливіші, що дозволило сформувати врожайність зеленої маси в середньому у досліді на рівні 80,5 т/га, дещо меншою була врожайність у 2014 році – 78,4 т/га (рис. 5.2а). Найнижча врожайність зеленої маси сорго цукрового (54,3 т/га) спостерігали у посушливому 2015 році. Впродовж усіх років досліджень врожайність зеленої маси сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ (74,4 т/га) була суттєво вищою ніж сорту ‘Силосне 42’ (67,8 т/га) (рис. 5.2б). Таким чином, не дивлячись на високий рівень посухостійкості сорго цукрового врожайність його зеленої маси суттєво залежить від гідротермічних показників. Гостра нестача вологи в період вегетації рослин призводить до зниження врожайності зеленої маси на 30 - 32 відсотків.

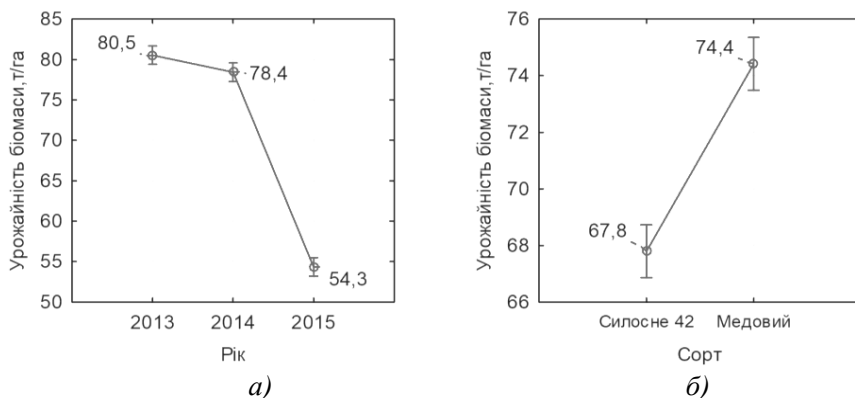


Рис. 5.2. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від погодних умов (а) та сортових особливостей (б) (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)

На неудобреному варіанті врожайність зеленої маси сорго цукрового становила 54,3 т/га (рис. 5.3 а), що на 31,4 % менше порівняно із врожайністю, отриманою за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ (79,2 т/га). Прибавка врожаю від внесення подвійної дози добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$) була не суттєвою. Таким чином збільшення дози добрив від 0 до 80 кг д.р. дозволило додатково отримати 311 кг зеленої маси сорго цукрового на 1 кг д.р. добрив, а збільшення дози від 80 до 160 кг д.р. забезпечило приріст зеленої маси лише на 7,5 кг на 1 кг д.р.

Ефективність застосування мінеральних добрив значно залежала від погодних умов. Так, на варіанті без застосування мінеральних добрив врожайність зеленої маси сорго цукрового в засушливий 2015 рік становила 45,5 т/га (рис. 5.3 б), що на 22 - 23 % менше порівняно із врожайністю на цьому ж варіанті досягнутою у 2013 році (58,6 т/га) та 2014 році (59,0 т/га). За внесення одинарної дози добрив різниця за врожайністю у сприятливі на несприятливі роки зростає. Так, за внесення добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ у засушливому 2015 році врожайність зеленої маси сорго цукрового становила 58,7 т/га, що на 33 - 35 % менше порівняно з показниками 2013 - 2014 років. Встановлено, що застосування одинарної дози мінеральних добрив ($N_{80}P_{80}K_{80}$) навіть за несприятливих погодних умов забезпечує врожайність зеленої маси сорго цукрового на рівні 58,7 т/га, що статистично не відрізняється від врожайності, досягнутої за сприятливих погодних умов на неудобреному фоні.

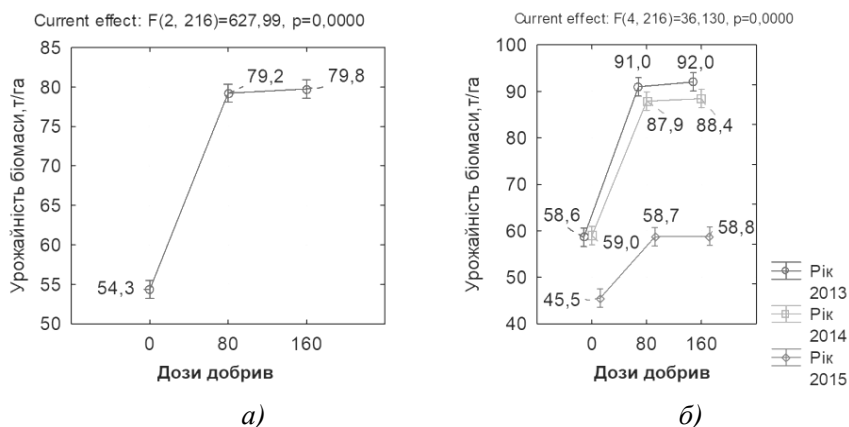


Рис. 5.3. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від доз добрив та умов вегетації (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.):

а) – в середньому за роки досліджень; б) – окремо за роками досліджень

Ранні строки сівби насіння сорго цукрового негативно впливали на його продуктивність. Так, за сівби насіння в III декаді квітня врожайність зеленої маси сорго цукрового у середньому за роки досліджень становила 65,7 т/га (рис. 5.4 а), що на 9,1 % менше у порівнянні з сівбою в I декаді травня (72,3 т/га) та на 12,7 % менше порівняно із сівбою у II декаді травня (75,3 т/га).

Вплив строків сівби насіння сорго цукрового на його продуктивність значно відрізнявся за роками досліджень. Характер залежності врожайності зеленої маси від строків сівби насіння сорго цукрового для 2014 та 2015 років були схожі (рис. 5.4 б). Так, за першого строку сівби насіння (ІІІ декада квітня) врожайність біомаси була найменшою (50,1 т/га у 2015 році та 73,1 т/га у 2014 році), перенесення строків сівби на І декаду травня забезпечило істотне підвищення врожайності зеленої маси (56,7 т/га у 2015 році та 81,2 т/га у 2014 році), а подальше перенесення строків сівби на ІІ декаду травня призвело до незначного зниження врожайності зеленої маси сорго цукрового (56,2 т/га у 2015 році та 80,9 т/га у 2014 році). Це пояснюється тим, що не зважаючи на різні умови зволоження, які склалися у 2014 та 2015 роках, температурні показники у квітні та травні за ці роки були схожими.

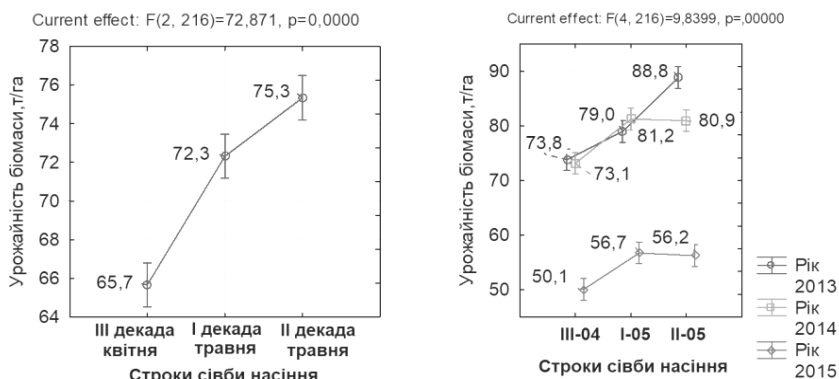


Рис. 5.4. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від строків сівби насіння (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)

У сприятливому 2013 році найвищу врожайність зеленої маси було досягнуто за сівби насіння у ІІ декаді травня 88,8 т/га, що свідчить про те, що за наявності достатньої кількості ґрунтової вологи пізні строки сівби насіння є більш виправданими, оскільки при цьому забезпечується кращий температурний режим на початкових етапах росту і розвитку рослин сорго цукрового в умовах центральної частини Лісостепу України.

Цукристість соку сорго цукрового також суттєво залежала від досліджуваних факторів. Зі збільшенням дози добрив цукристість соку також зростала не залежно від сортових особливостей та строків сівби насіння (рис. 5.5). Середній за дослідом вміст цукрів у соку гібрида ‘Медовий F1’ становив 15,3 %, а у соку сорту ‘Силосне 42’ – 14,0 %. Цукристість соку у посушливому 2015 році була значно нижчою і становила в середньому 12,0 % проти 15,9 - 16,0 % у достатньо вологих 2013 - 2014 роках. Вплив строків сівби на цукристість соку був майже не суттєвим ($p=0,04$), водночас спостерігалась тенденція до збільшення цукристості соку сорту ‘Силосне 42’ за сівби насіння в I декаді травня, а у гібрида ‘Медовий F1’ – у II декаді травня.



Рис. 5.5. Цукристість соку сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби насіння та доз добрив (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.):

1 – Без добрив; 2 – $N_{80}P_{80}K_{80}$; 3 – $N_{160}P_{160}K_{160}$

Усі фактори дослідів суттєво впливали на вихід біоетанолу (рис. 5.6), водночас домінуючим був вплив погодних умов (39,0 %) та мінеральних добрив (28,5 %). Ступінь впливу сортових особливостей і строків сівби був значно меншим і становив відповідно 5,2 та 2,7 %. Суттєвим також був вплив спільної дії двох факторів, один з яких були погодні умови. Так ступінь впливу на вихід біоетанолу спільної дії добрив і погодних умов ($C*D$) складав 4,8 %, сортових особливостей і погодних умов ($A*D$) – 3,1 %, строків сівби насіння і погодних умов ($B*D$) – 3,6 %. Таким чином вирішальний вплив (понад 80 %) на вихід біоетанолу з одиниці площі посівів сорго цукрового мають погодні умови в період вегетації рослин та дози мінеральних добрив.

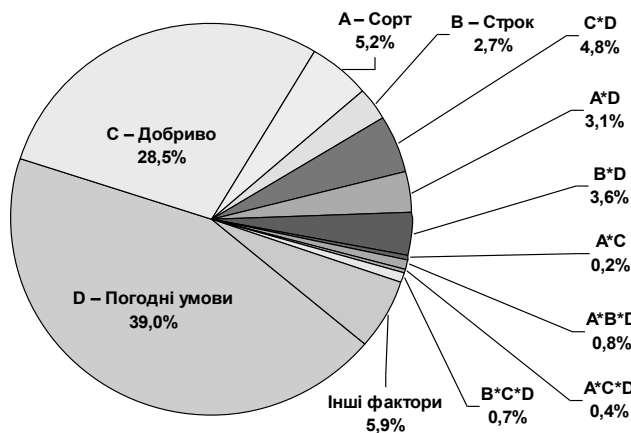


Рис. 5.6. Вплив досліджуваних факторів на вихід біоетанолу зі стебел сорго цукрового (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)

За найбільш несприятливих погодних умов на неудобреному варіанті вихід біоетанолу був найменшим і становив 1,12 т/га (рис. 5.7 а). Внесення одинарної дози добрив ($N_{80}P_{80}K_{80}$) сприяло збільшенню виходу біоетанолу в 2015 році до 1,68 т/га, а подвійної ($N_{160}P_{160}K_{160}$) – до 1,77 т/га. За сприятливих погодних умов вихід біоетанолу був значно вищим. Так у 2013 та 2014 роках на неудобреному варіанті вихід біоетанолу становив 2,03 т/га, а за внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ вихід біоетанолу зріс до 3,40 3,59 т/га відповідно. Застосування подвійної дози добрив сприяло не суттєвому підвищенню виходу біоетанолу до 3,76 т/га у 2013 році та до 3,67 т/га у 2014 році.

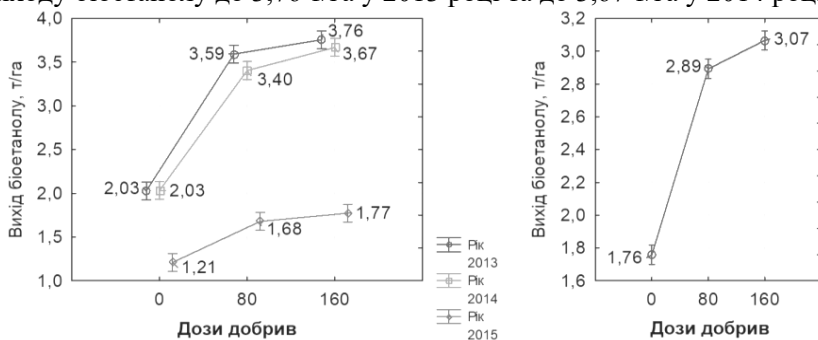
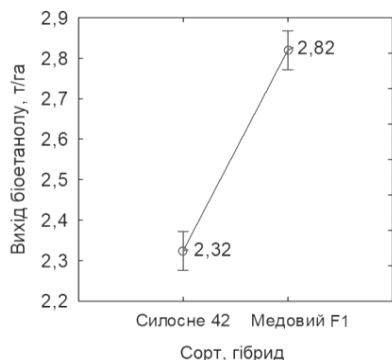


Рис. 5.7. Вихід біоетанолу з сорго цукрового залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)

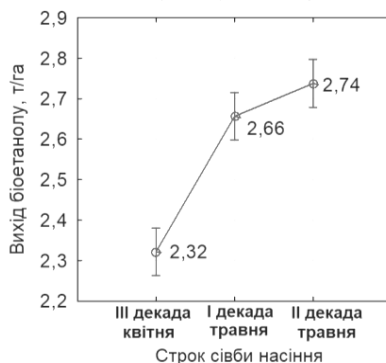
Найменший середній за роки досліджень вихід біоетанолу (1,76 т/га) було отримано на варіанті без внесення мінеральних добрив (рис. 5.7 б). Внесення одинарної дози добрив ($N_{80}P_{80}K_{80}$) сприяло збільшенню виходу біоетанолу на 64,2 % (до 2,89 т/га). Таким чином, збільшення дози добрив на 1 кг д.р. в діапазон від 0 до 80 кг д.р./га дозволило підвищити вихід біоетанолу в середньому на 14,1 кг/га. За рахунок застосування подвійної дози добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$) також спостерігалось істотне підвищення виходу біоетанолу до 3,07 т/га, однак ефективність добрив в діапазоні від 80 до 160 кг д.р./га становила лише 2,2 кг/га біоетанолу на 1 кг д.р. добрив.

Отже, під час вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу на мало гумусних чорноземах центральної частини Лісостепу України доцільно вносити мінеральні добрива у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$.

Оскільки гібрид 'Медовий F1' як за врожайністю зеленої маси, так і за цукристістю соку перевищував сорт 'Силосне 42', тому і розрахунковий вихід біоетанолу з рослин гібрида 'Медовий F1' в середньому за роки досліджень був значно вищим і становив 2,82 т/га, а з рослин сорту 'Силосне 42' лише 2,32 т/га (рис. 5.8 а). Таким чином, вихід біоетанолу з рослин гібрида 'Медовий F1' був на 0,5 т/га вищим ніж з рослин сорту 'Силосне 42'.



а)



б)

Рис. 5.8. Вихід біоетанолу з сорго цукрового залежно від сортових особливостей (а) та строків сівби насіння (б) (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Встановлено, що найвищий вихід біоетанолу (2,66 - 2,74 т/га) досягається за сівби насіння сорго цукрового в I - II декадах травня (рис. 5.8 б). Сівба насіння сорго цукрового у більш ранній строк (III декада квітня) в умовах центральної частини Лісостепу України спричинює зменшення виходу біоетанолу на 14 - 18 відсотків.

5.2. Особливості формування продуктивності сорго цукрового у зоні недостатнього зволоження

Дослідження з визначення продуктивності сорго цукрового як сировини для виробництва біопалива проводились також в зоні недостатнього зволоження (Веселоподільська ДСС).

Результати експерименту свідчать, що досліджувані фактори суттєво впливали на врожайність зеленої маси сорго цукрового. Так, за результатами дисперсійного аналізу (рис. 5.9) встановлено, що врожайність зеленої маси найбільше залежить від сортових особливостей сорго цукрового (36,5 %). Вплив строків сівби насіння та строків збирання на варіювання урожайності зеленої маси сорго цукрового були приблизно однакові і становили відповідно 12,1 та 12,2 відсотка.

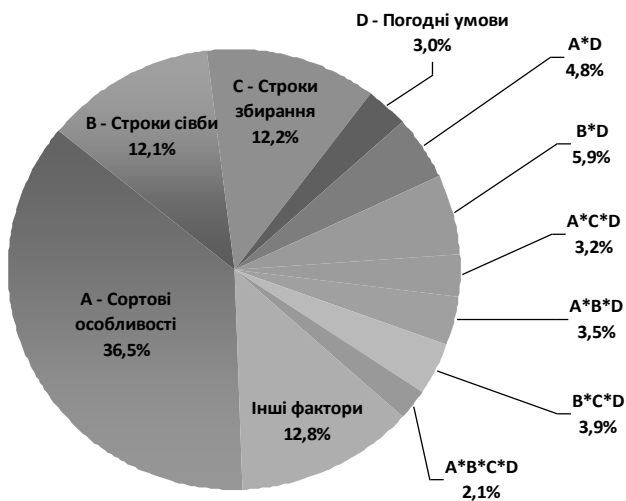


Рис. 5.9. Вплив досліджуваних факторів на врожайність зеленої маси сорго цукрового (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Незважаючи на те, що сорго цукрове теплолюбна культура, перенесення строків сівби його насіння на більш пізні строки в зоні недостатнього зволоження призводить до істотного зменшення врожайності зеленої маси ($p < 0,05$). Так, за сівби насіння сорту 'Силосне 42' та гібрида 'Мамонт' у III декаді квітня врожайність зеленої маси становила відповідно 75,0 та 97,8 т/га, а за сівби насіння на 10 дів пізніше (I декада травня) врожайність зменшувалась на 4 - 5 % і становила відповідно 71,4 та 93,9 т/га (рис. 5.10). Перенесення строків сівби насіння ще на 10 дів (II декада травня) призводить до зменшення врожайності зеленої маси сорту 'Силосне 42' на 12 % (до 66,0 т/га) та гібрида 'Мамонт' на 18,3 % (до 79,9 т/га) порівняно з раннім строком сівби.

За ранніх строків збирання сорго цукрового врожайність зеленої маси істотно зменшується ($p < 0,05$). Так, за збирання біомаси в III декаді липня (фаза викидання волоті) врожайність зеленої маси сорго цукрового сорту 'Силосне 42' становить 64,5 т/га, а гібрида 'Мамонт' – 82,7 т/га. Перенесення строків збирання на II декаду серпня (фаза воскової стиглості) дозволяє збільшити вихід зеленої маси на 10,4 % для сорту 'Силосне 42' (до 71,2 т/га) та на 9,3 % для гібрида 'Мамонт' (до 90,4 т/га). Найбільша урожайність зеленої маси досягається за пізніх строків збирання (I декада вересня) і становить для сорту 'Силосне 42' 76,7 т/га, для гібрида 'Мамонт' – 98,5 т/га.

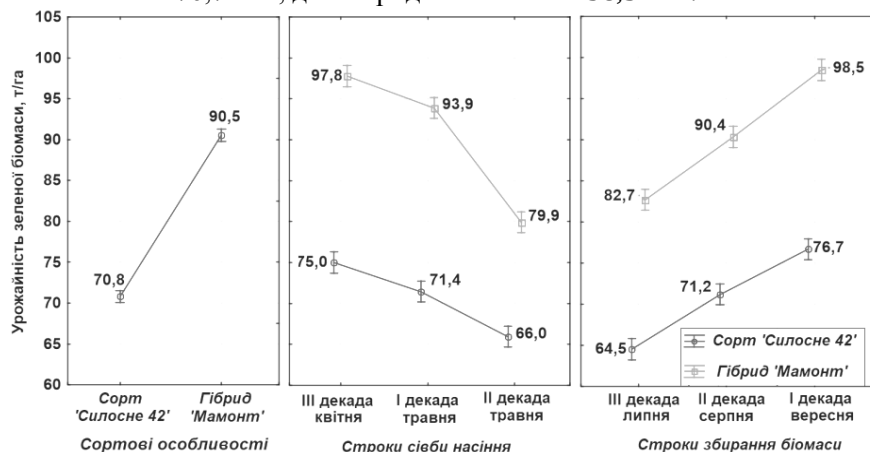


Рис. 5.10. Врожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Середня за роки досліджень врожайність зеленої маси гібрида 'Мамонт' становила 90,5 т/га, а сорту 'Силосне 42' – 70,8 т/га, тобто на 27,8 % менше ніж гібрида. Найменша у досліді врожайність зеленої маси (55,3 т/га) спостерігалась за сівби насіння сорту 'Силосне 42' у II декаді травня та збирання біомаси у III декаді липня. Максимальну врожайність зеленої маси в досліді (106,8 т/га) отримано за сівби насіння гібрида 'Мамонт' у III декаді квітня та збирання біомаси у I декаді вересня.

За результатами кореляційного та регресійного аналізів встановлено тісну залежність ($R=0,869\pm0,187$) між урожайністю зеленої маси та тривалістю періоду вегетації рослин гібрида 'Мамонт', яка має лінійний характер і описується рівнянням $y = 0,4717 \cdot x + 42,412$ (рис. 5.11). Для сорту 'Силосне 42' також встановлено тісну кореляційну залежність ($R=0,959\pm0,107$), яка має криволінійний характер і описується поліномом другого порядку: $y = -0,0061 \cdot x^2 + 1,567 \cdot x - 23,231$.

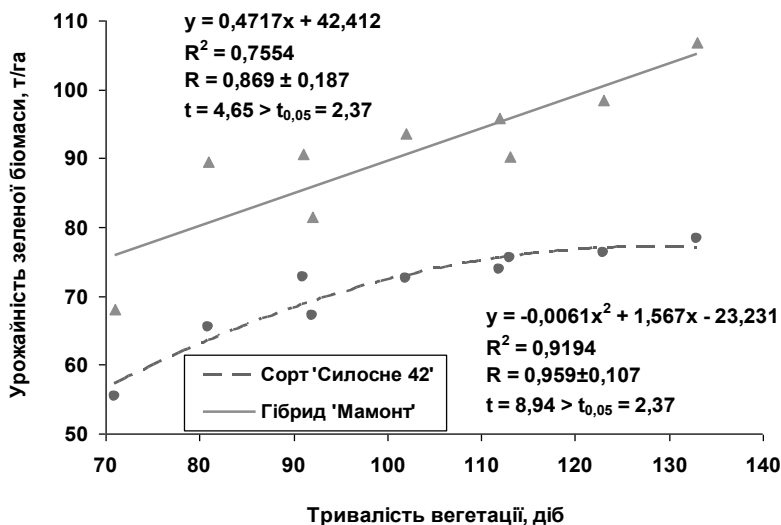


Рис. 5.11. Залежність урожайності зеленої маси сорго цукрового від сортових особливостей та тривалості періоду вегетації рослин (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Отже в умовах недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України для отримання високої врожайності зеленої маси сорго цукрового його насіння слід висівати в III декаді квітня - I декаді травня, а збирати вирощену біомасу не раніше вересня у фазі повної стиглості насіння.

Одним із найбільш важливих показників, що характеризують якість вирощеної біомаси сорго цукрового як сировини для виробництва харчових сиропів та біопалива є вміст цукрів у соку його стебел. Як свідчать результати дисперсійного аналізу цукристості соку суттєво залежала від факторів, які вивчалися у досліді (рис. 5.12). Домінуючий вплив на варіювання цукристості соку мали строки збирання біомаси – 68,1 %. Вплив строків сівби насіння, погодних умов та сортових особливостей на цукристість соку був значно меншим і становив відповідно 2,7; 2,3 та 1,0 %.

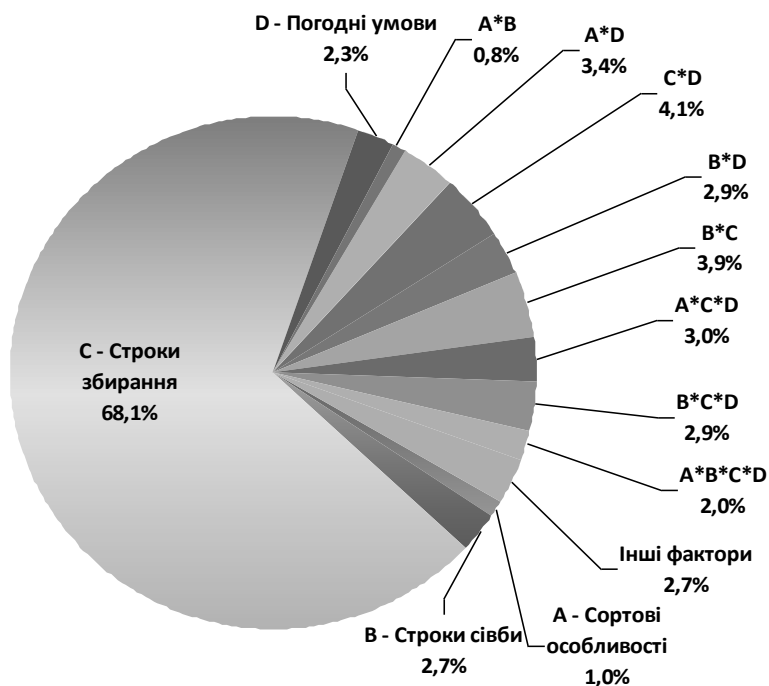


Рис. 5.12. Результати дисперсійного аналізу за цукристістю соку сорго цукрового (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Запізнення з сівбою насіння гібрида 'Мамонт' на кожні 10 діб починаючи з III декади квітня призводило до зменшення цукристості соку в середньому на 0,2 - 0,3 % (рис. 5.13). Для сорту 'Силосне 42' різниця в цукристості соку між першим (III декада квітня) та другим (I декада травня) строком сівби насіння була не істотною і варіювала в межах 12,6 - 12,7 % ($p>0,05$). Подальше перенесення строків сівби на II декаду травня вело до значного зменшення цукристості соку до 10,6 %.

Збирання біомаси сорго цукрового в ранні строки негативно вплинуло на вміст цукрів у соку. Так, за збирання зеленої маси у III декаді липня (початок викидання волотей) вміст цукрів у соку стебел гібрида 'Мамонт' та сорту 'Силосне 42' становив відповідно 8,3 та 7,6 %. За збирання сорго цукрового через 20 діб у II декаді серпня (фаза воскової стиглості) вміст цукрів у соку стебел зростає в середньому у 1,8 раза і становить для сорту 'Силосне 42' – 14 %, для гібрида 'Мамонт' – 14,7 %. Подальше перенесення строків збирання на I декаду вересня (повна стиглість) дозволило не істотно ($p>0,05$) підвищити цукристість соку до 14,2 % для сорту 'Силосне 42' та істотно ($p<0,05$) до 15,1 % для гібрида 'Мамонт'.

У середньому за роки досліджень цукристість соку сорту 'Силосне 42' становила 12,0 %, а гібрида 'Мамонт' – 12,7 відсотка.

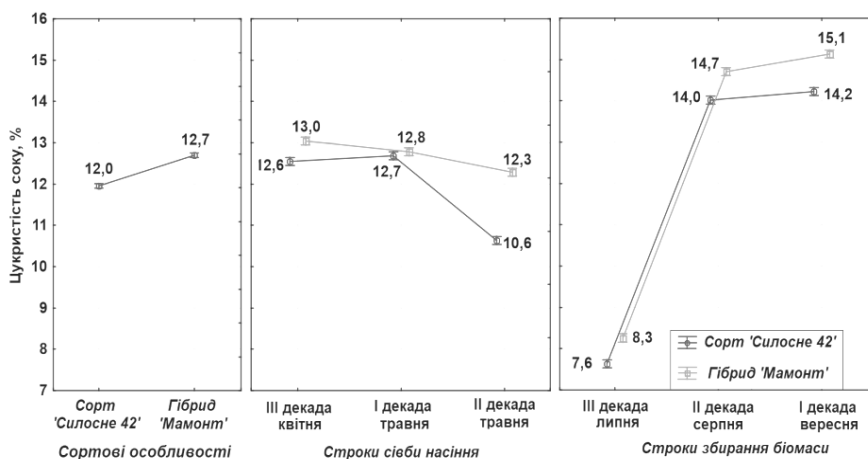


Рис. 5.13. Цукристість соку сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання зеленої маси (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Важливим показником, який визначає кормову та енергетичну цінність вирощеної біомаси сорго цукрового є вміст сухої речовини. За результатами дисперсійного аналізу експериментальних даних встановлено (рис. 5.14), що з факторів, що вивчалися у досліді, найбільше впливали на накопичення сухої речовини строки збирання біомаси (54,5 %). Вплив строків сівби насіння та погодних умов був значно меншим і становив відповідно 5,2 та 3,3 %. Вплив сортових особливостей на варіювання вмісту сухої речовини був також істотним ($p < 0,05$), хоча становив лише 0,3 %. Досить високим (10,5 %) виявився вплив спільної дії двох факторів – строків збирання та погодних умов.

За сівби насіння сорго цукрового в кінці квітня вміст сухої речовини в зеленій біомасі рослин сорту ‘Силосне 42’ та гібрида ‘Мамонт’ становив відповідно 25,5 та 25,7 %, а за сівби через 10 діб (I декада травня) вміст сухої речовини зменшився до 24,3 та 25,3 % – відповідно (рис. 5.15). Подальше перенесення строків сівби насіння на середину травня призвело до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі рослин сорту ‘Силосне 42’ до 22,3 % та гібрида ‘Мамонт’ – до 22,9 %. Отже, запізнення зі строками сівби насіння на кожні 10 діб починаючи з кінця квітня веде до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі сорго цукрового в середньому на 1 відсоток.

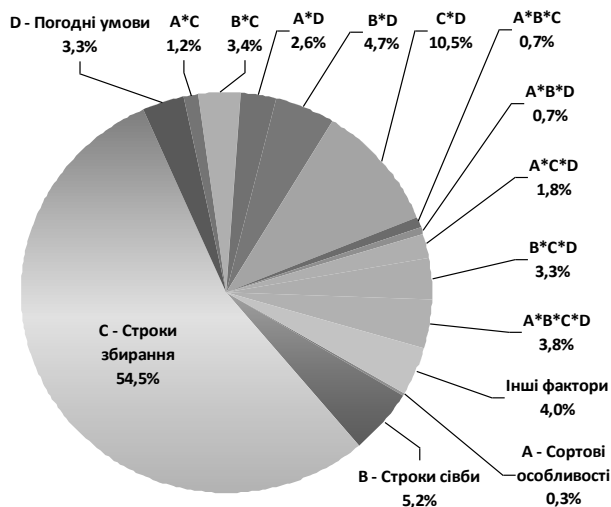


Рис. 5.14. Результати дисперсійного аналізу за вмістом сухої речовини у біомасі сорго цукрового (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Набагато суттєвіше вміст сухої речовини залежав від строків збирання біомаси сорго цукрового. Так, за ранніх строків збирання (III декада липня) вміст сухих речовин в біомасі сорту 'Силосне 42' та гібрида 'Мамонт' становив відповідно 18,7 та 20,0 %, а за збирання в II декаді серпня – відповідно 24,8 та 23,6 %. Перенесення строків збирання ще на 20 діб сприяло підвищенню вмісту сухої речовини в біомасі сорту 'Силосне 42' до 28,6 % та гібрида 'Мамонт' – до 30,2 %. Отже, продовження вегетації рослин сорго цукрового на 1 добу за рахунок пізнішого збирання біомаси дозволяє збільшити вміст сухої речовини на 0,25 % як для сорту 'Силосне 42', так і для гібрида 'Мамонт'.

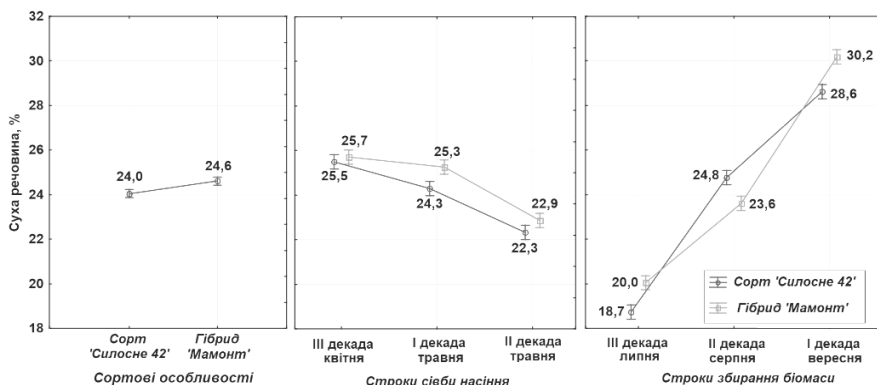


Рис. 5.15. Суха речовина сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання біомаси (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Середній у досліді вміст сухої речовини в біомасі рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' та гібрида 'Мамонт' становив відповідно 24,0 та 24,6 %.

Якість біомаси сорго цукрового суттєво залежить від вмісту в ній зольних елементів, які негативно впливають на питомий вихід біоетанолу та біогазу. Нашими дослідженнями встановлено істотний ($p < 0,05$) вплив сортових особливостей (12,4 %), строків сівби насіння (1,9 %) та строків збирання біомаси (23,6 %) на вміст сирової золи у зеленій масі сорго цукрового (рис. 5.16).

У рослин сорту 'Силосне 42' за сівби насіння в кінці квітня вміст сирової золи становив 7,60 %, за сівби на початку травня вміст золи

зростав до 7,88 %, а за зміщення строків сівби на середину травня – неістотно ($p>0,05$) зменшувався до 7,81 % (рис. 5.17). У рослин гібрида ‘Мамонт’ навпаки за сівби насіння на початку травня вміст сирової золи неістотно зменшувався з 7,32 до 7,27 % ($p>0,05$), а за більш пізніх строків сівби – зростав до 7,50 відсотка.

Із подовженням вегетаційного періоду вміст зольних елементів у біомасі сорго цукрового як сорту, так і гібрида істотно зменшувався. Так, вміст сирової золи в рослинах сорту ‘Силосне 42’ та гібрида ‘Мамонт’ за збирання їх біомаси в кінці липня становив відповідно 8,11 та 7,66 %, за збирання біомаси в середині серпня – відповідно 7,75 та 7,44 %. Збирання біомаси сорго цукрового в фазу повної стиглості (І декада вересня) забезпечувало найнижчий вміст сирової золи, який для сорту ‘Силосне 42’ та гібрида ‘Мамонт’ становив відповідно 7,43 та 6,99 відсотка.

Середній у досліді вміст зольних елементів в біомасі рослин сорго цукрового сорту ‘Силосне 42’ складав 7,76 %, а гібрида ‘Мамонт’ – 7,36 відсотка.

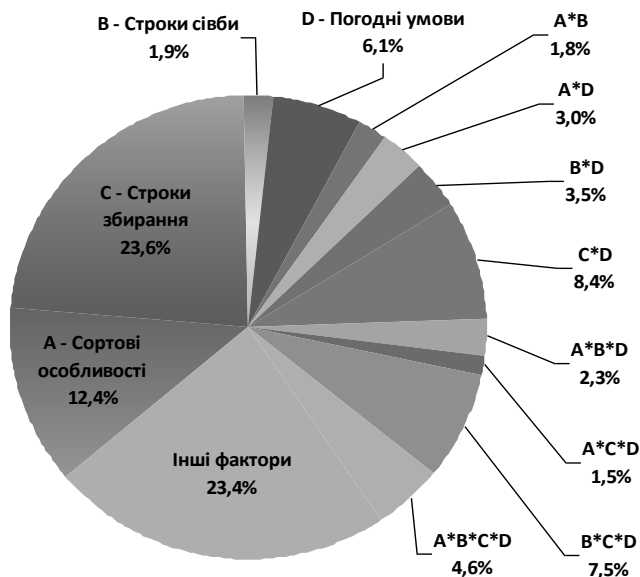


Рис. 5.16. Результати дисперсійного аналізу за вмістом сирової золи у біомасі сорго цукрового (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

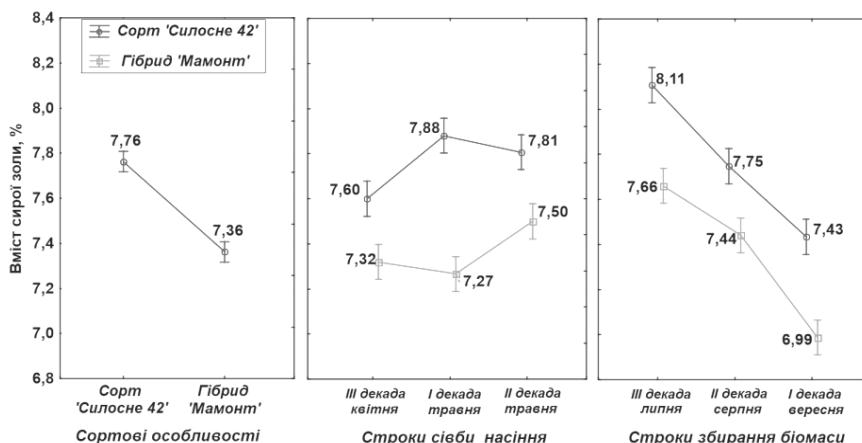


Рис. 5.17. Вміст сирової золи залежно від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання зеленої маси сорго цукрового (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Таким чином, із подовженням вегетаційного періоду за рахунок більш ранньої сівби насіння та більш пізнього збирання біомаси вміст зольних елементів у біомасі сорго цукрового як сорту, так і гібрида істотно зменшувався., а відтак і енергетична цінність цукромісткої сировини зростала.

5.3. Залежність продуктивності сорго цукрового від технологічних чинників у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України

Дослідження, проведені у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (ІДСС), показують, що найвища врожайність зеленої маси спостерігалась за сівби насіння сорго цукрового у II декаді травня на фоні удобрення $N_{160}P_{160}K_{160}$: у сортів 'Силосне 42' – 78,1 т/га, 'Фаворит' – 82,9 т/га (табл. 5.1).

За сівби насіння у більш ранні строки (III декада квітня та I декада травня) врожайність зеленої маси була істотно нижчою і за внесення найвищої дози добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$), у сорту вона становила 65,0 та 72,2 т/га, а у гібрида – 81,3 та 77,7 т/га відповідно.

Таблиця 5.1

Продуктивність сорго цукрового залежно від сорту, строків сівби насіння та доз добрив (ІДСС, 2013 - 2015 рр.)

Сорт	Строки сівби	Доза добрив	Урожайність зеленої маси, т/га	Суха речовина, %	Цукристість, %
‘Силосне 42’	III декада квітня	N ₀ P ₀ K ₀	54,6	22,7	12,7
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	62	22,8	13
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	65	24,3	14,6
	I декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	59,7	21,3	11,6
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	63,1	21,3	11,9
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	72,2	22	12,7
	II декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	66,8	20,6	10,3
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	76,1	20,4	11
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	78,1	21,2	11,4
‘Фаворит’	III декада квітня	N ₀ P ₀ K ₀	56,3	23,9	14
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	66,5	23,9	14,5
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	81,3	24,7	15,7
	I декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	60,3	23	12,7
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	71,3	23,3	13,4
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	77,7	23,7	14,9
	II декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	67,6	21,7	11,7
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	77	22	12
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	82,9	22	12,7
NIP _{0,05}			5,7	0,9	1,1

Найнижчі показники врожайності (сорт ‘Силосне 42’ – 54,6 т/га, сорту ‘Фаворит’ – 56,3 т/га) отримали у варіантах без застосування добрив за сівби насіння у третій декаді квітня. Урожайність зеленої маси сорту ‘Фаворит’ перевищує сорт ‘Силосне 42’ у середньому на 4,8 т/га.

Суха речовина та цукристість соку була найвищою в досліді за сівби насіння у III декаді квітня за внесення добрив у дозі N₁₆₀P₁₆₀K₁₆₀ і становила у сорту ‘Силосне 42’ – 24,3 та 14,6 %, у сорту ‘Фаворит’ – 24,7 та 15,7 % відповідно.

Встановлено тісну кореляційну залежність між діаметром стебла та висотою рослин сорго цукрового (рис. 5.18).. Так коефіцієнт кореляції між діаметром стебла і висотою рослин для сорту ‘Силосне 42’ становить $R=0,8397\pm0,065$, а для сорту ‘Фаворит’: $R=0,8324\pm0,066$. Залежність має логарифмічний характер і описується рівняннями: для сорту ‘Силосне 42’: $y=138,52\cdot\ln(x)+196,38$; для сорту ‘Фаворит’: $y=211,67\cdot\ln(x)+159,98$.

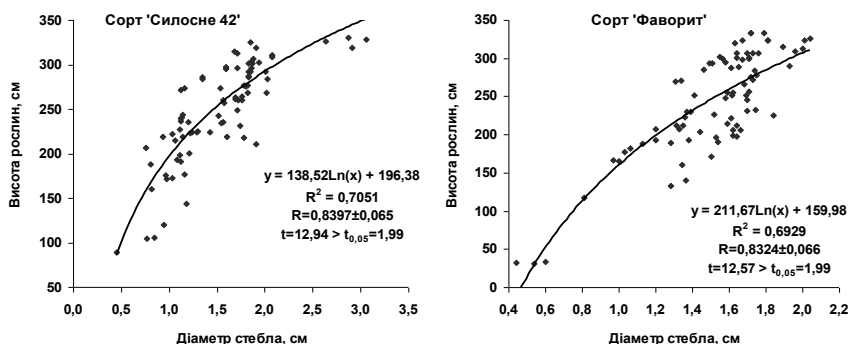


Рис. 5.18. Залежність висоти рослин сорго цукрового від діаметра стебла (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Водночас, встановлено тісну нелінійну залежність між площею листової поверхні на одній рослині та діаметром стебла (рис. 5.19). Так, коефіцієнт кореляції для рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' становить $R=0,8623 \pm 0,061$, а для сорту 'Фаворит': $R=0,8954 \pm 0,053$. Криволінійна залежність носить логарифмічний характер і описується рівняннями: для сорту 'Силосне 42': $y=1142,9 \cdot \ln(x)+1262,6$; для сорту 'Фаворит': $y=1472,5 \cdot \ln(x)+1328,1$. Обидві залежності є істотними за критерієм Стюдента ($t_{\text{фактичне}} > t_{0,05}$).

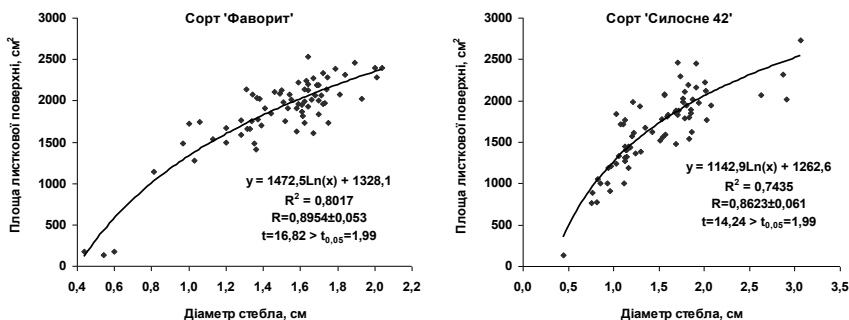


Рис. 5.19. Залежність площі листової поверхні рослин сорго цукрового від діаметра стебла (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Крім того, в результаті досліджень було встановлено тісний взаємозв'язок між площею листової поверхні та висотою рослин сорго цукрового (рис. 5.20). Так, коефіцієнт кореляції між площею листової поверхні та висотою рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' становить $R=0,7315 \pm 0,081$ і є істотним за критерієм Ст'юдента $t=8,98 > t_{0,05}=1,99$. Для рослин сорту 'Фаворит' коефіцієнт кореляції був вищим і становив $R=0,8519 \pm 0,063$, при цьому фактичне значення критерію Ст'юдента було суттєво вищим за теоретичне на 95 % рівні значущості ($t=8,98 > t_{0,05}=1,99$). Залежності площі листової поверхні від висоти рослин сорго цукрового, як і у попередніх випадках, носять логарифмічний характер і апроксимуються рівняннями: для сорту 'Силосне 42': $y = 1235,5 \cdot \ln(x) - 5079,8$; для сорту 'Фаворит': $y = 837,23 \cdot \ln(x) - 2637,2$.

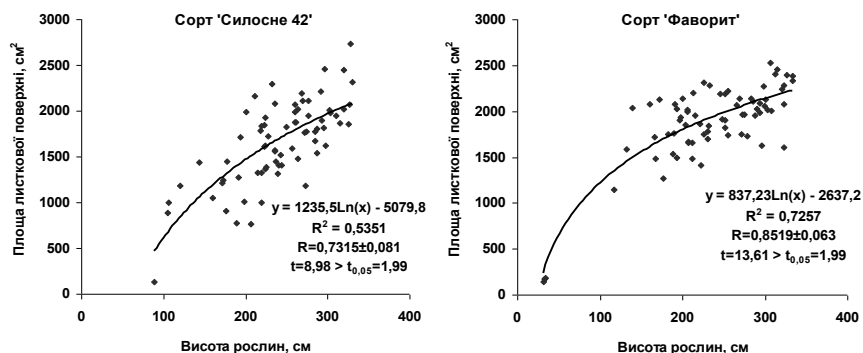


Рис. 5.20. Залежність площі листової поверхні від висоти рослин сорго цукрового (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Динаміка висоти рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' свідчить, що впродовж перших 40 - 45 діб надземна частина рослин розвивається повільно. До завершення фази кушення (ВВСН 29) активно формується коренева система, яка забезпечує передумови для подальшого стрімкого росту і розвитку рослин сорго цукрового. Починаючи з фази виходу в трубку (ВВСН 31), яка не залежно від застосування мінеральних добрив настає через 40 - 50 діб після появи сходів розпочинається активний приріст висоти рослин (рис. 5.21).

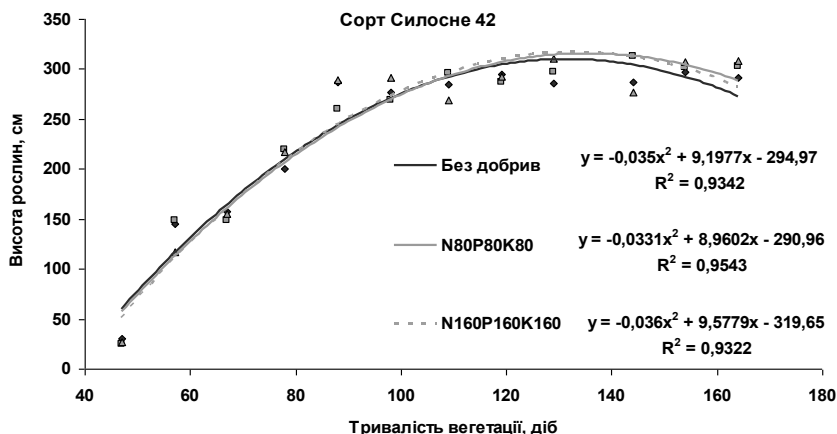


Рис. 5.21. Залежність висоти рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' від тривалості вегетації (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Інтенсивність наростання висоти рослин зменшується починаючи від фази цвітіння (ВВСН 61), а після настання фази воскової стиглості (ВВСН 71) висота рослин сорго цукрового зменшується. Водночас застосування добрив майже не вплинуло на формування висоти рослин, хоча спостерігалась тенденція до подовження періоду інтенсивного росту в середньому на 5 дб на варіантах із внесенням мінеральних добрив. Встановлено, що залежність висоти рослин від тривалості періоду вегетації носить криволінійний характер і з високою точністю апроксимується поліномом другого роду ($R^2=0,93 - 0,95$).

Водночас діаметр стебла рослин сорго цукрового залежав від дози внесення мінеральних добрив. Так, на фоні без застосування добрив діаметр стебла становив у середньому 14,9 мм, за внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ – 17,3 мм, а за внесення дози $N_{160}P_{160}K_{160}$ – 19,1 мм (рис. 5.22). Залежність діаметра стебла рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' від тривалості вегетаційного періоду також апроксимується поліномом другого роду, проте точність апроксимації нижча ($R^2=0,24 - 0,38$) порівняно з висотою рослин.

Встановлено, що рослини сорго цукрового активно нарощують площу листової поверхні до початку фази викидання волоті (ВВСН 51). Після цього активна площа листя починає зменшуватись і на кінець фази повної стиглості процес фотосинтезу припиняється. (рис. 5.23).

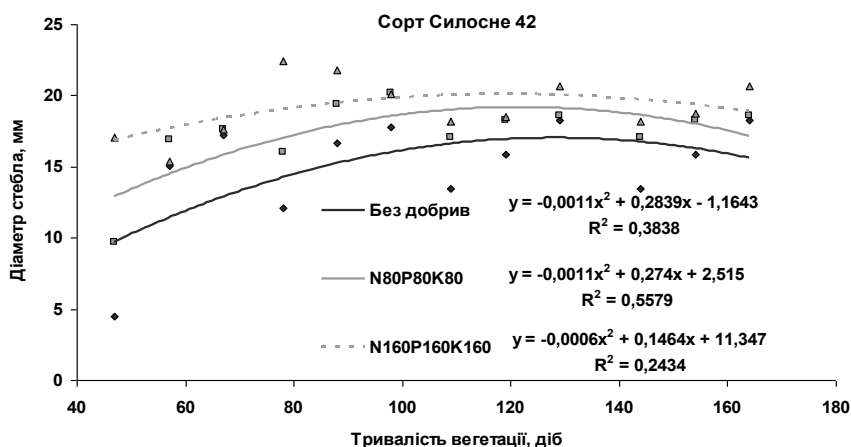


Рис. 5.22. Залежність діаметра стебла сорго цукрового сорту 'Силосне 42' від тривалості вегетації (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

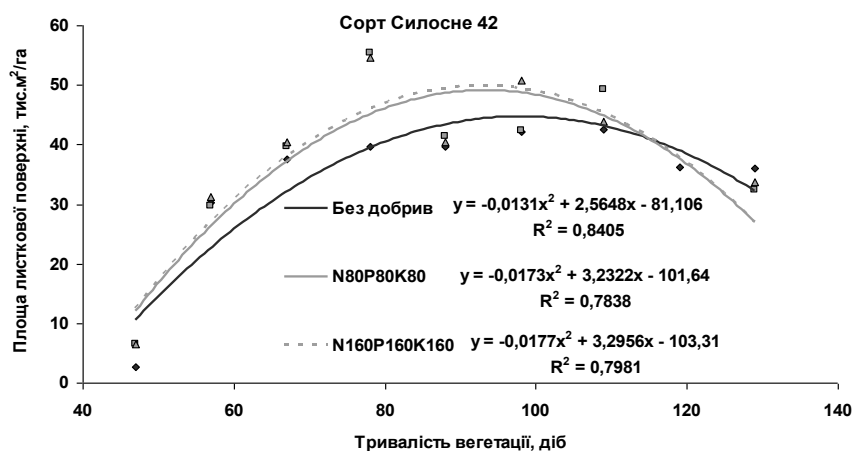


Рис. 5.23. Залежність площі листової поверхні сорго цукрового сорту 'Силосне 42' від тривалості вегетації (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Застосування мінеральних добрив сприяє інтенсивнішому приросту площі листової поверхні, що створює передумови для більш стрімкого формування енергетично корисних речовин. Як і висота рослин та діаметр стебел, залежність площі листової поверхні апроксимується поліномами другого порядку з точністю $R^2=0,78 - 0,84$.

Максимальний вихід біоетанолу залежно від строків сівби у сорту ‘Силосне 42’ становить 1,92 т/га за сівби насіння у II декаді травня, у сорту ‘Фаворит’ – 2,22 т/га за сівби у III декаді квітня (рис. 5.24). Найвищий вихід біоетанолу залежно від доз добрив становить у сорту 2,10 т/га, у гібрида 2,65 т/га на варіанті з внесенням $N_{160}P_{160}K_{160}$.

Вихід твердого біопалива залежно від строків сівби у сорту за сівби насіння у III декаді квітня, I декаді травня та II декаді травня становить 15,5; 14,8 та 17,1 т/га відповідно (рис. 5.25). У гібрида за цих же строків сівби насіння вихід твердого біопалива дорівнює: 17,5; 18,2 та 18,6 т/га.

Вихід твердого біопалива залежно від доз удобрення показав, що за внесення подвійної дози добрив показники були значно вищими (у сорту – 17,5, у гібрида 20,3 т/га) ніж на варіанті без добрив (у сорту – 14,0, у гібрида 15,3 т/га).

Вихід біогазу із рослин сорго цукрового сорту ‘Фаворит’ у середньому перевищував вихід біогазу із сорту ‘Силосне 42’ (рис. 5.26). Так, за першого строку (III декада квітня) сівби насіння сорго цукрового він перевищував на 1,2 тис. m^3 /га, за другого строку (I декада травня) – на 2,2 тис. m^3 /га та за третього строку (II декада квітня) – на 1,0 тис. m^3 /га.

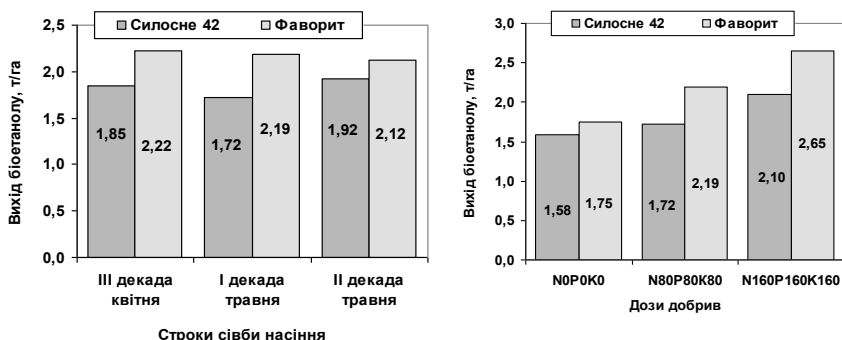


Рис. 5.24. Вихід біоетанолу зі стебел сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби та доз добрив (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

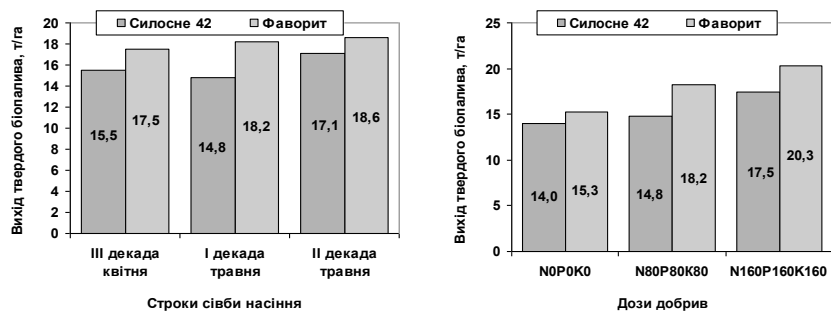


Рис. 5.25 Вихід твердого біопалива зі стебел сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби та доз добрив (I ДСС, 2013 - 2015 рр.)

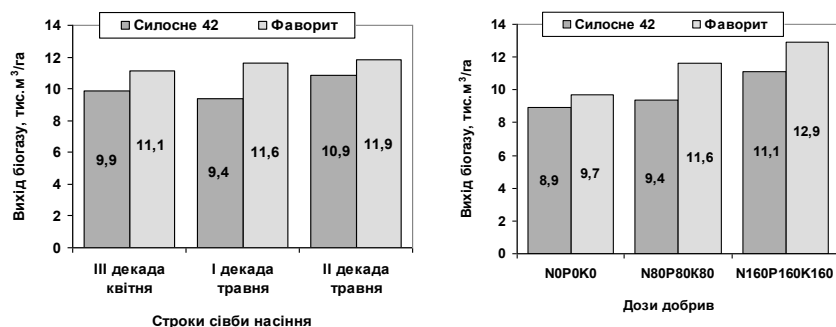


Рис. 5.26. Вихід біогазу з зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби та доз добрив (I ДСС, 2013 - 2015 рр.)

На варіанті без добрив отримано низький вихід біогазу, який у сорту становить 8,9 тис. м³/га, у гібрида – 9,7 тис. м³/га. За внесення N₈₀P₈₀K₈₀ вихід біогазу був більшим у сорту та гібрида на 0,5 та 1,9 тис. м³/га. За подвійної дози добрив вихід біогазу містив найвищі показники (у сорту – 11,1 тис. м³/га, у гібрида 12,9 тис. м³/га).

Найбільший загальний вихід енергії отримано на варіанті за сівби насіння у II декаді травня – 321,0 ГДж/га у сорту, 351 ГДж/га у гібрида та за подвійної дози добрив 332,0 ГДж/га у сорту та 391 ГДж/га у гібрида (рис. 5.27).

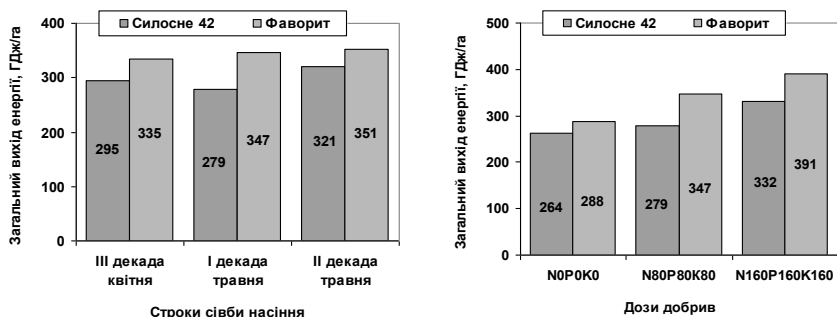


Рис. 5.27. Загальний вихід енергії з 1 га посівів сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби та доз добрив (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Таким чином, у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України для забезпечення максимального виходу біопалива та енергії з одиниці площі доцільно вирощувати сорго цукрове сорту 'Фаворит', при цьому оптимальним строком сівби насіння для даної зони є перша - друга декади травня. Застосування мінеральних добрив сприяло зростанню виходу біопалива і енергії з одиниці площі посівів сорго цукрового.

5.4. Особливості формування продуктивності рослин сорго цукрового на ґрунтах з низьким рівнем родючості

Результати досліджень проведених на малопродуктивних землях у зоні нестійкого зволоження (Я ДСС) свідчать, що за збільшення дози мінеральних добрив висота рослин сорго цукрового як сорту 'Силосне 42', так і гібрида 'Медовий F1' зростає (табл. 5.2). Так, за внесення дози мінеральних добрив $N_{80}P_{80}K_{80}$ середня висота рослин сорту 'Силосне 42' зросла на 10,3 см (з 223,2 до 233,5 см) порівняно з варіантом без внесення добрив. Подальше збільшення дози добрив до $N_{160}P_{160}K_{160}$ сприяло приросту висоти рослин ще на 11,1 см (з 233,5 до 244,6 см). Аналогічні тенденції були характерними і для гібрида 'Медовий F1'.

Встановлено, що середня у досліді висота рослин гібрида 'Медовий F1' (239,0 см) була більшою на 5,2 см порівняно з висотою рослин сорту 'Силосне 42' (233,8 см).

Таблиця 5.2

Вплив сортових особливостей, строків сівби насіння та доз мінеральних добрив на висоту рослин сорго цукрового (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.), см

Сорт / гібрид	Строки сівби	Доза добрив	Роки					Середнє за роками
			2011	2012	2013	2014	2015	
Сорт ‘Силосне 42’	III декада квітня	N ₀ P ₀ K ₀	229	219	215	220	215	219,6
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	239	229	225	230	225	229,6
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	249	239	240	245	240	242,6
	I декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	234	224	230	235	230	230,6
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	244	234	240	245	240	240,6
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	254	244	252	255	250	251,0
	II декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	199	189	238	238	233	219,4
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	209	199	248	250	245	230,2
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	219	209	258	260	255	240,2
Гібрид ‘Медовий F1’	III декада квітня	N ₀ P ₀ K ₀	227	217	228	225	220	223,4
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	237	227	238	240	235	235,4
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	247	287	245	250	245	254,8
	I декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	232	222	240	242	237	234,6
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	242	232	250	255	250	245,8
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	252	242	262	267	262	257,0
	II декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	197	187	243	245	240	222,4
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	207	197	253	258	253	233,6
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	217	207	264	269	264	244,2
НІР _{0,05}			5,7	10,0	4,9	4,9	4,9	3,8

Найвищі рослини як сорту, так і гібрида формуються за сівби насіння у I декаді травня. За сівби насіння у більш ранні строки (III декада квітня) висота рослин сорго цукрового сорту ‘Силосне 42’ зменшувалась на 10,1 см (з 240,7 до 230,6 см), а гібрида ‘Медовий F1’ – на 7,9 см (з 245,8 до 237,9 см). Це пояснюється тим, що за більш ранніх строків сівби не створюється достатній температурний режим ґрунту, що спричинює затримку появи сходів. За більш пізніх строків сівби насіння висота рослин на час збирання біомаси також зменшується порівняно з оптимальним строком сівби (I декада травня). Так, перенесення строків сівби з I декади на II декаду травня спричинило зменшення середньої у досліді висоти рослин сорту ‘Силосне 42’ на 10,8 см (з 240,7 до 229,9 см), а гібрида ‘Медовий F1’ – на 12,4 см (з 245,8 до 233,4 см).

Таким чином, максимальна висота рослин сорго цукрового як сорту, так і гібрида досягається за сівби насіння на початку травня та внесені мінеральних добрив у дозі N₁₆₀P₁₆₀K₁₆₀.

За збільшення дози мінеральних добрив істотно підвищувалась врожайність біомаси сорго цукрового (табл. 5.3). Максимальні значення врожайності зеленої маси в середньому за п'ять років досліджень відмічено за сівби насіння сорго цукрового у II декаді травня з внесенням дози добрив $N_{160}P_{160}K_{160}$ і дорівнює у сорту 'Силосне 42' – 60,6 т/га, у гібрида 'Медовий F1' 68,8 т/га. Дещо меншою була врожайність за внесення дози добрив $N_{80}P_{80}K_{80}$ і взагалі низькою на варіанті без добрив за всіх строків сівби.

У цілому вміст сухої речовини у рослинах сорту 'Силосне 42' змінювався у межах від 21,4 до 22,1 %, у гібрида 'Медовий F1' – від 21,6 до 22,4 %. Цукристість соку сорго цукрового не суттєво залежала від строків сівби насіння та доз добрив. У досліді цукристість була в межах від 13,0 до 14,0 % як у сорту 'Силосне 42', так і у гібрида 'Медовий F1'.

Таблиця 5.3

Продуктивність сорго цукрового залежно від сортів, строків сівби насіння та доз добрив на малопродуктивних землях (ЯДСС, 2011 - 2015 рр.)

Сорт/ гібрид	Строки сівби	Доза добрив	Урожайність біомаси, т/га	Суша речовина, %	Цукристість, %
‘Силосне 42’	III декада квітня	N ₀ P ₀ K ₀	22,2	21,6	13,6
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	38,5	21,7	13,8
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	48,6	21,9	13,5
	I декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	23,6	21,7	13,9
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	40,9	21,8	13,8
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	54,1	22,1	13,7
	II декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	29,4	21,8	13,8
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	47,4	21,4	13,7
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	60,6	22,1	13,4
‘Медовий F1’	III декада квітня	N ₀ P ₀ K ₀	29,7	21,6	14
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	46,5	22,1	13,6
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	56,6	22,1	13
	I декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	34,9	21,9	13,9
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	54,5	22,1	13,6
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	67,5	22,2	13,2
	II декада травня	N ₀ P ₀ K ₀	35,2	22,1	13,8
		N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	55,4	22,2	13,8
		N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	68,8	22,4	13,3
НІР _{0,05}			9,3	0,2	0,2

Примітка: дози добрив: 0 – без добрив; 1 – $N_{80}P_{80}K_{80}$; 2 – $N_{160}P_{160}K_{160}$.

Найбільший вихід біоетанолу залежно від строків сівби з рослин сорту ‘Силосне 42’ (1,49 т/га) та гібрида ‘Медовий F1’ (1,75 т/га) досягнуто за сівби насіння у другій декаді травня (рис. 5.28). Найбільший вихід біоетанолу отримано за внесення подвійної дози добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$) у сорту ‘Силосне 42’ (1,7 т/га) та гібрида ‘Медовий F1’ (2,04 т/га).

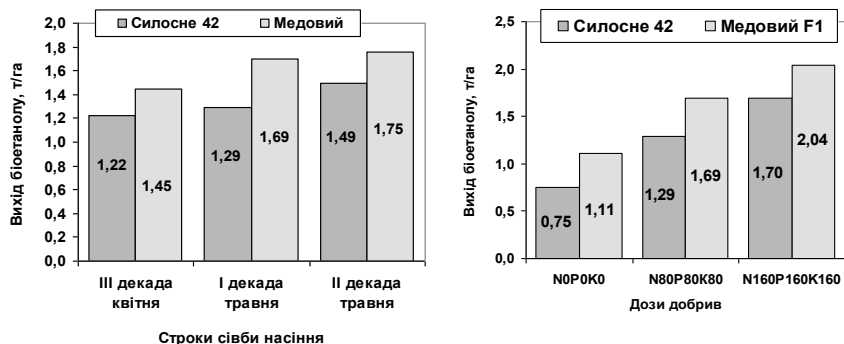


Рис. 5.28. Вихід біоетанолу залежно від сортових особливостей сорго цукрового, строків сівби насіння та доз добрив (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Найвищий розрахунковий вихід твердого біопалива з 1 га залежно від строків сівби становив у сорту 11,2 та у гібрида 13,5 т/га за сівби насіння в II декаді травня (рис. 5.29).

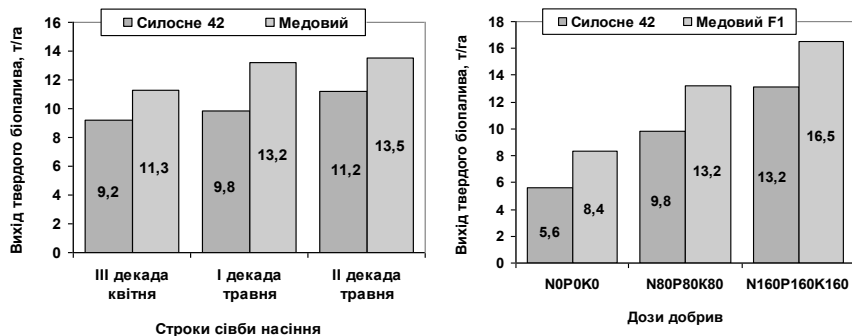


Рис.5.29. Вихід твердого біопалива залежно від сортових особливостей сорго цукрового, строків сівби насіння та доз добрив (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Досліджуючи дози добрив спостерігаємо, що з внесенням дози добрив $N_{160}P_{160}K_{160}$ вихід твердого біопалива досягає максимальних показників і становить у сорту 13,2 т/га, у гібрида 16,5 т/га. За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ отримано дещо нижчий вихід твердого біопалива у сорту на 3,4 т/га, у гібрида на 3,3 т/га. Зовсім низькі показники були на неудобреному варіанті і становить 5,6 т/га з сорту та 8,4 т/га з гібрида.

Щодо виходу біогазу, то спостерігається тенденція його зростання відповідно із настанням кожного з строків сівби та збільшенням дози удобрення (рис. 5.30).

За сприятливих ґрунтово-кліматичних умов (II декада травня) вихід біогазу був максимальним і становив 7,1 тис. m^3 /га у сорту 'Силосне 42' та 8,6 тис. m^3 /га у гібрида 'Медовий F1'. За сівби насіння у III декаді квітня та II декаді травня вихід біогазу був значно нижчим – у сорту – 5,9 та 6,2 тис. m^3 /га, у гібрида – 7,2 та 8,4 тис. m^3 /га відповідно. За внесення подвійної дози добрив вихід біогазу сягав максимуму і дорівнював у сорту – 8,4 тис. m^3 /га, у гібрида – 10,5 тис. m^3 /га. На варіанті без добрив показники виходу біогазу були значно нижчими і дорівнювали у сорту – 3,6 тис. m^3 /га, у гібрида – 5,3 тис. m^3 /га

Загальний вихід енергії переважав у гібрида 'Медовий F1' на всіх варіантах дослідів (рис. 5.31). Залежно від строків сівби загальний вихід енергії був вищим у сорту (216 ГДж/га) та гібрида (260 ГДж/га) за сівби насіння у II декаді травня. Дещо менші показники були за сівби насіння у I декаді травня і становили 189 ГДж/га у сорту та 254 ГДж/га у гібрида. За сівби у III декаді квітня загальний вихід енергії був низьким і становив 178 ГДж/га у сорту та 216 ГДж/га у гібрида.

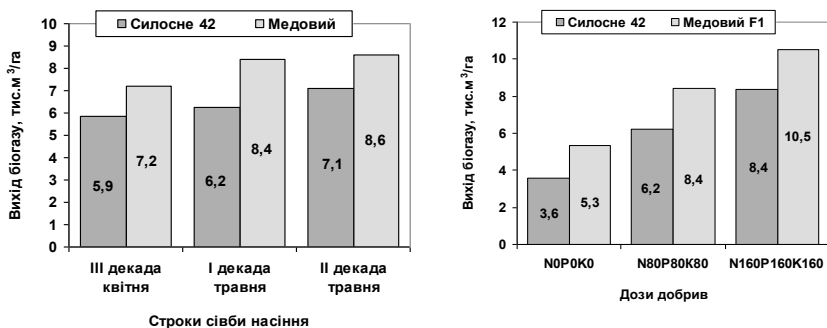


Рис. 5.30 Вихід біогазу залежно від сортових особливостей сорго цукрового, строків сівби насіння та доз добрив (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Залежно від доз добрив, то спостерігається тенденція, що за подвійної дози добрив загальний вихід енергії у сорту та гібрида був найвищим і дорівнював 253 та 315 ГДж/га відповідно. На варіанті без добрив загальний вихід енергії був найнижчим (у сорту 109 ГДж/га, у гібрида 162 ГДж/га).

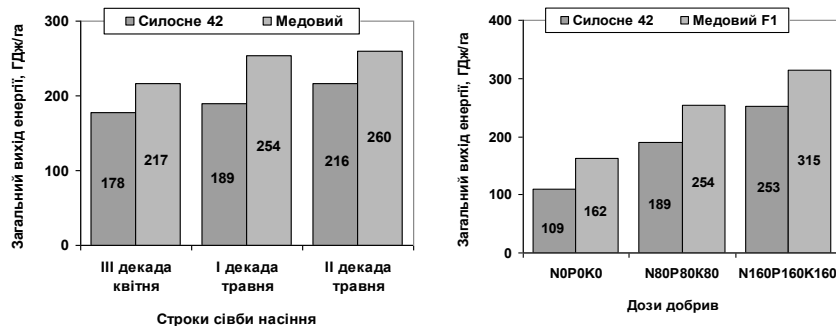


Рис. 5.31. Загальний вихід енергії залежно від сортових особливостей сорго цукрового, строків сівби насіння та доз добрив (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Щодо результатів дисперсійного аналізу бачимо, що найбільший вплив на загальний вихід енергії чинили фактори погодних умов (36,3 %) та добрива (36,9 %), а також спільна дія цих двох факторів (14,2 %). Сортів особливості та строки сівби насіння спричинювали варіювання показника виходу енергії лише на 3,5 та 2,6 % відповідно (рис. 5.32).

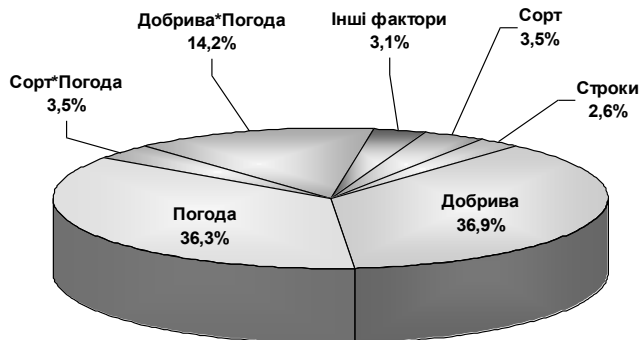


Рис.5.32. Вплив досліджуваних факторів на загальний вихід енергії з біомаси сорго цукрового (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.)

Таким чином, за вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі на ґрунтах з низьким рівнем гумусу застосування мінеральних добрив сприяє суттєвому збільшенню виходу біопалива і енергії з одиниці площі посівів. Водночас вирощування сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ у цих умовах забезпечує на 33 % збільшення виходу біопалива у порівнянні з сортом ‘Силосне 42’.

5.5. Порівняльна оцінка енергетичного потенціалу сортів і гібридів сорго цукрового

Дослідження з вивчення енергетичного потенціалу різних гібридів сорго цукрового вітчизняної та зарубіжної селекції проводились на дослідному полі ІБКІЦБ (Київська область, Білоцерківський р.-н, с. Ксаверівка-2) впродовж 2012 - 2014 рр.

Результатами досліджень встановлено, що найвища урожайність зеленої маси стебел сорго цукрового спостерігається у гібрида зарубіжної селекції ‘Мохавк’ – 80,0 т/га, у гібрида ‘СУ’, цієї ж селекції, урожайність була нижча на 8 т/га і становила 72,0 т/га (рис. 5.33).

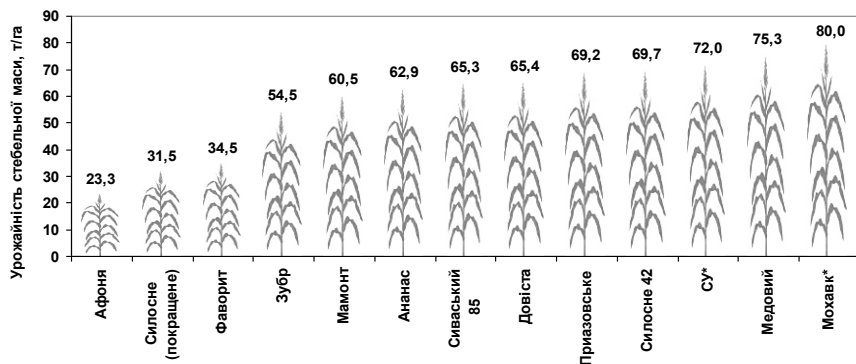


Рис. 5.33 Урожайність стебел різних сортів і гібридів сорго цукрового вітчизняної та зарубіжної селекції (Ксаверівка 2, 2012 - 2014 рр.)

Сорти та гібриди вітчизняної селекції за показниками продуктивності різнилися. Так, урожайність у гібрида ‘Медовий F1’ становила 75,3 т/га, дещо нижчою вона була у сортів ‘Силосне 42’ (69,7 т/га), Приазовське (69,2 т/га), ‘Довіста’ (65,4 т/га), ‘Сиваський 85’

(65,3 т/га), ‘Ананас’ (62,9 т/га), ‘Мамонт’ (60,5 т/га) та ‘Зубр’ (54,5 т/га). Зовсім низькою врожайністю характеризуються сорти ‘Афоня’, ‘Силосне (покрашене)’ та ‘Фаворит’ їх врожайність становила 23,3; 31,5 та 34,5 т/га відповідно, Така низька урожайність цих гібридів, нехарактерна для центральної частини Лісостепу України, пояснюється їх сортовими та біологічними особливостями, а також складними погодними умовами.

Таким чином, навіть за несприятливих погодних умов сорго цукрове здатне формувати потужний врожай біомаси, при цьому вітчизняні гібриди не поступаються за врожайністю кращим іноземним зразкам.

Обліки на визначення загального вмісту вуглеводів у соку сорго цукрового проводились у фазі повної стиглості зерен. Значні переваги за загальним вмістом цукрів у соку сорго цукрового мали сорти та гібриди вітчизняної селекції: ‘Приазовське’ – 15,0 % та ‘Мамонт’ – 15,7 % (рис. 5.34). Дещо нижчий загальний вміст цукрів у соці спостерігався у гібридів Мохавк (зарубіжна селекція), Сиваський 85 та Довіста (вітчизняна селекція) і становив 14,0; 13,5 та 13,4 % відповідно.

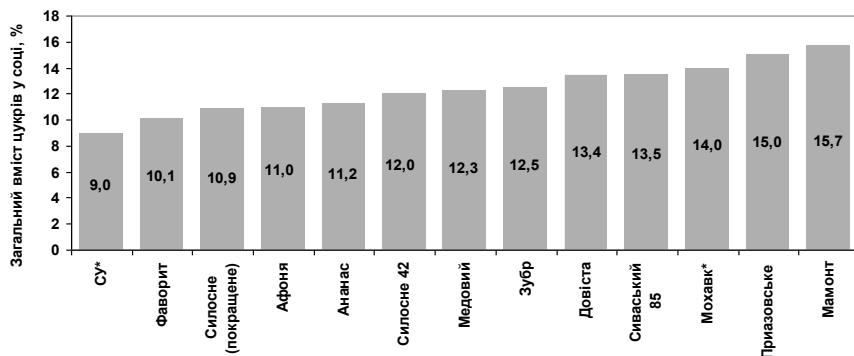


Рис. 5.34 Загальний вміст цукрів у соку сорго цукрового різних сортів і гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції (Ксаверівка 2, 2012 - 2014 рр.)

У гібрида ‘СУ’ (зарубіжна селекція) вміст цукрів у соку був найнижчим і становив лише 9,0 %. У всіх інших сортів та гібридів вітчизняної селекції загальний вміст цукрів у соку сорго цукрового знаходився у межах 10,1 - 12,5 відсотка.

Максимальний розрахунковий вихід біоетанолу з одного гектара посівів сорго цукрового отримано у гібрида зарубіжної селекції ‘Мохавк’ – 2,6 т/га (рис. 5.35). У сортів та гібридів ‘Приазовське’, ‘Мамонт’, ‘Медовий F1’, ‘Сиваський 85’ та ‘Довіста’ (вітчизняна селекція) вихід біоетанолу був нижчим на 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 та 0,6 т/га відповідно. У гібридів ‘СУ’ (зарубіжна селекція), ‘Зубр’, ‘Ананас’ та сорту ‘Силосне 42’ (вітчизняна селекція) вихід біоетанолу варіював у межах від 1,5 до 1,9 т/га. Найменший вихід біоетанолу спостерігався у гібрида вітчизняної селекції: ‘Афоня’ (0,6 т/га) та сортів ‘Силосне (покрашене)’ (0,8 т/га) та ‘Фаворит’ (0,8 т/га).

Таким чином, для виробництва біоетанолу найбільш перспективним виявився гібрид іноземної селекції ‘Мохавк’ та вітчизняні гібриди ‘Медовий F1’, ‘Мамонт’ та ‘Приазовське’.

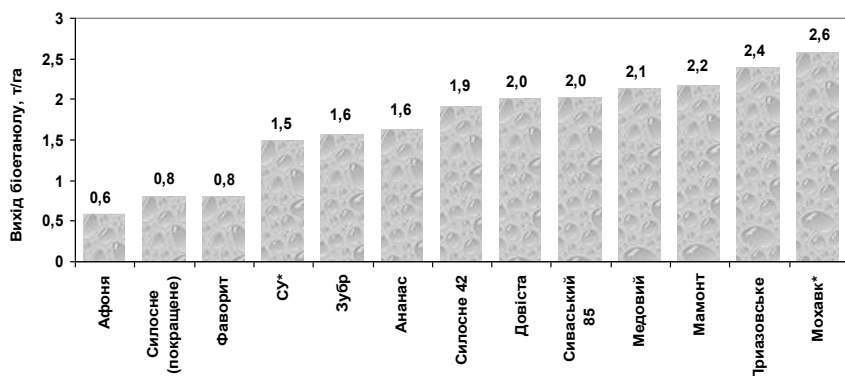


Рис. 5.35. Вихід біоетанолу з сорго цукрового різних сортів і гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції (Ксаверівка 2, 2012 - 2014 рр.)

Суша маса сорго цукрового, яка залишається після виділення соку, за рахунок значного вмісту вуглеводів є цінною сировиною для виробництва твердого біопалива (рис. 5.36). Так, найбільший вихід твердого біопалива з одного гектара посівів сорго цукрового отримано у сортів вітчизняної селекції ‘Силосне 42’ (35,4 т/га) та ‘Сиваський 85’ (31,3 т/га). Дещо менший вихід твердого біопалива (22,4 - 27,2 т/га) спостерігається у гібридів ‘Приазовське’, ‘Медовий F1’ та ‘Мохавк’. Менший вихід твердого біопалива (13,4 - 17,9 т/га) можна отримати з

посівів сортів та гібридів ‘СУ’, ‘Зубр’, ‘Довіста’, ‘Мамонт’ та ‘Ананас’. Найменший збір сухої маси, а отже і найменший вихід твердого біопалива (6,5 - 8,4 т/га) отримано за вирощування вітчизняних сортів ‘Силосне (покрашене)’, ‘Афоня’ та ‘Фаворит’.

Таким чином, використання сортів вітчизняної селекції ‘Силосне 42’ та ‘Сиваський 85’ за рахунок високого вмісту сухої речовини у стеблах дозволяє отримати найбільший вихід твердого біопалива з одиниці площі. Іноземні гібриди ‘Мохавк’, а особливо ‘СУ’ значно поступалися за цим показником перед вітчизняними сортами і гібридами.

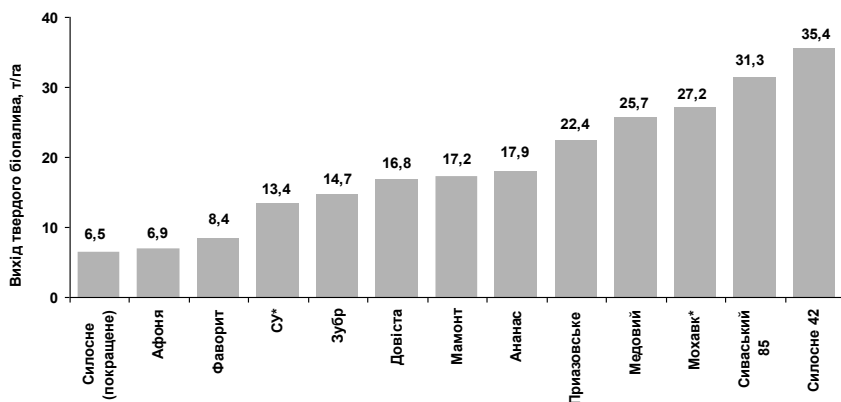


Рис. 5.36. Вихід твердого біопалива з сорго цукрового різних сортів і гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції (Ксаверівка 2, 2012 - 2014 рр.)

Біомаса сорго цукрового є також цінною сировиною для виробництва біогазу. З 1 тони зеленої маси можна отримати до 210 м³ біогазу з вмістом метану (CH₄) більше 60 %. Найбільший розрахунковий вихід біогазу (рис. 5.37) відмічено у сорту ‘Силосне 42’ і становить 22,6 тис. м³/га, у гібрида ‘Сиваський 85’ та ‘Мохавк’ вихід біогазу був меншим на 2,7 та 5,3 тис. м³/га відповідно.

Найменший вихід біогазу отримано у сортів ‘Силосне (покрашене)’ (4,1 тис. м³/га) та ‘Фаворит’ – 5,4 тис. м³/га, гібрида ‘Афоня’ – 4,4 тис. м³/га.

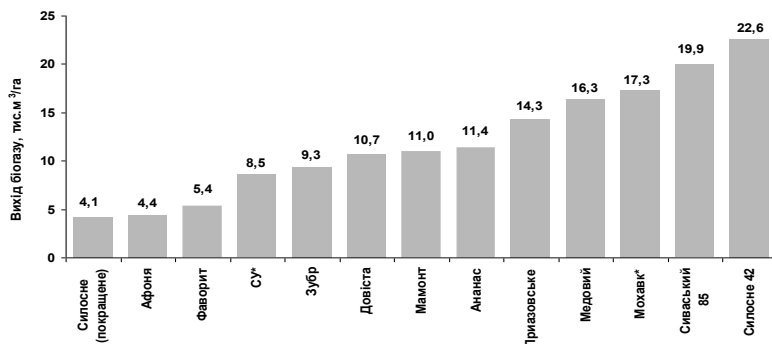


Рис. 5.37. Вихід біогазу з сорго цукрового різних сортів і гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції (Ксаверівка 2, 2012 - 2014 рр.)

Таким чином, за умови використання біомаси сорго цукрового для виробництва біогазу доцільно використовувати сорти вітчизняної селекції 'Силосне 42' та 'Сиваський 85', які за рахунок високого вмісту сухих речовин дозволяють отримати найбільший вихід біогазу з одного гектара посівів.

Максимальний вихід енергії з одиниці площі посівів можна отримати в разі комплексного перероблення біомаси сорго цукрового на біоетанол та тверде біопаливо. Розрахунки загального виходу енергії з посівів сорго цукрового різних гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції наведено на рисунку 5.38.

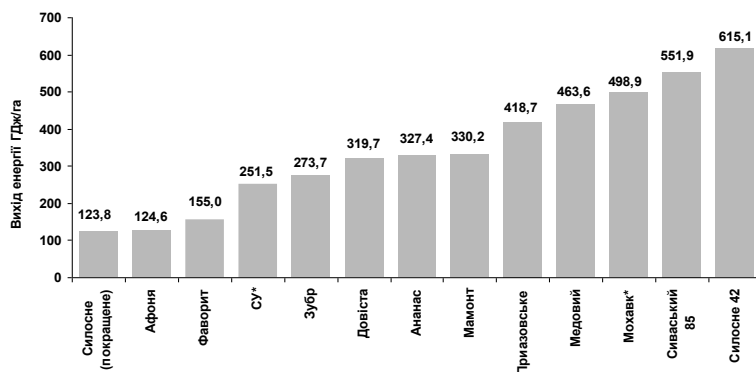


Рис. 5.38. Вихід енергії з сорго цукрового різних сортів і гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції (Ксаверівка 2, 2012 - 2014 рр.)

Найвищий вихід енергії спостерігався у сорту ‘Силосне 42’ і становив 146,4 Гкалл/га. Дещо менший вихід енергії був у гібридів ‘Сиваський 85’ (131,4 Гкалл/га), ‘Мохавк’ (118,8 Гкалл/га), ‘Медовий F1’ (110,4 Гкалл/га) та ‘Приазовське’ (99,7 Гкалл/га). У сортів і гібридів ‘СУ’, ‘Зубр’, ‘Довіста’, ‘Ананас’ і ‘Мамонт’ вихід енергії був нижчим і дорівнював 59,9; 65,2; 76,1; 77,9 і 78,6 Гкалл/га.

Найнижчий вихід енергії отримано у сортів ‘Силосне (покрашене)’ – 29,5 Гкалл/га та ‘Фаворит’ – 36,9 Гкалл/га, гібрида ‘Афоня’ – 29,7 Гкалл/га.

Таким чином, для біоенергетики найбільш перспективним в умовах 2015 року виявились сорти вітчизняної селекції ‘Силосне 42’ та ‘Сивашський 85’, які забезпечили найбільший вихід твердого біопалива, біогазу та енергії з одиниці площі. Для виробництва біоетанолу найбільш перспективними були гібриди ‘Мохавк’ (іноземна селекція), ‘Приазовське’ та ‘Мамонт’.

Висновки до розділу

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. У центральній частині Лісостепу України вихід біоетанолу з сорго цукрового найбільше залежить від погодних умов (39,0 %) та мінеральних добрив (28,5 %), ступінь впливу сортових особливостей і строків сівби насіння був значно меншим і становив відповідно 5,2 та 2,7 %. Внесення мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ дозволило збільшити врожайність зеленої маси сорго цукрового на 24,9 т/га, цукристість соку на 1,5 % та вихід біоетанолу на 1,13 т/га, збільшення дози добрив до $N_{160}P_{160}K_{160}$ сприяло незначному підвищенню показників продуктивності та виходу біоетанолу. Ранні строки сівби насіння сорго цукрового (III декада квітня) зменшують врожайність його зеленої маси на 6,6 т/га, цукристість соку – на 0,5 %, вихід біоетанолу – на 0,34 т/га у порівнянні з оптимальними строками (I - II декади травня).

2. У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України врожайність зеленої маси залежить від сортових особливостей сорго цукрового (36,5 %), строків сівби насіння (12,1 %) та строків збирання врожаю (12,2 %). Найбільший вплив на варіювання цукристості соку чинили строки збирання біомаси (68,1 %). Вплив строків сівби насіння, погодних умов та сортових особливостей був значно меншим і становив відповідно 2,7; 2,3 та 1,0 %. Збирання сорго цукрового у фазі

воскової стиглості забезпечило в 1,8 разу вищу цукристість соку порівняно із фазою викидання волоті. Запізнення зі строкками сівби насіння на кожні 10 діб починаючи з кінця квітня призводить до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі сорго цукрового в середньому на 1 %, а подовження вегетації на 1 добу за рахунок пізнішого збирання біомаси дозволяє збільшити вміст сухої речовини на 0,25 %. Із подовженням вегетаційного періоду вміст зольних елементів у біомасі сорго цукрового істотно зменшувався. Сорго цукрове гібрида 'Мамонт' за показниками врожайності зеленої маси (91,5 т/га), цукристості соку (12,7 %) та вмісту сухої речовини (24,6 %) перевищувало сорт 'Силосне 42', відповідні показники якого становили 70,8 т/га, 12 та 24 відсотки.

3. У зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України, залежно від строків сівби насіння, вихід біоетанолу з сорту 'Фаворит' змінювався у межах 2,12 - 2,22 т/га, біогазу – 11,1 - 11,9 тис. м³/га, твердого біопалива – 17,5 - 18,6 т/га та енергії – 335 - 351 ГДж/га. За внесення дози добрив N₈₀P₈₀K₈₀ вихід біоетанолу з 1 га посівів сортів 'Силосне 42' та 'Фаворит' зростав на 0,1 та 0,4 т/га, біогазу на 0,5 та 1,9 тис. м³/га, твердого біопалива на 0,8 та 3,0 т/га відповідно. Найбільший вплив на вихід енергії мали погодні умови (49,6 %), дози добрив (16,1 %) та сортові особливості (15,4 %).

4. На малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження найбільший вихід біоетанолу (1,75 т/га), біогазу (8,6 тис. м³/га) та твердого біопалива (18,5 т/га) досягається за сівби насіння гібрида 'Медовий F1 у II декаді травня. За внесення дози добрив N₈₀P₈₀K₈₀ вихід біоетанолу з 1 га посівів зростав на 0,5 та 0,6 т/га, біогазу на 2,7 та 3,1 тис. м³/га, твердого біопалива на 4,2 та 4,8 т/га для сорту 'Силосне 42' та гібрида 'Медовий F1' відповідно.

5. За результатами порівняльної енергетичної оцінки сучасних гібридів сорго цукрового найбільший вихід біоетанолу забезпечують гібриди 'Мохавк' (2,6 т/га), 'Приазовське' (2,4 т/га) та 'Мамонт' (2,2 т/га); твердого біопалива та біогазу – сорт 'Силосне 42' (відповідно 35,4 т/га та 22,6 тис. м³/га) та 'Сивашський 85' (31,3 т/га та 19,9 тис. м³/га). За рахунок високого вмісту сухої речовини сорти 'Силосне 42' та 'Сивашський 85' забезпечили найвищий вихід енергії – 146,4 та 131,4 Гкал/га відповідно.

РОЗДІЛ 6

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ

Буряки цукрові – найважливіша сільськогосподарська культура в багатьох регіонах світу [462]. Належаючи до рослин С3 типу фотосинтезу буряки цукрові здатні активно нагромаджувати енергетично цінні речовини в процесі вегетації, що робить перспективним використання їх біомаси для виробництва біопалив у помірних кліматичних умовах [53, 130, 151, 204]. Для України буряки цукрові розглядаються як основна біоенергетична культура, здатна забезпечити сировиною виробництва рідких [19, 24, 34, 45, 111, 116, 197, 214] та газоподібних [44, 102, 113, 141, 176, 183, 188, 222] біопалив.

Застосування мінеральних добрив під час вирощування енергетичних буряків цукрових є ключовим аспектом сталості вирощування біомаси в умовах побудови низьковуглецевої світової економіки [2, 29, 30, 62, 108, 115, 117, 153, 185, 205].

Дослідження з визначення впливу сортових особливостей, густоти стояння рослин та доз добрив на процес формування продуктивності буряків цукрових як біоенергетичної культури проводились впродовж 2013 - 2015 рр. у 4 зонах: нестійкого зволоження західної, центральної та східної частин Лісостепу України, а також у зоні недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України.

6.1 Вплив густоти стояння рослин, дози добрив та сортових особливостей на формування продуктивності буряків цукрових у центральній частині Лісостепу України

Дослідження з визначення впливу сортових особливостей, густоти стояння рослин та доз добрив на енергетичну продуктивність буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива проводились в зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України на полях Білоцерківської ДСС. Для досліджень використовували сорт ‘Білоцерківський однонасінний 45’ та гібрид ‘Олександрія’.

6.1.1. Вплив густоти стояння рослин на формування продуктивності буряків цукрових

За результатами досліджень встановлено, що ріст і розвиток рослин буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ протягом періоду вегетації проходив не рівномірно. Найбільш активне наростання листового апарата відбувалося з весни до липня, коли листкова маса перевищила масу коренеплодів вдвічі і більше. Так, станом на кінець липня маса листків на одній рослині за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою і становила 624 г (рис. 6.1). Дещо меншою була маса листового апарата за густоти стояння 110 тис. шт./га і становила 576 г. Найменша кількість листя на одній рослині (401 г) була за найбільшої густоти стояння рослин буряків цукрових – 150 тис.шт/га. Проте, вже на час збирання (кінець вересня) різниця за масою листового апарата однієї рослини буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ за різної густоти стояння рослин була не значною і змінювалась у межах 209 - 263 грам.

Найбільша врожайність гички (63,4 т/га) сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ спостерігалась у кінці липня за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Дещо нижчою була врожайність гички (60,2 т/га) за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га. Незважаючи на те, що маса листового апарата з 1 рослини за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою, врожайність гички станом на кінець липня на цьому варіанті була найменшою і становила 43,7 т/га. Ця тенденція зберіглася і на час збирання. За густоти стояння 150 тис. шт./га врожайність гички становила 31,4 т/га, за густоти 110 тис. шт./га – 21,9 т/га і за густоти 70 тис. шт./га – 16,7 т/га.

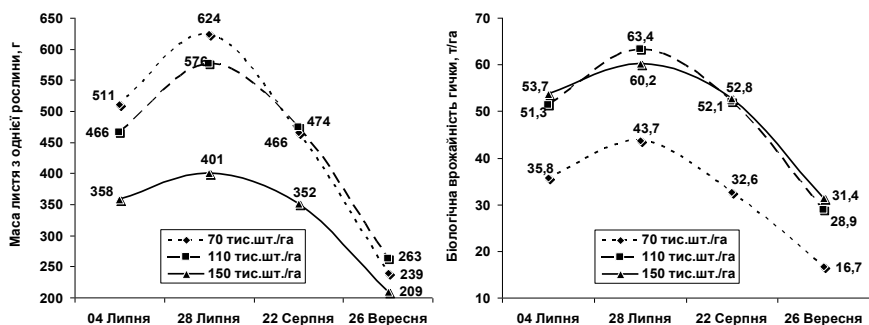


Рис. 6.1. Динаміка приросту листової маси буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Ріст і розвиток листового апарата буряків цукрових гібрида ‘Олександрія’ відбувався інтенсивніше, ніж сорту. Так, станом на кінець липня маса листя за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою і становила 683 г, що на 59 г більше ніж у сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’. Найменшою маса листового апарата однієї рослини гібрида ‘Олександрія’ (457 г) була за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га (рис. 6.2). Проте, на час збирання (кінець вересня) різниця за масою листя з однієї рослини гібрида ‘Олександрія’ за різної густоти стояння рослин була не значною і змінювалась у межах 193 - 240 грам.

Найбільша врожайність гички (68,6 т/га) гібрида ‘Олександрія’ спостерігалась в кінці липня за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га. Дещо нижчою була врожайність гички (68,0 т/га) за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Незважаючи на те, що маса листового апарата однієї рослини за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою, врожайність гички на цьому варіанті була найменшою і становила 47,8 т/га. Ця тенденція зберіглася і на час збирання. За густоти стояння рослин 150 тис. шт./га врожайність гички становила 29,0 т/га, за густоти 150 тис. шт./га – 24,8 т/га і за густоти 70 тис. шт./га – 16,8 т/га.

Інтенсивність наростання листового апарата як у сорту, так і в гібрида, максимальною була в кінці фази змикання листків у рядках, а площа асиміляційної поверхні досягала максимуму на період інтенсивного росту коренеплодів, а потім зменшувалась у зв'язку з відмиранням листків нижніх ярусів.

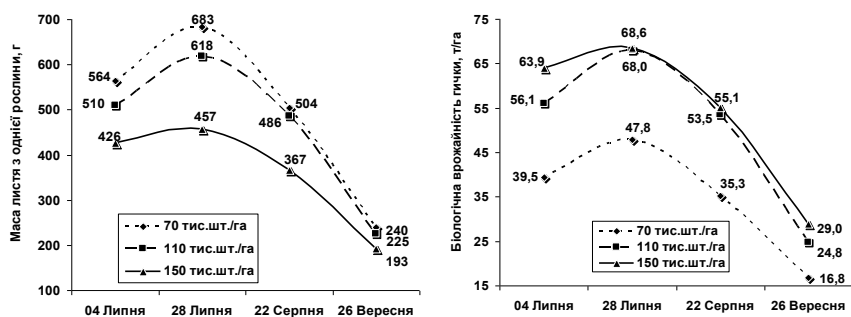


Рис. 6.2. Динаміка приросту листової маси буряків цукрових гібрида ‘Олександрія’ (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Найбільш активне наростання маси коренеплоду відбувається в другій половині вегетації (кінець липня - початок серпня), коли листкова маса починає поступово зменшуватись. Так, на час збирання середня маса одного коренеплоду сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою і становила 609 г (рис. 6.3). Меншою була середня маса коренеплоду за густоти стояння 110 тис. шт./га і становила 524 г. Найменшою середня маса коренеплоду (356 г) була за найбільшої густоти стояння рослин буряків цукрових 150 тис.шт/га.

Найбільша біологічна врожайність коренеплодів (57,6 т/га) сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' спостерігалась за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Дещо нижчою (53,4 т/га) була врожайність коренеплодів за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га. Незважаючи на те, що середня маса одного коренеплоду буряків цукрових за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою (609 г), урожайність коренеплодів на цьому варіанті була найменшою і становила 42,6 т/га.

Ріст і розвиток рослин буряків цукрових гібрида 'Олександрія' був інтенсивнішим, ніж сорту. Так, станом на час збирання середня маса коренеплоду за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою і становила 682 г, що на 73 г більше за середню масу коренеплоду сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' (рис. 6.4). Меншою була середня маса коренеплоду за густоти стояння 110 тис. шт./га і становила 568 г, що на 44 г менше маси коренеплоду сорту 'Білоцерківський однонасінний 45'. Найменшою (401 г) була середня маса коренеплоду гібрида 'Олександрія' за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га.

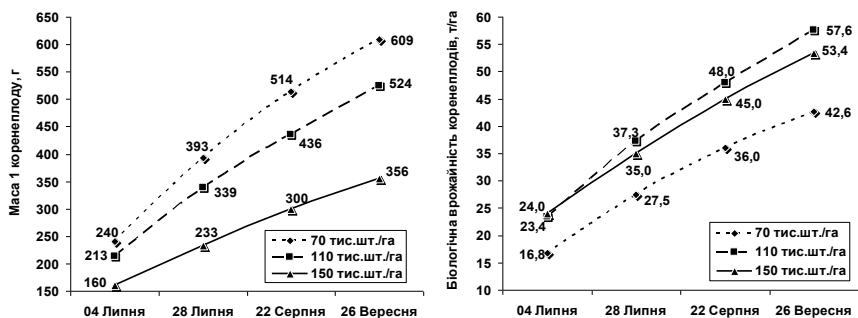


Рис. 6.3. Динаміка маси коренеплодів залежно від густоти стояння буряків цукрових сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

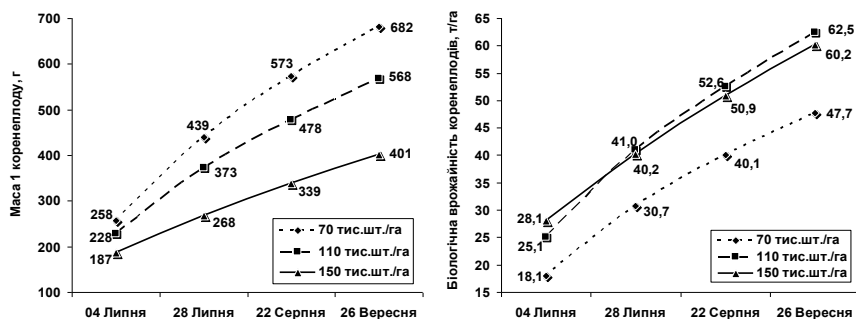


Рис. 6.4. Динаміка маси коренеплодів залежно від густоти стояння буряків цукрових гібрида 'Олександрія' (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Найбільша біологічна врожайність коренеплодів (62,5 т/га) гібрида 'Олександрія' спостерігалась за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Дещо нижчою (60,2 т/га) була врожайність коренеплодів за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га. Незважаючи на те, що середня маса одного коренеплоду буряків цукрових за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га була найбільшою (682 г), біологічна врожайність коренеплодів на цьому варіанті була найменшою і становила 39,6 т/га.

Найбільша фактична врожайність буряків цукрових сорту і гібрида досягнута за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га і становить відповідно 49,0 т/га та 53,1 т/га (табл. 6.1). Гібрид 'Олександрія' виявився також продуктивнішим за врожайністю гички. Найбільша цукристість була в сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' та гібрида 'Олександрія' за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га, що відповідно становить 17,9 та 17,2 відсотка.

Максимальний вихід біоетанолу досягався за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га, при цьому різниця між сортом і гібридом була не істотною. Це пояснюється тим, що незважаючи вищу врожайність коренеплодів гібрида 'Олександрія' сорт 'Білоцерківський однонасінний 45' мав вищу цукристість.

Найбільший розрахунковий вихід біогазу з гички буряків цукрових отримано за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га, що пояснюється збільшенням урожайності гички із збільшенням густоти стояння. За густоти стояння 150 тис. шт./га із гички сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' можна отримати понад 2,6 тис. м³/га біогазу, а із гички гібрида 'Олександрія' – понад 2,4 тис. м³/га.

Таблиця 6.1

Продуктивність буряків цукрових та вихід біопалива і енергії залежно від густоти стояння рослин (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Показники	‘Білоцерківський однонасінний 45’			‘Олександрія’		
	Густота стояння рослин, тис. шт./га					
	70	110	150	70	110	150
Урожайність коренеплодів, т/га	38,4	49,0	42,7	43,0	53,1	48,1
Урожайність гички, т/га	13,4	23,1	25,1	13,4	19,8	23,2
Цукристість коренеплодів, %	15,7	17,4	17,9	15,2	16,3	17,2
Вихід біоетанолу з коренеплодів, т/га	2,8	3,9	3,5	3,0	4,0	3,8
Вихід біогазу з гички, тис.м³/га	1,4	2,4	2,6	1,4	2,1	2,4
Вихід енергії з коренеплодів, ГДж/га	69,1	97,8	87,8	74,9	99,3	95,0
Вихід енергії з гички, ГДж/га	30,6	53,0	57,4	30,8	45,3	53,0
Загальний вихід енергії, ГДж/га	99,8	150,8	145,2	105,7	144,7	148,0

Максимальний сумарний вихід енергії (150,8 ГДж/га) з коренеплодів та гички отримано з буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Для гібрида ‘Олександрія’ збільшення густоти стояння рослин з 110 до 150 тис. шт./га призвело до незначного підвищення виходу енергії з 144,7 до 148,0 ГДж/га.

6.1.2. Залежність енергетичної продуктивності буряків цукрових від доз мінеральних добрив

Доза внесення мінеральних добрив є важливим фактором у розвитку енергетичних буряків цукрових, який суттєво впливає на отримання кінцевої продукції – біопалива. Залежно від дози удобрення, рослини буряків цукрових проходять фази розвитку по-різному (табл. 6.2). Так, за внесення доз добрив удобрення $N_{120}P_{150}K_{150}$ і $N_{240}P_{300}K_{300}$, фази розвитку буряків цукрових настають дещо раніше порівняно з фазами на контрольному варіанті (без добрив). Це пояснюється тим, що рослини на ранніх стадіях розвитку на удобрених варіантах отримують в достатній кількості поживні речовини для свого швидкого росту і розвитку. Фенологічні фази змикання листя в рядках і міжряддях буряків цукрових наступали на 2 - 3 доби раніше за внесення удобрення $N_{240}P_{300}K_{300}$ у порівнянні з іншими варіантами досліду.

Таблиця 6.2

Основні фази розвитку рослин енергетичних буряків цукрових залежно від дози добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Дози добрив	Фази розвитку рослин						
	Поява поодиноких сходів	1 пара листків	2 пара листків	3 пара листків	Змикання листків у рядках	Змикання листків у міжрядях	Розмикання листків у міжрядях
Без добрив	01.05	19.05	23.05	27.05	10.06	22.06	28.09
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	01.05	18.05	22.05	26.05	09.06	21.06	27.09
N ₂₄₀ P ₃₀₀ K ₃₀₀	01.05	16.05	20.05	24.05	08.06	19.06	27.09

Ріст і розвиток рослин буряків цукрових протягом періоду вегетації проходить не рівномірно. Найбільш активне наростання вегетативної маси відбувається з весни (початок розвитку буряків) до липня, коли листкова маса перевищує масу коренеплідів у два рази і більше. Так, у сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' станом на кінець липня маса листків на одній рослині за дози внесення мінеральних добрив N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀ була найбільшою і становила 435 г (рис. 6.5). Дещо меншою була маса листового апарата за внесення удобрення N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀ – 414 г. Найменша маса листя на одній рослині (344 г) була на контролі. Але вже на час збирання (кінець жовтня) різниця за масою листового апарата однієї рослини буряків цукрових за дози удобрення була не значною і змінювалась у межах 255 - 281 грам.

У гібрида 'Олександрія' активне наростання листової маси спостерігалось в кінці липня. Так середня маса листків на одній рослині за внесення дози добрив N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀ була найбільшою і становила 881 г. Дещо меншою була середня маса листового апарата (795 г) за дози внесення мінеральних добрив N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀. Але протягом подальшої вегетації середня маса листя енергетичних буряків цукрових знижувалась і на час збирання становила 261 г за внесення удобрення у дозі N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀, а за дози внесення N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀ – 248 грам.

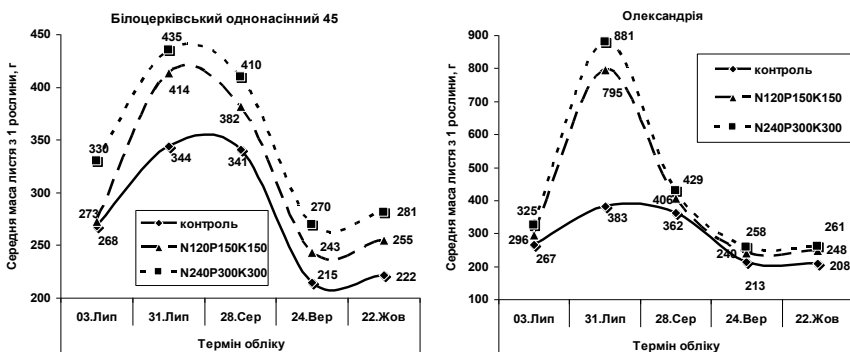


Рис.6.5. Динаміка наростання маси листкового апарата на 1 рослині буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Оскільки гичка енергетичних буряків цукрових є цінною сировиною для виробництва біогазу (з 1 тони гички отримують до 102 м³ біогазу) у дослідженнях приділяли значну увагу облікам листкового апарата. Найбільша врожайність гички (33,5 т/га) сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' спостерігалась у кінці липня за дози внесення мінеральних добрив N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀. (рис. 6.6) Дещо нижчою була врожайність гички (31,9 т/га) за дози внесення мінеральних добрив N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀. На час збирання енергетичних буряків цукрових, залежно від доз внесення мінеральних добрив – N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀ та N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀, урожайність гички становила відповідно 21,6 та 19,6 т/га.

Ріст і розвиток листкового апарата буряків цукрових гібрида 'Олександрія' відбувався інтенсивніше ніж сорту. Так, станом на кінець липня врожайність гички за внесення добрив у дозі N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀ була найбільшою і становила 67,8 т/га, що вдвічі більше ніж у сорту 'Білоцерківський однонасінний 45'. Найменшою врожайністю гібрида 'Олександрія' (29,5 т/га) була на контролі, без внесення мінеральних добрив. Проте, на час збирання (кінець жовтня) різниця за врожайністю гички гібрида 'Олександрія' залежно від доз внесення мінеральних добрив була не значною і змінювалась у межах 19,1 т/га за удобрення у дозі N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀ та 20,1 т/га за внесення удобрення N₂₄₀P₃₀₀K₃₀₀.

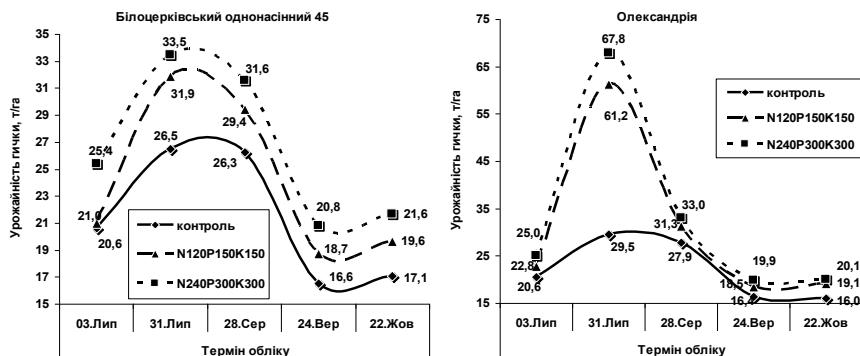


Рис.6.6. Динаміка врожайності гички буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Найбільший розрахунковий вихід енергії (74,5 ГДж/га) з біогазу, отриманого з гички енергетичних буряків цукрових сорту 'Білоцерківський однонасінний 45', спостерігався в кінці липня за дози внесення мінеральних добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$ (рис. 6.7). За оптимальної дози внесення добрив ($N_{120}P_{150}K_{150}$) вихід енергії з гички енергетичних буряків цукрових, за цей самий період, був дещо меншим і становив 70,9 ГДж/га. Але вже на час збирання вихід енергії з гички за доз внесення мінеральних добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$ та $N_{120}P_{150}K_{150}$ становив відповідно 48,1 та 43,7 ГДж/га.

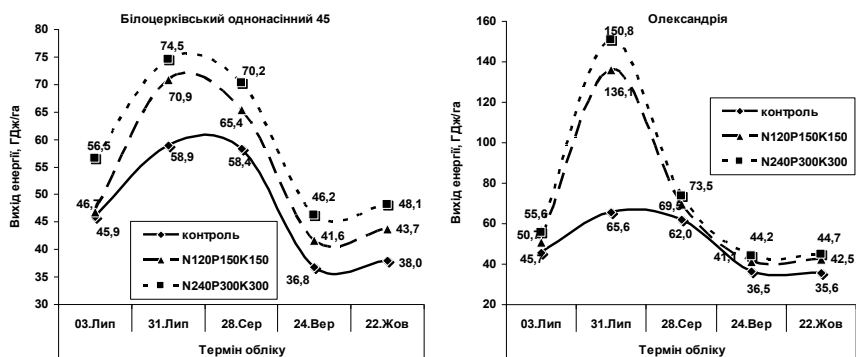


Рис.6.7. Динаміка накопичення енергії в гичці буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

У гібрида ‘Олександрія’ максимальний вихід енергії з гички (150,8 ГДж/га) був значно більшим ніж у сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ (74,5ГДж/га) і також спостерігався в третій декаді липня за дози внесення мінеральних добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$. У цей же період за оптимального фону удобрення ($N_{120}P_{150}K_{150}$) вихід енергії був дещо меншим і становив 136,1 ГДж/га. Але вже на час збирання енергетичних буряків цукрових вихід енергії з гички гібрида ‘Олександрія’ був меншим порівняно із сортом ‘Білоцерківський однонасінний 45’. Так, за доз внесення добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$ та $N_{120}P_{150}K_{150}$, вихід енергії відповідно становив 44,7 та 42,5 ГДж/га. Таке різке зменшення виходу енергії в другій половині вегетації пов’язано із зменшенням маси листового апарату рослин.

Найбільш активне наростання маси коренеплодів відбувалось у другій половині вегетації, на початку інтенсивного розвитку коренеплодів буряків цукрових (кінець липня - початок серпня), коли листовая маса починає поступово зменшуватись. Так, у цей час середня маса коренеплоду за дози удобрення мінеральними добривами $N_{240}P_{300}K_{300}$ становила 370 г, тоді як за оптимального удобрення ($N_{120}P_{150}K_{150}$) – 380 г (рис. 6.8). Під час збирання середня маса коренеплоду за доз удобрення $N_{240}P_{300}K_{300}$ та $N_{120}P_{150}K_{150}$ становила відповідно 633 та, 666 грам.

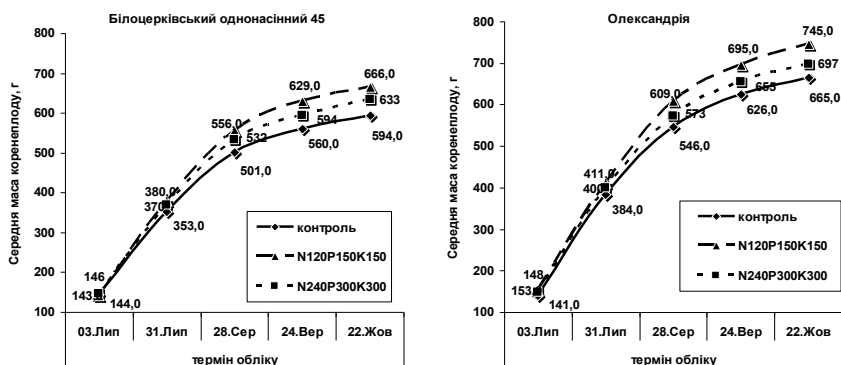


Рис.6.8. Динаміка наростання маси коренеплоду буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

У гібрида ‘Олександрія’ середній приріст маси коренеплоду протягом вегетації був дещо більшим ніж у сорту. Так, на кінець липня початок серпня середня маса коренеплоду за дози внесення добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$ становила 400,0 г. За внесення добрив у дозі $N_{120}P_{150}K_{150}$ середня маса коренеплоду була 411,0 г. На час збирання врожаю енергетичних буряків цукрових середня маса коренеплоду за доз удобрення $N_{240}P_{300}K_{300}$ та $N_{120}P_{150}K_{150}$ становила відповідно 697,0 та 745,0 грам.

У третій декаді липня біологічна врожайність коренеплодів буряків цукрових за дози внесення мінеральних добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$ становила 40,7 т/га. Не істотно більшою була біологічна врожайність за дози удобрення $N_{120}P_{150}K_{150}$ – 41,8 т/га. На час збирання врожайність коренеплодів сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ за дози внесення мінеральних добрив $N_{120}P_{150}K_{150}$ була найбільшою і становила 73,3 т/га (рис. 6.9). Дещо меншою була врожайність коренеплодів за внесення удобрення $N_{240}P_{300}K_{300}$ і становила 69,6 т/га. Найменшою біологічна врожайність коренеплодів буряків цукрових (65,3 т/га) була на неудобреному контролі.

Біологічна урожайність гібрида ‘Олександрія’ була дещо більшою ніж у сорту. Так, на кінець липня урожайність коренеплодів за дози внесення мінеральних добрив $N_{120}P_{150}K_{150}$ становила 45,2 т/га. Дещо нижчою була врожайність коренеплодів (44,0 т/га) за внесення удобрення $N_{240}P_{300}K_{300}$. Найбільша біологічна врожайність енергетичних буряків цукрових гібрида ‘Олександрія’ на час збирання спостерігалась за доз внесення мінеральних добрив $N_{120}P_{150}K_{150}$ та $N_{240}P_{300}K_{300}$ і становила відповідно 82,0 та 76,7 т/га.

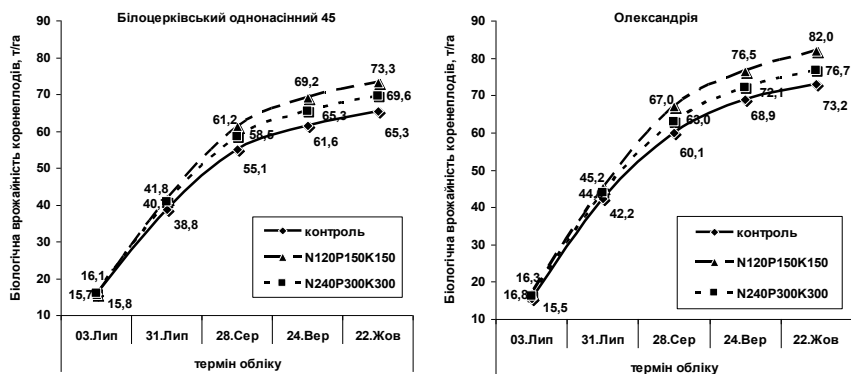


Рис.6.9. Динаміка врожайності коренеплодів буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

Зменшення врожайності сорту та гібрида за внесення подвійної дози добрив ($N_{240}P_{300}K_{300}$), порівняно з одинарною ($N_{120}P_{150}K_{150}$), пояснюється недостатньою кількістю атмосферних опадів у період вегетації енергетичних буряків цукрових на Білоцерківській ДСС у роки досліджень. Тому надлишковий вміст у ґрунті макроелементів використовувався не в повній мірі і додаткові затрати у вигляді подвійної дози НРК на вирощування буряків цукрових у таких умовах не принесли бажаного приросту врожаю.

Отже, найбільша біологічна врожайність буряків цукрових сорту і гібрида досягнута за дози внесення мінеральних добрив $N_{120}P_{150}K_{150}$, що становить відповідно 73,3 т/га та 82,0 т/га.

Доза внесення мінеральних добрив впливає на накопичення вуглеводів у коренеплодах енергетичних буряків цукрових. Так, за дози внесення мінеральних добрив $N_{240}P_{300}K_{300}$, цукристість коренеплодів як сорту, так і гібрида була меншою та становила відповідно 16,1 і 15,9 % (табл. 6.3). За оптимальної дози внесення мінеральних добрив ($N_{120}P_{150}K_{150}$), цукристість коренеплодів сорту і гібрида була відповідно 16,8 та 16,2 %. Найбільша цукристість коренеплодів енергетичних буряків цукрових, як сорту, так і гібрида, спостерігалась на контролі (без внесення добрив) та становила відповідно 18,4 і 17,8 відсотка.

Таблиця 6.3

**Цукристість коренеплодів буряків цукрових залежно від дози
удобрення (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.), %**

Доза добрив	‘Білоцерківський однонасінний 45’				‘Олександрія’			
	31.07	28.08	24.09	22.10	31.07	28.08	24.09	22.10
Без добрив	15,2	15,1	17,2	18,4	15,8	14,7	17,0	17,8
$N_{120}P_{150}K_{150}$	14,7	14,1	16,0	16,8	14,8	13,5	15,7	16,2
$N_{240}P_{300}K_{300}$	14,3	13,8	15,4	16,1	14,6	13,1	15,3	15,9
$НР_{0,05}$	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4

Вміст сухої речовини в коренеплодах також залежить від дози внесення мінеральних добрив під буряки цукрові. Загальний збір сухої маси як за вирощування сорту, так і гібрида досягає максимального значення на час збирання буряків цукрових за внесення дози

$N_{120}P_{150}K_{150}$ і становить відповідно 18,4 і 17,5 т/га (табл. 6.4). Збір сухої маси гички був більшим у сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ за вирощування на варіанті з внесенням $N_{240}P_{300}K_{300}$ і становив 3,0 т/га. Урожайність сухої маси гички у гібрида ‘Олександрія’ була більшою за вирощування на варіанті з внесенням $N_{240}P_{300}K_{300}$ і становила 2,5 т/га.

Таблиця 6.4

**Збір сухої маси коренеплодів та гички в залежності від дози
удобрення (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.), т/га**

Доза добри́в	‘Білоцерківський однонасінний 45’			‘Олександрія’		
	28.08	24.09	22.10	28.08	24.09	22.10
Гичка						
Без добрив	2,8	2,5	1,97	3,4	2,3	2,0
$N_{120}P_{150}K_{150}$	3,3	2,9	2,0	4,2	3,0	2,3
$N_{240}P_{300}K_{300}$	3,7	3,2	3,0	3,8	2,7	2,5
$НР_{0,05}$	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Коренеплоди						
Без добрив	11,4	13,9	15,3	12,4	14,1	17,3
$N_{120}P_{150}K_{150}$	12,4	15,3	17,5	14,0	16,6	18,4
$N_{240}P_{300}K_{300}$	11,8	15,1	16,1	13,0	14,7	17,4
$НР_{0,05}$	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5

Найбільший вихід біоетанолу з коренеплодів досягається за внесення удобрення $N_{120}P_{150}K_{150}$ і для сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ становить 5,79 т/га (рис. 6.10). Дещо меншим (в межах НР) був вихід біоетанолу за внесення подвійної дози добрив – 5,5 т/га. Без застосування добрив розрахунковий вихід біоетанолу на час збирання коренеплодів енергетичних буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ становив 5,16 т/га.

Для гібрида ‘Олександрія’ найбільший вихід біоетанолу з коренеплодів, як і для сорту, досягається за внесення удобрення $N_{120}P_{150}K_{150}$ і становить 6,47 т/га. На варіанті подвійної дози добрив вихід біоетанолу був меншим – 6,06 т/га. Найменший розрахунковий вихід біоетанолу на час збирання коренеплодів енергетичних буряків цукрових гібрида ‘Олександрія’ був на неудобреному фоні і становив 5,78 т/га.

Найбільший загальний вихід енергії з коренеплодів та гички сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ через виробництво біогазу досягається на кінець вегетації рослин на фоні $N_{120}P_{150}K_{150}$ і становить 285 ГДж/га (рис. 6.11).

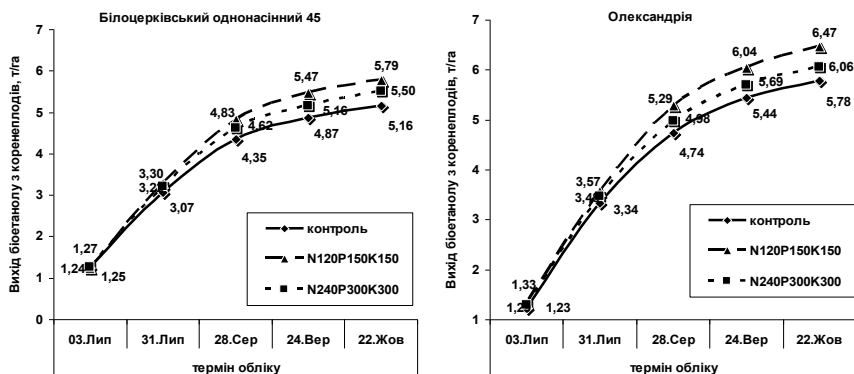


Рис.6.10 Динаміка виходу біоетанолу з коренеплодів буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

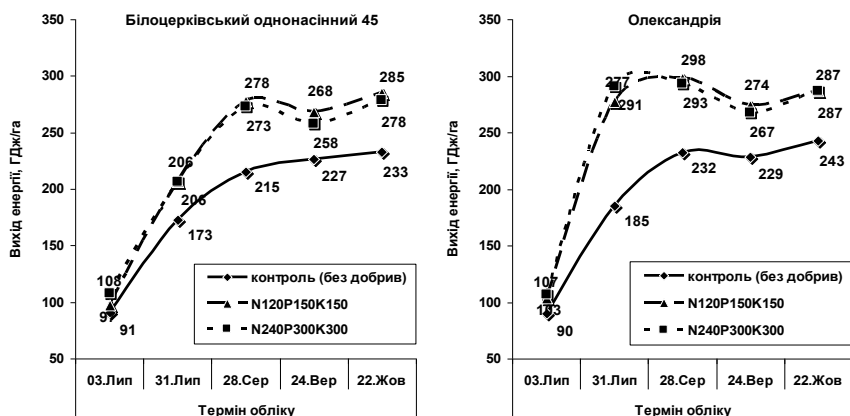


Рис.6.11. Динаміка накопичення енергії коренеплодами та гичкою буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010 - 2012 рр.)

На кінець серпня вихід енергії становив 278 ГДж/га і несуттєво відрізнявся від максимального. Ця тенденція характерна також для гібрида 'Олександрія'. Це пояснюється тим, що приріст маси коренеплоду, який спостерігається у вересні - жовтні, компенсується різким зменшенням маси гички, яка також є сировиною для виробництва біогазу. Таким чином, до збирання енергетичних буряків цукрових як сировини для виробництва біогазу можна приступати з кінця серпня.

6.2. Особливості формування продуктивності буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та доз добрив у зоні недостатнього зволоження

Вивчення особливостей росту та розвитку та продуктивності рослин буряків цукрових гібридів 'Ворскла' та 'Булава' залежно від рівня мінерального живлення та густоти стояння рослин проводилось в умовах недостатнього зволоження на Веселоподільській ДСС.

За результатами досліджень встановлено, що найвищу врожайність коренеплодів та гички буряків цукрових гібрида 'Ворскла' (51,8 та 24,7 т/га відповідно) отримано за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га та дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$. Максимальна у досліді врожайність коренеплодів гібрида 'Булава' (53,8 т/га) досягалась за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га на фоні внесення підвищеної дози добрив – $N_{150}P_{100}K_{100}$ (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Показники продуктивності рослин буряків цукрових залежно від сортових особливостей, густоти стояння рослин та доз добрив (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Гібрид	Густота стояння, тис. шт./га	Доза добрив	Урожайність гички ,т/га	Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %
Ворскла	70	без добрив	20	42	17,4
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	15,9	42,9	18,3
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	13,6	43,9	17,7
	100	без добрив	18,6	43,3	18,3
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	18,3	46	19
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	20,1	47,9	18,6
	130	без добрив	20,5	49,1	18,9
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	24,7	51,8	18,3
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	23,9	49,7	18,6
Булава	70	без добрив	15,3	43,9	18,2
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	11,7	46,3	18,5
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	13	47,2	18,6
	100	без добрив	19,1	48,9	18,2
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	20,1	51	18,5
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	19,1	52,7	18,8
	130	без добрив	23	48,5	18,1
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	21,5	53,6	18,7
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	22,2	53,8	18,4
НІР _{0,05}			2,2	5,3	0,5

Зменшення густоти стояння рослин та дози добрив вело до зменшення врожайності коренеплодів. Найвища у досліді цукристість коренеплодів спостерігалась за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га із застосуванням добрив.

За врожайністю коренеплодів в умовах дефіциту вологи гібрид 'Булава' переважав гібрид 'Ворскла' на усіх варіантах досліді не залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (рис. 6.12). Крім того гібрид 'Булава' виявився більш чутливим до внесення мінеральних добрив. Застосування подвійної дози добрив ($N_{150}P_{100}K_{100}$) не забезпечувало такого ж приросту врожайності коренеплодів, як внесення одинарної дози ($N_{75}P_{50}K_{50}$). Слід відмітити, що залежність урожайності коренеплодів від доз внесення добрив в умовах дефіциту вологи носила тенденційний характер і не була статистично істотною ($p=0,596$).

Зі збільшенням густоти стояння рослин прослідковувалась тенденція до зростання врожайності коренеплодів обох гібридів (див. рис. 6.12). Урожайність коренеплодів гібрида 'Ворскла' зростала майже лінійно, в той час як для гібрида 'Булава' була характерна криволінійна залежність. Істотна різниця між урожайностями коренеплодів обох гібридів спостерігалась за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га, в той час як за густоти 70 та 130 тис.шт/га різниця була не істотною.

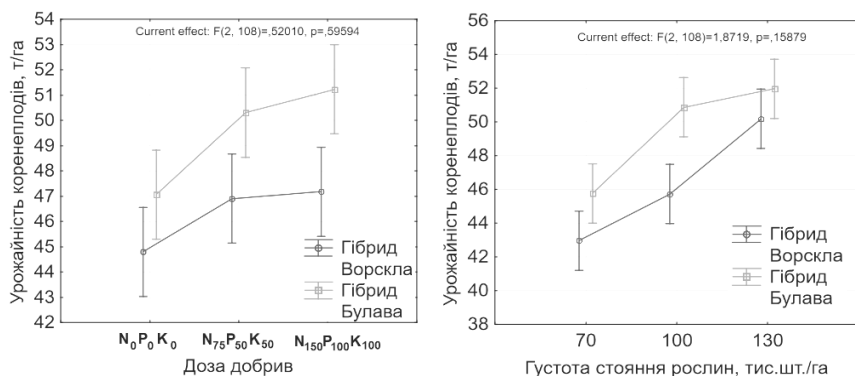


Рис. 6.12. Урожайність коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Для гібрида ‘Ворскла’ спостерігалась тенденція до зменшення врожайності гички зі збільшенням дози внесення добрив (рис. 6.13). Водночас, для гібрида ‘Булава’ мінімальна врожайність гички відмічалась за внесення одинарної дози добрив ($N_{75}P_{50}K_{50}$), а на фоні без добрив та за внесення подвійної дози ($N_{150}P_{100}K_{100}$) врожайність зростала.

Істотним виявився вплив густоти стояння рослин на урожайність гички обох гібридів, водночас зі збільшенням густоти урожайність гички зростала майже за лінійною залежністю (рис. 6.13). Не дивлячись на те, що за врожайністю коренеплодів гібрид ‘Булава’ переважав гібрид ‘Ворскла’, за врожайністю гички спостерігалась протилежна картина.

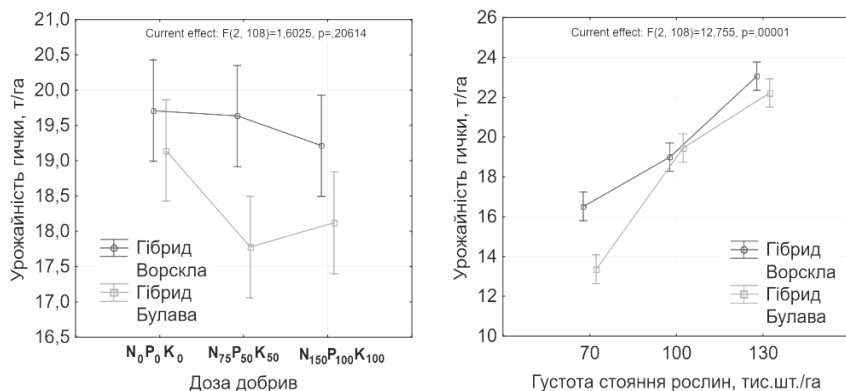


Рис. 6.13. Урожайність гички буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

В умовах дефіциту вологи вплив добрив на цукристість коренеплодів виявився не істотним ($p=0,11$). Найнижча цукристість спостерігалась у рослин гібрида ‘Ворскла’ за густоти стояння 70 тис. шт./га. Збільшення густоти стояння рослин цього гібрида з 70 тис. шт./га до 100 тис. шт./га сприяло істотному підвищенню цукристості від 17,8 % до 18,6 % (рис. 6.14).

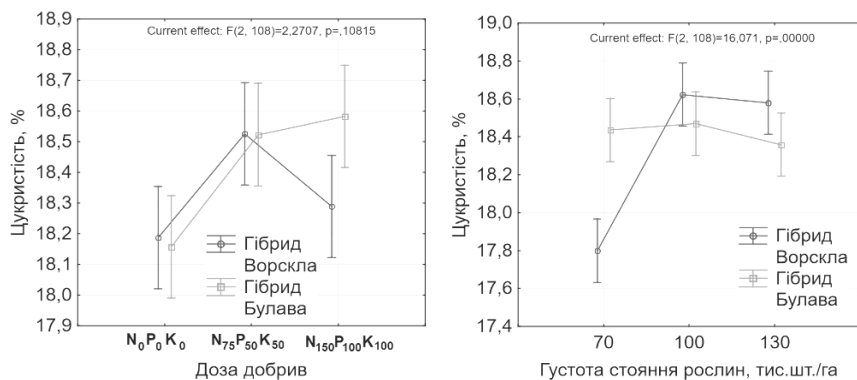


Рис. 6.14. Цукристість коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

За результатами дисперсійного аналізу (рис. 6.15) встановлено, що на варіювання показника врожайності коренеплодів найбільший вплив мали густота стояння рослин (33,2 %), погодні умови (13,2 %) і спільна дія погодних умов та добрив (12,9 %). В умовах зони недостатнього зволоження вплив добрив та гібрида на врожайність коренеплодів виявився не істотним (0,4 % та 1,1 %, відповідно).

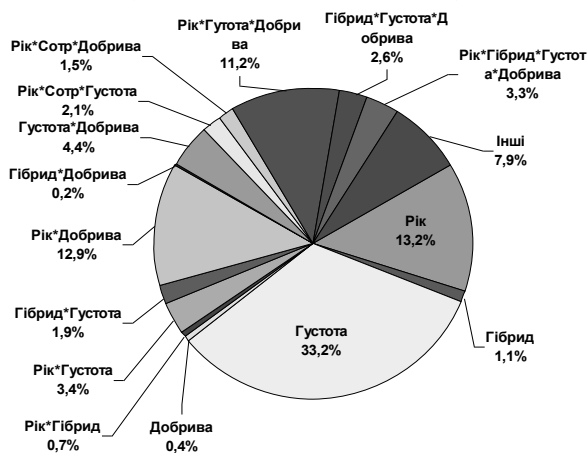


Рис. 6.15. Вплив досліджуваних факторів на урожайність коренеплодів буряків цукрових (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Найбільше варіювання врожайності гички спостерігалось під впливом густоти стояння рослин (20,3 %), погодних умов (18,2 %), гібрида (7,0 %), а також спільної дії факторів гібрид - погодні умови (13,4 %) та добрива - погодні умови (12,8 %). Вплив добрив був на рівні 5,4 % (рис. 6.16).

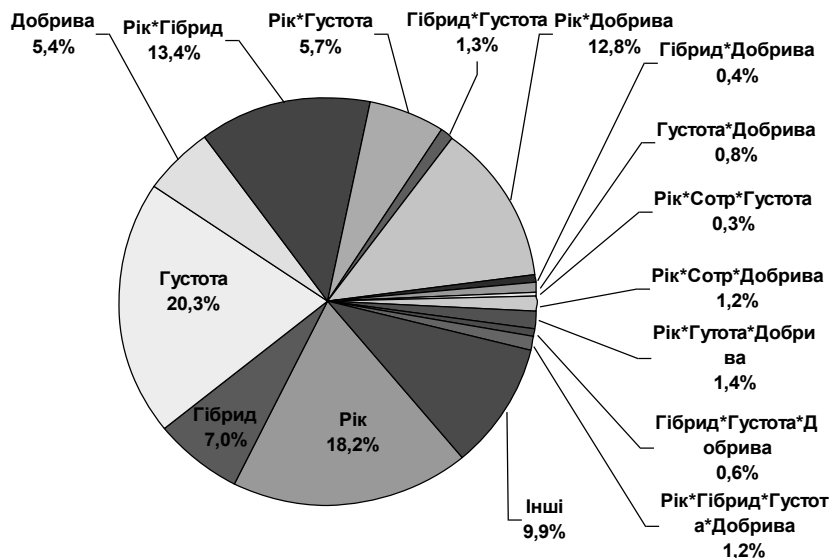


Рис. 6.16. Вплив досліджуваних факторів на урожайність гички буряків цукрових (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

За результатами досліджень встановлено, що в умовах недостатнього зволоження зі збільшенням густоти стояння рослин спостерігалась тенденція до збільшення виходу біоетанолу та біогазу з одиниці площі буряків цукрових. Так зі збільшенням густоти стояння з 70 до 130 тис. шт./га вихід біоетанолу з буряків цукрових гібридів 'Ворскла' та 'Булава' зростав з 3,51 та 3,87 т/га до 4,28 та 4,38 т/га відповідно, а вихід біогазу з 7,7 та 7,77 тис. м³/га до 9,38 та 9,54 тис. м³/га відповідно (рис. 6.17).

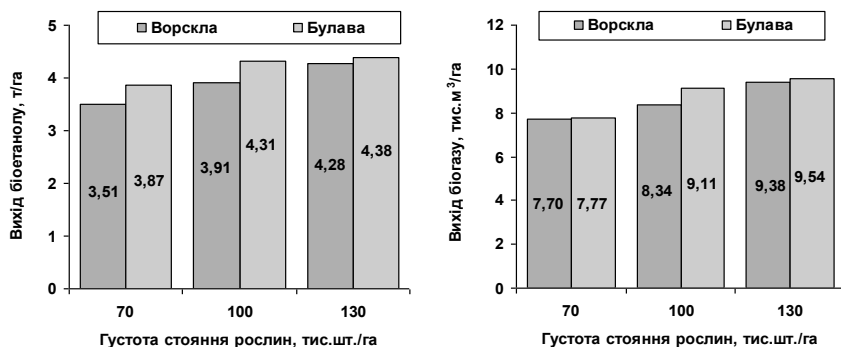


Рис. 6.17 Вихід біопалива залежно від густоти стояння рослин буряків цукрових (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Встановлено вплив доз добрив на вихід рідкого і газоподібного біопалива з буряків цукрових (рис. 6.18). Так, найбільшого виходу біоетанолу отримано за найбільшої дози добрив в досліді $N_{150}P_{100}K_{100}$ гібридів 'Ворскла' (3,96 т/га) та 'Булава' (4,37 т/га), зменшення дози добрив вело до зниження обсягів біопалива. Зі збільшенням дози добрив вихід біогазу також зростає. Так, максимальний вихід біогазу з буряків цукрових гібридів 'Ворскла' (8,6 тис. м³/га) та 'Булава' (9,0 тис. м³/га) було отримано за внесення $N_{150}P_{100}K_{100}$. Зі зменшенням дози добрив вихід біогазу зменшувався. За виходом як рідкого так і газоподібного біопалива гібрид 'Булава' випереджав гібрид 'Ворскла'.

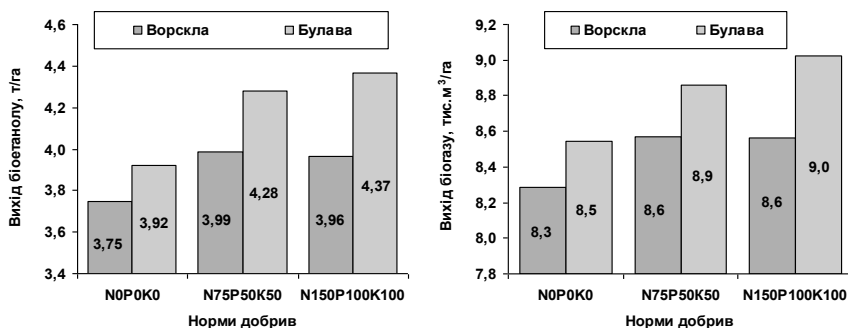


Рис. 6.18. Вихід біопалива з буряків цукрових залежно від дози добрив (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Аналіз виходу енергії з одиниці площі буряків цукрових свідчить, що за густоти стояння 70 тис. шт./га цей показник для обох гібридів є мінімальним. Збільшення густоти стояння дозволяє підвищити вихід енергії як з біоетанолу, так і з біогазу (табл. 6.6). Збільшення енергії з біогазу досягається за рахунок приросту врожайності гички на більш загущених посівах, а зростання виходу енергії з біоетанолу пояснюється збільшенням цукристості у більш дрібних коренеплодів, частка яких зростає зі збільшенням густоти стояння рослин.

Отже у зоні недостатнього зволоження для вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі доцільно використовувати гібрид 'Булава' з густотою стояння рослин 100 - 130 тис. шт./га та на фоні внесення $N_{75}P_{50}K_{50}$. Збільшення дози добрив до $N_{150}P_{100}K_{100}$ не забезпечували приросту виходу біопалива і енергії. За вирощування гібрида 'Ворскла' вихід біоетанолу зменшувався на 7,4 %, біогазу на 3,9 % у порівнянні з гібридом 'Булава'.

Таблиця 6.6

**Показники виходу енергії з біопалива з буряків цукрових
(ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.).**

Гібрид	Густота стояння рослин, тис. шт./га	Доза добрив	Вихід енергії, ГДж/га	
			з біоетанолу	з біогазу
Ворскла	70	$N_0P_0K_0$	83,8	172,8
		$N_{75}P_{50}K_{50}$	90,0	166,3
		$N_{150}P_{100}K_{100}$	89,5	164,4
	100	$N_0P_0K_0$	90,9	173,5
		$N_{75}P_{50}K_{50}$	100,4	181,1
		$N_{150}P_{100}K_{100}$	101,9	190,7
	130	$N_0P_0K_0$	106,4	195,4
		$N_{75}P_{50}K_{50}$	108,6	212,9
		$N_{150}P_{100}K_{100}$	105,9	204,9
Булава	70	$N_0P_0K_0$	91,8	167,9
		$N_{75}P_{50}K_{50}$	98,0	167,3
		$N_{150}P_{100}K_{100}$	100,7	173,0
	100	$N_0P_0K_0$	102,0	191,7
		$N_{75}P_{50}K_{50}$	108,1	200,4
		$N_{150}P_{100}K_{100}$	113,5	203,4
	130	$N_0P_0K_0$	100,4	199,0
		$N_{75}P_{50}K_{50}$	114,8	211,5
		$N_{150}P_{100}K_{100}$	113,4	213,6

6.3. Залежність продуктивності буряків цукрових від сортових особливостей, доз добрив та густоти стояння рослин у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України

Вивчення впливу удобрення та густоти стояння рослин буряків цукрових на їх енергетичну продуктивність проводили у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу на полях ІДСС. Сівбу проводили насінням гібридів ‘ЩБ 0801’ та ‘Булава’, обробленим захисними та стимулюючими компонентами.

За результатами досліджень найбільшої врожайності гички і коренеплодів буряків цукрових в середньому за три роки досліджень було отримано за найменшої густоти стояння рослин (70 тис. шт./га) на фоні $N_{150}P_{100}K_{100}$. На цьому варіанті врожайність гички і коренеплодів гібрида ‘ЩБ 0801’ становила відповідно 41,9 і 63,2 т/га, показники гібрида ‘Булава’ були дещо меншими і склали відповідно 41,2 і 61,3 т/га (табл. 6.7). Найвища цукристість у досліді досягалась за максимальної густоти стояння рослин та мінімальної дози добрив. Причиною цього є те, що за таких умов формуються коренеплоди найменшого розміру для яких характерні високі концентрації цукрів.

У гібрида ‘Булава’ прослідковувалась чітка тенденція до зменшення врожайності гички зі збільшенням густоти стояння рослин. Так, за густоти стояння 70 тис. шт./га врожайність гички становила 39,1 т/га, за густоти 100 тис. шт./га – 37,5 т/га, а за густоти 130 тис. шт./га – 37,0 т/га (рис. 6.19). Найменша врожайність гички у гібрида ‘ЩБ 0801’ (36,0 т/га) спостерігалась за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га. Зі збільшенням густоти стояння до 130 тис. шт./га врожайність гички зростала до 36,6 т/га, проте найвищу врожайність (39,1 т/га) цей гібрид демонстрував за густоти 70 тис. шт./га.

Реакція на удобрення у обох досліджуваних гібридів буряка цукрового була ідентичною. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{75}P_{50}K_{50}$ забезпечило приріст врожайності гички для гібрида ‘Булава’ з 36,3 до 37,4 т/га, а для гібрида ‘ЩБ 0801’ – з 35,9 до 36,9 т/га, порівняно з контролем без добрив. Подальше збільшення дози добрив сприяло інтенсивнішому приросту врожайності гички – до 39,9 т/га для гібрида ‘Булава’ та 39,3 т/га – для гібрида ‘ЩБ 0801’.

Таблиця 6.7

**Показники продуктивності рослин буряків цукрових залежно від
сортних особливостей, густоти стояння рослин та доз добрив
(І ДСС, 2013 - 2015 рр.)**

Гібрид	Густота рослин, тис. шт./га	Доза добрив	Урожайність гички, т/га	Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %
‘ЩБ 0801’	70	без добрив	38,1	55,1	19,5
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	38,5	59,4	18,9
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	41,9	63,2	18,3
	100	без добрив	34,9	52,4	19,9
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	35,7	54,9	19,3
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	37,4	57,6	18,7
	130	без добрив	34,7	50,3	20,7
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	36,5	52,1	20,1
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	38,6	53,8	19,4
‘Булава’	70	без добрив	37,6	51	20,3
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	38,4	56,6	20
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	41,2	61,3	18,8
	100	без добрив	35,8	49,7	20,7
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	37,1	52,7	20,3
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	39,8	55,7	19,3
	130	без добрив	35,5	47,5	21,3
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	36,8	50	20,5
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	38,7	51,8	19,8
НІР _{0,05}			2,1	3	0,5

Зі збільшенням густоти стояння рослин врожайність коренеплодів обох досліджуваних гібридів зменшувалась за прямолінійною залежністю (рис. 6.20). Так, збільшення густоти стояння рослин з 70 до 100 тис. шт./га призвело до зменшення врожайності коренеплодів гібрида 'Булава' з 56,3 до 52,7 т/га, а гібрида 'ЩБ 0801' – з 59,3 до 55,0 т/га. Найменша врожайність коренеплодів спостерігалась за густоти стояння 130 тис. шт./га і становила для гібридів 'Булава' та 'ЩБ 0801' відповідно 49,8 та 52,1 т/га. Майже на усіх варіантах досліду (окрім густоти стояння рослин 70 тис. шт./га) врожайність гички у гібрида 'Булава' була вищою ніж у гібрида 'ЩБ 0801'.

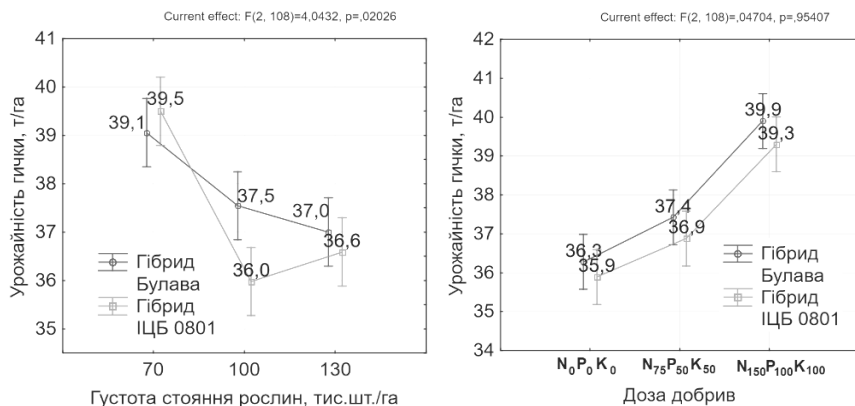


Рис. 6.19. Урожайність гички залежно від густоти стояння рослин буряків цукрових та дози добрив (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

У зоні нестійкого зволоження рослини буряків цукрових позитивно реагували на внесення мінеральних добрив. Так, за внесення $N_{75}P_{50}K_{50}$ врожайність коренеплодів гібрида 'Булава' зростала з 49,4 до 53,1 т/га, гібрида 'ІЦБ 0801' – з 52,6 до 55,5 т/га. Подальше збільшення дози добрив забезпечило приріст врожайності коренеплодів до 56,3 т/га у гібрида 'Булава' та до 58,2 т/га – у гібрида 'ІЦБ 0801'. В усіх варіантах досліджу врожайність коренеплодів гібрида 'ІЦБ 0801' перевищувала врожайність гібрида 'Булава'.

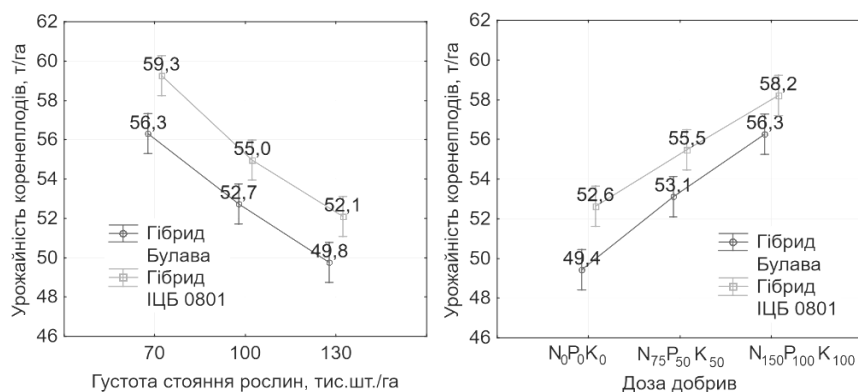


Рис. 6.20 Урожайність коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Збільшення густоти стояння рослин буряків цукрових супроводжувалось приростом концентрації цукрів у коренеплодах обох досліджуваних гібридів. Зокрема, підвищення густоти стояння рослин з 70 до 100 тис. шт./га дозволило підвищити цукристість гібридів 'Булава' та 'ІЦБ 0801' на 0,4 та (рис. 6.21). На більш загущених посівах (130 тис. шт./га) цукристість гібрида 'Булава' зростала на 0,4 %, а гібрида 'ІЦБ 0801' – на 0,8 %. Зі збільшенням дози внесення мінеральних добрив цукристість коренеплодів зменшувалась. Так, зі збільшенням дози добрив до $N_{75}P_{50}K_{50}$ та до $N_{150}P_{100}K_{100}$ цукристість коренеплодів гібрида 'Булава' зменшувалась на 0,4 та 1,4 % порівняно з контролем без добрив. За внесення $N_{75}P_{50}K_{50}$ цукристість гібрида 'ІЦБ 0801' зменшувалась з 20,0 до 19,5 %, подальше збільшення дози добрив до $N_{150}P_{100}K_{100}$ вело до зниження цукристості до рівня 18,8 відсотка.

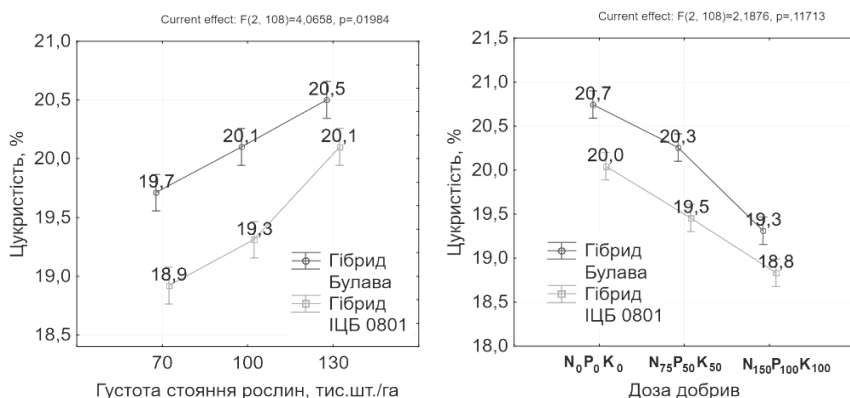


Рис. 6.21. Цукристість коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

За результатами дисперсійного аналізу було встановлено, що в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший вплив на варіювання врожайності гички мали погодні умови (31,3 %). Дещо меншим був вплив добрив (15,8 %) та густоти стояння рослин (10,1 %). Крім того, вплив густоти стояння рослин залежав від погодних умов, оскільки спільна дія цих двох факторів була причиною 21,9 % варіювання врожайності гички. За врожайністю гички різниця між гібридами була не істотною (рис. 6.22).

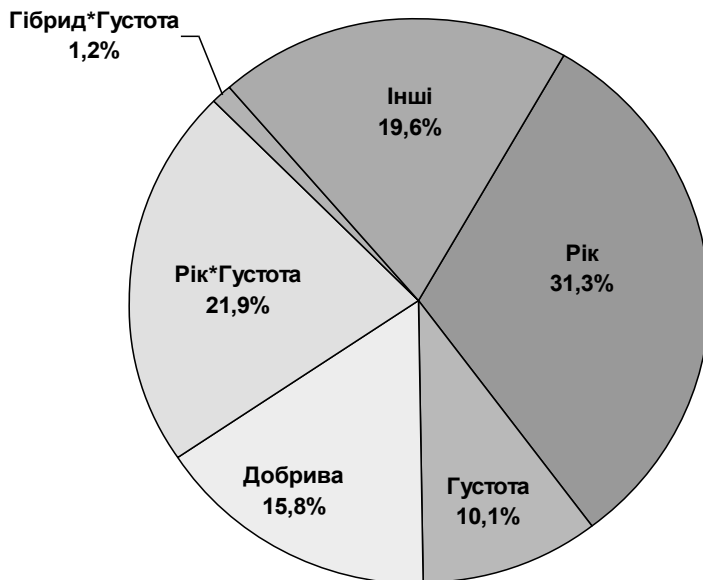


Рис. 6.22 Вплив досліджуваних факторів на урожайність гички буряків цукрових (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Урожайність коренеплодів значно менше залежала від погодних умов, ніж врожайність гички, лише 7,7 % варіювання цього показника залежало від умов року (рис. 6.23). Найбільший вплив на урожайність коренеплодів чинили густота стояння рослин (26,1 %), та добрива (21,3 %). Вплив особливостей досліджуваних гібридів склав лише 5,2 %. Реакція рослин буряків цукрових на дози добрив залежала від погодних умов – спільна дія цих двох факторів становила 8,9 %. Вплив густоти на врожайність коренеплодів також варіював залежно від погодних умов, оскільки вплив від спільної цих двох факторів становив 4,6 відсотка.

Вихід біостанолу з коренеплодів буряків цукрових мало залежить від густоти стояння рослин, оскільки зменшення врожайності коренеплодів, яке спостерігалось на більш загущених посівах компенсувалось приростом їх цукристості. Вихід біогазу зменшувався зі збільшенням густоти стояння рослин у досліді (рис. 6.24).

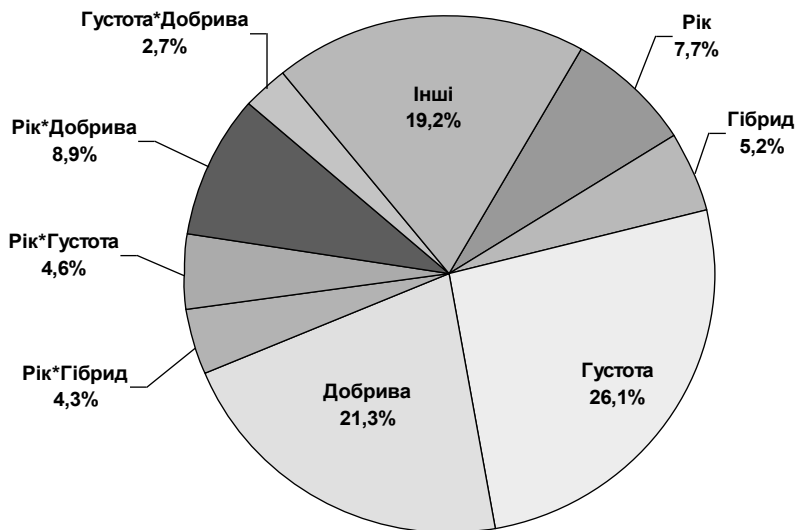


Рис. 6.23. Вплив досліджуваних факторів на урожайність гички буряків цукрових (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

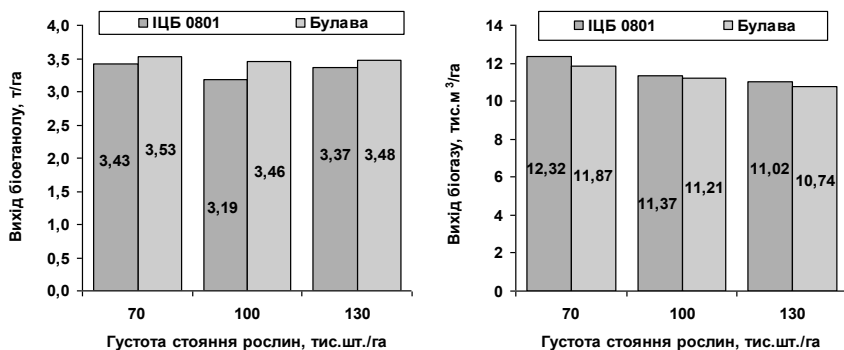


Рис. 6.24. Вихід біоетанолу та біогазу залежно від густоти стояння рослин буряків цукрових (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Так, збільшення густоти стояння рослин з 70 до 100 тис. шт. призводило до зменшення виходу біогазу з рослин гібрида 'ІЦБ 0801' з 12,32 до 11,37 тис. м³/га, гібрида 'Булава' – з 11,87 до 11,21 тис. м³/га. Це пояснюється тим, що зі збільшенням густоти стояння зменшується врожайність як коренеплодів буряків цукрових, так і їх листового апарату, який також використовується для виробництва біогазу. За розрахунковим виходом біоетанолу гібрид 'Булава' переважав показники гібрида 'ІЦБ 0801' за рахунок вищої цукристості останнього, водночас за виходом біогазу переважав гібрид 'ІЦБ 0801', оскільки рослини цього гібрида формували більшу врожайність біомаси.

Не суттєвим для даної зони виявився вплив мінеральних добрив на вихід біоетанолу. Так, внесення дози N₇₅P₅₀K₅₀ привело до зменшення виходу біоетанолу для гібрида 'ІЦБ 0801' з 3,30 до 3,29 т/га, для гібрида 'Булава' – до збільшення з 3,45 до 3,48 т/га (рис. 6.25).

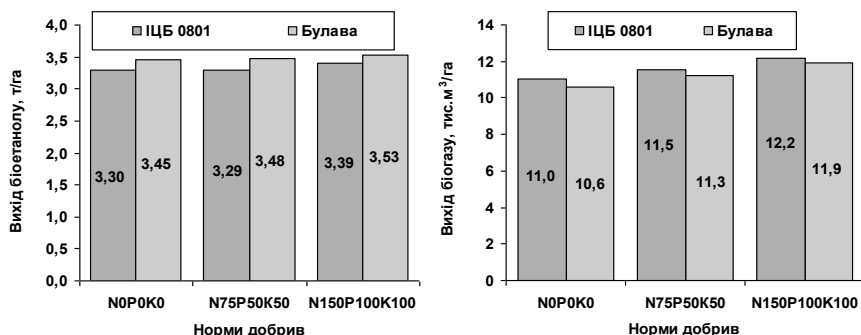


Рис. 6.25. Вихід біоетанолу та біогазу з буряків цукрових залежно від дози добрив (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Отже, в умовах нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України на енергетичні цілі доцільно вирощувати буряки цукрові гібридів 'ІБЦ 0801' і 'Булава' за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га та дози добрив N₇₅P₅₀K₅₀ в разі їх перероблення на біогаз, або без добрив – в разі їх перероблення на біоетанол.

6.4. Особливості формування енергетичної продуктивності рослин буряків цукрових на малопродуктивних землях

У зоні нестійкого зволоження Ялтушківської ДСС проводили дослідження з вивчення впливу дози добрив та густоти стояння рослин буряків цукрових на їх енергетичну продуктивність на землях з низьким рівнем родючості. Сівбу проводили насінням гібридів ‘Шевченківський’ та ‘Булава’.

За результатами досліджень встановлено, що продуктивність буряків цукрових значно залежить від дози добрив та густоти стояння рослин (табл. 6.8). Так, збільшення дози добрив призводить до підвищення урожайності листя буряків цукрових, найбільші показники якого досягаються за дози $N_{150}P_{100}K_{100}$.

Таблиця 6.8

Показники продуктивності рослин буряків цукрових залежно від сортових особливостей густоти стояння рослин та доз добрив (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Гібрид	Густота рослин, тис. шт./га	Доза добрив	Урожайність гички, т/га	Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %
‘Шевченківський’	70	без добрив	13,2	20,4	18,4
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	30,4	40,7	17,7
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	45,9	58,3	17,1
	100	без добрив	15,4	22,6	18,5
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	32,5	43,4	18,1
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	47	61,1	17,7
	130	без добрив	15,4	22,4	18,5
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	32,3	44	18,1
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	47,4	61,8	17,7
‘Булава’	70	без добрив	19,4	28,3	17,5
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	31,2	42,2	17,4
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	39,9	53,4	17,4
	100	без добрив	25,9	35,6	17,4
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	38,4	50,1	17,9
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	46,6	61,4	17,6
	130	без добрив	26,4	36,3	17,8
		N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	39,2	51,3	17,7
		N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	47,5	62,1	17,7
НІР _{0,05}			2,04	2,64	0,42

Максимальні значення врожайності гички буряків цукрових гібридів ‘Шевченківське’ (47,4 т/га) і ‘Булава’ (47,5 т/га) у середньому за три роки досягали за підвищеної густоти стояння рослин (130 тис. шт./га) та дозі добрив ($N_{150}P_{100}K_{100}$). На цьому ж варіанті досліду відмічали максимальні значення урожайності коренеплідів буряків цукрових: для гібрида ‘Шевченківський’ – 61,8 т/га; для гібрида ‘Булава’ – 62,1 т/га.

Максимальні значення цукристості відмічались на варіанті без застосування добрив за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га, за таких умов цукристість коренеплідів гібрида ‘Шевченківський’ становила 18,5 %, гібрида ‘Булава’ – 17,8 відсотка.

Зі збільшенням густоти стояння з 70 до 100 тис. шт./га врожайність гички гібрида ‘Булава’ зростала з 30,2 до 37,0 т/га, гібрида ‘Шевченківський’ – з 29,8 до 31,6 т/га (рис. 6.26). Збільшення густоти стояння рослин до 130 тис. шт./га суттєво не вплинуло на врожайність гички. На ґрунтах з низьким рівнем забезпечення елементами живлення особливо істотною була реакція врожайності гички на застосування добрив. Так, внесення дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$ дозволило збільшити врожайність гички гібрида ‘Булава’ з 23,9 до 36,3 т/га, а гібрида ‘Шевченківський’ – з 14,6 до 31,7 т/га. Подальше збільшення дози добрив до $N_{150}P_{100}K_{100}$ забезпечило зростання врожайності гички гібрида ‘Булава’ до 44,7 т/га, гібрида ‘Шевченківський’ – до 46,8 т/га.

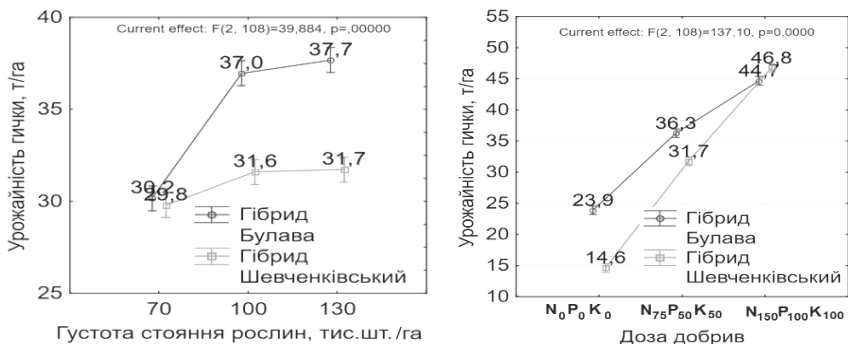


Рис. 6.26. Урожайність гички буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Аналогічні тенденції відмічались і за врожайністю коренеплодів (рис. 6.27). Зі збільшенням густоти стояння рослин з 70 до 100 тис. шт./га врожайність коренеплодів гібрида 'Булава' зростала з 41,3 до 49,0 т/га, гібрида 'Шевченківський' – з 39,8 до 42,4 т/га. Подальше збільшення густоти стояння рослин не суттєво підвищувало врожайність коренеплодів обох досліджуваних гібридів буряків цукрових. Зі збільшенням дози внесення мінеральних добрив врожайність коренеплодів зростала за лінійною залежністю. Так внесення $N_{75}P_{50}K_{50}$ забезпечило приріст врожайності коренеплодів гібрида 'Булава' з 33,4 до 47,9 т/га, гібрида 'Шевченківський' – з 21,8 до 42,7 т/га, а внесення $N_{150}P_{100}K_{100}$ дозволило підвищити врожайність коренеплодів гібридів 'Булава' та 'Шевченківський' до 59,0 та 60,4 т/га.

Зі збільшенням густоти стояння рослин спостерігалась тенденція до збільшення цукристості коренеплодів (рис. 6.28). Так, збільшення густоти стояння рослин з 70 до 100 тис. шт./га забезпечило приріст цукристості коренеплодів гібрида 'Булава' з 17,4 до 17,8 %, гібрида 'Шевченківський' – з 17,8 до 18,1 %. За більш загущених посівів цукристість гібрида 'Булава' продовжувала зростати і досягала 17,9 %, а цукристість коренеплодів буряків цукрових гібрида 'Шевченківський' залишалась на рівні 18,1 %. Водночас цукристість гібрида 'Шевченківський' суттєвіше залежала від доз мінеральних добрив, зі збільшенням яких цукристість цього гібрида зменшувалась. Так за внесення $N_{75}P_{50}K_{50}$ та $N_{150}P_{100}K_{100}$ цукристість коренеплодів гібрида 'Шевченківський' зменшувалась на 0,5 та 1,0 % порівняно з неудобреним контролем.

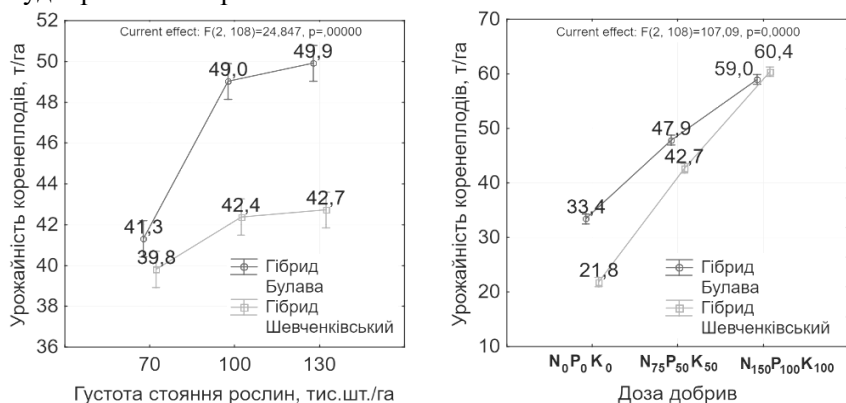


Рис. 6.27. Цукристість коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

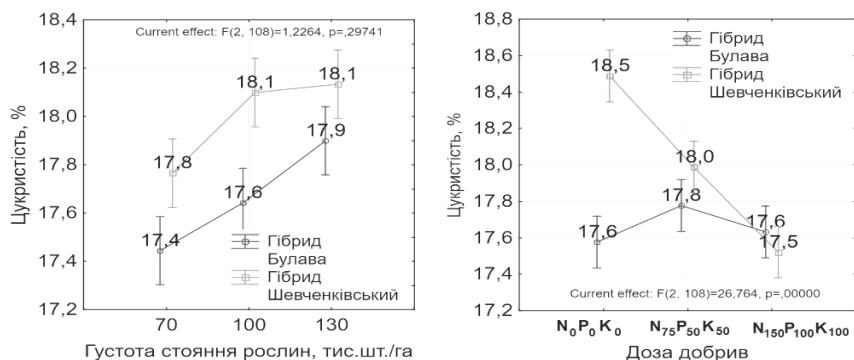


Рис. 6.28. Цукристість коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

За результатами дисперсійного аналізу встановлено (рис. 6.29), що за вирощування буряків цукрових на малопродуктивних землях в умовах недостатнього волого забезпечення найбільший вплив на варіювання врожайності гички чинять дози добрив (47,0 %), частка впливу погодних умов становить 30,0 %. Значно меншим виявився вплив особливостей гібридів (1,5 %) та густоти стояння рослин (1,8 %). Крім того, ефективність добрив залежала від умов року, оскільки спільна дія цих двох факторів на варіювання врожайності гички становила 4,9 відсотка.

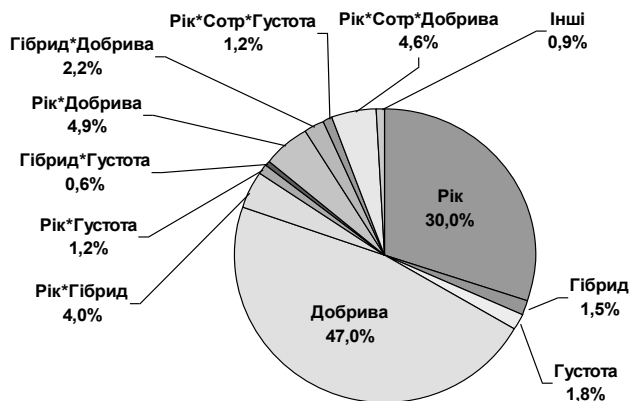


Рис. 6.29. Вплив досліджуваних факторів на урожайність гички буряків цукрових (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Ще вищим був вплив фактору добрив (59,1 %) на варіювання показника врожайності коренеплодів буряків цукрових, вирощених на малопродуктивних землях (рис. 6.30). На другому місці за ступенем впливу були погодні умови (16,6 %). Вплив густоти стояння рослин та особливостей гібридів на врожайність коренеплодів становив 2,3 та 2,2 % відповідно. Досить високим виявився ефект від спільної дії факторів погодні умови - особливості гібридів (4,8 %) та погодні умови - добрива (3,7 %).

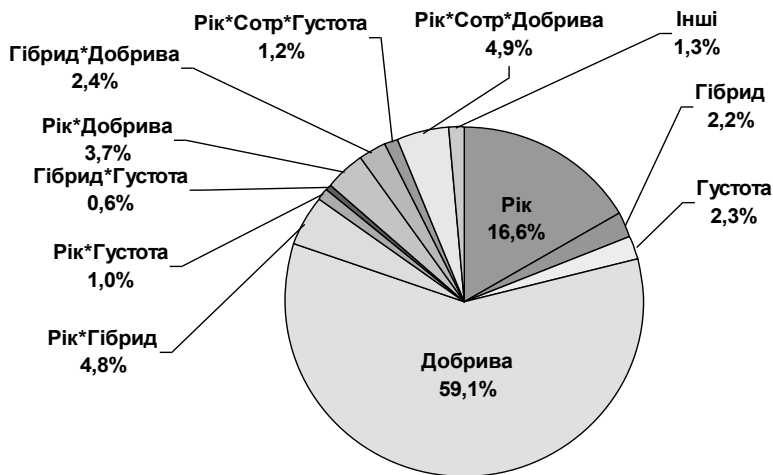


Рис. 6.30. Вплив досліджуваних факторів на урожайність коренеплодів буряків цукрових (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Таким чином, за вирощування буряків цукрових на малопродуктивних землях в умовах нестійкого забезпечення вологою вирішальну роль у формуванні високих стабільних врожаїв коренеплодів і гички відіграють добрива. Раціональною густотою стояння рослин для даної зони є 100 тис. шт./га, оскільки подальше збільшення густоти не впливає на врожайність гички і коренеплодів.

Густота стояння рослин також впливає і на вихід біоетанолу та біогазу. Так, найбільший вихід біоетанолу з коренеплодів буряків цукрових гібридів 'Шевченківський' та 'Булава' отримано за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га, що становить 3,50 та 3,97 т/га

відповідно, подальше збільшення густоти стояння рослин до 130 тис. шт./га не істотно вплинуло на вихід біоетанолу (рис. 6.31). За збільшення густоти стояння рослин з 70 до 100 тис. шт./га вихід біогазу зростає для гібрида ‘Шевченківський’ з 8,61 до 9,16 тис. м³/га, для гібрида ‘Булава’ – з 8,86 до 10,63 тис. м³/га. Збільшення густоти стояння рослин до 130 тис. шт./га не забезпечувало до істотного приросту виходу біогазу.

За вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива на малопродуктивних землях внесення мінеральних добрив сприяє істотному приросту виходу як біоетанолу так і біогазу, при цьому кількість рідкого та газоподібного біопалива, отриманого з буряків цукрових гібрида ‘Шевченківський’ зростає інтенсивніше зі збільшенням дози добрив ніж гібрида ‘Булава’ (рис. 6.32). Так, на контролі без добрив вихід біоетанолу та біогазу з 1 га посівів гібрида ‘Булава’ був вищим ніж з гібрида ‘Шевченківський’ і становив відповідно 2,7 т/га та 7,1 тис. м³/га, в той час як для гібрида ‘Шевченківський’ ці показники складали відповідно 1,85 т/га та 4,5 тис. м³/га. З внесенням N₇₅P₅₀K₅₀ різниця за показниками виходу біопалива між гібридами зменшується, а за внесення N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀ вихід біопалива (біогазу і біоетанолу) з рослин гібрида ‘Шевченківський’ перевищує показники гібрида ‘Булава’. Так на варіанті з внесенням дози N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀ вихід біоетанолу і біогазу з рослин буряків цукрових гібрида ‘Булава’ становить відповідно 4,76 т/га і 12,8 тис. м³/га, а гібрида ‘Шевченківський’ – відповідно 4,86 т/га та 13,2 тис. м³/га.

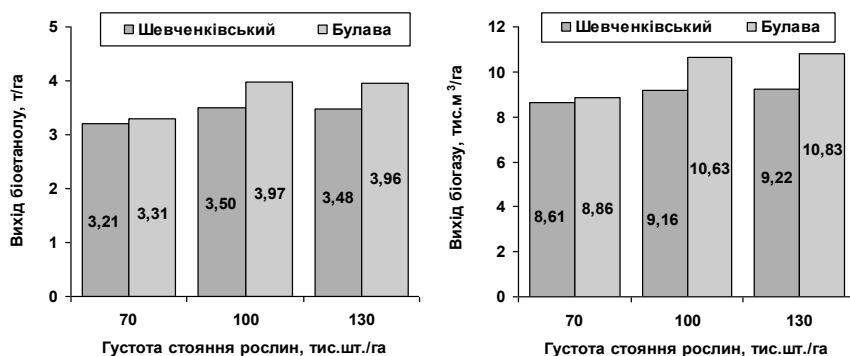


Рис. 6.31. Вихід біопалива залежно від густоти стояння рослин буряків цукрових (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

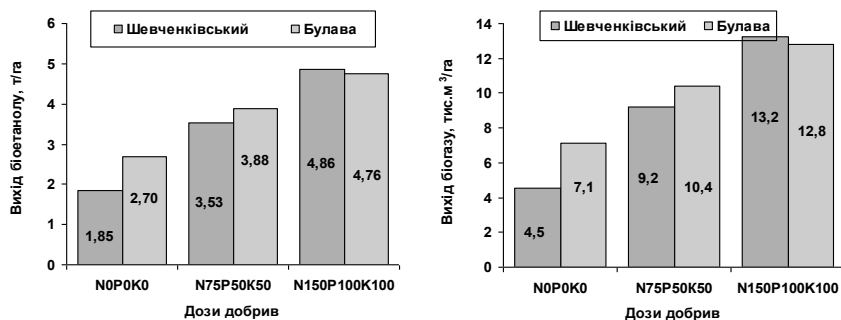


Рис. 6.32. Вихід біопалива з буряків цукрових залежно від дози добрив (Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Отже, за вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива на маргінальних землях доцільно використовувати гібриди 'Булава' та 'Шевченківський' з оптимальною густотою стояння рослин 100 тис.шт./га та внесенням мінеральних добрив у дозі $N_{150}P_{100}K_{100}$.

Висновки до розділу

1. Найбільша врожайність коренеплодів сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' (49,0 т/га) та гібрида 'Олександрія' (53,1 т/га) досягалася за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Незважаючи на те, що врожайність коренеплодів гібрида 'Олександрія' була вищою ніж сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' розрахунковий вихід біоетанолу був майже однаковим, оскільки цукристість коренеплодів сорту була вищою. Максимальний розрахунковий вихід біогазу з гички на час збирання буряків цукрових можна отримати за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га. В загущених посівах із гички сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' можна отримати понад 2,6 тис. м³/га біогазу, а із гички гібрида 'Олександрія' – понад 2,4 тис. м³/га. Максимальний вихід біоетанолу з коренеплодів буряків цукрових сорту 'Білоцерківський однонасінний 45' (5,79 т/га) та гібрида 'Олександрія' (6,47 т/га) було досягнуто за внесення добрив у дозі $N_{120}P_{150}K_{150}$.

2. У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України для виробництва твердого і рідкого біопалива доцільно вирощувати буряки

цукрові гібрида ‘Булава’ з густотою стояння рослин 100 - 130 тис. шт./га за внесення добрив у дозі $N_{75}P_{50}K_{50}$, що забезпечує врожайність коренеплодів 50 - 51 т/га, гички – 20 - 22 т/га, цукристість коренеплодів – 18,5 - 18,6 %, вихід біоетанолу – 4,31 - 4,38 т/га та вихід біогазу – 9,11 - 9,54 тис. m^3 /га.

3. Найбільшої врожайності коренеплодів буряків цукрових гібридів ‘ЩБ 0801’ (59,3 т/га) та ‘Булава’ (56,3 т/га) у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України отримано за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га за найбільшої дози добрив в досліді $N_{150}P_{100}K_{100}$. Максимальні значення цукристості отримано на варіанті без внесення добрив за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га. Оптимальні значення виходу біопалива забезпечуються за вирощування гібридів ‘ІБЦ 0801’ і ‘Булава’ за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га та дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$ в разі їх перероблення на біогаз, або без добрив – в разі їх перероблення на біоетанол.

4. На малопродуктивних ґрунтах західної частини Лісостепу України продуктивність буряків цукрових зростає пропорційно до збільшення дози мінеральних добрив. Максимальна врожайність коренеплодів та гички гібридів ‘Шевченківський’ (відповідно 61,8 та 47,4 т/га) і ‘Булава’ (відповідно 62,1 та 47,5 т/га) отримано за дози добрив $N_{150}P_{100}K_{100}$ та густоти стояння рослин 130 тис. шт./га. Найбільшої цукристості коренеплодів (17,8 - 18,5 %) отримано на варіанті з максимальною густотою стояння без внесення мінеральних добрив. Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу з гібридів ‘Шевченківський’ та ‘Булава’ отримано за густоти стояння рослин 100 - 130 тис. шт./га, що становить 3,50 та 4,0 т/га відповідно.

РОЗДІЛ 7

АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ

Для середньоєвропейського помірного клімату буряки цукрові залишаються однією з найбільш перспективних культур. Цукромістка біомаса буряків може використовуватись для виробництва рідких (біоетанол) та газоподібних (біометан) видів біопалива, при цьому використовуються як коренеплоди, так і гичка рослин [39, 47, 49, 100, 103, 152, 187, 215]. Інтерес до енергетичних буряків цукрових зріс після внесення змін до законодавства Німеччини щодо відновлювальних джерел енергії (EEG 2012), згідно яких масова частка кукурудзи у живильному субстраті для біогазових установок повинна становити не більше 60 % [38, 48, 60, 126, 133, 149, 160, 165, 198]. З огляду на це замість силосної кукурудзи почали активніше використовувати біомасу буряків цукрових, яка вирізняється високим коефіцієнтом віддачі метану. Водночас для ефективної роботи біогазових комплексів важливо організувати надходження біомаси коренеплодів та гички безпосередньо з полів до метантенків, що дозволить зменшити собівартість виробництва біогазу за рахунок зменшення логістичних витрат на зберігання сировини. Реалізація принципу «зеленого конвеєра» дозволить зменшити втрати енергетично корисних речовин під час зберігання врожаю буряків цукрових (коренеплодів і гички). У зв'язку з цим питання вивчення строків збирання біомаси буряків цукрових для виробництва біопалив набувають особливої актуальності.

У 2016 - 2018 рр. було проведено польові дослідження з оцінки енергетичного потенціалу сучасних гібридів буряків цукрових як сировини для виробництва біоетанолу та біогазу, визначено фактори, що впливають на процеси розвитку рослин та формування їх продуктивності. Дослідження проводились на малопродуктивних землях у західній частині Лісостепу України (Ялтушківська ДСС) та в умовах нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (Білоцерківська ДСС).

7.1. Особливості накопичення енергетично корисних речовин у буряків цукрових вирощених на малопродуктивних землях

Запровадження принципів сталого розвитку спонукає до вирощування біоенергетичних культур на малопродуктивних деградованих землях, що дозволить уникнути конкуренції з вирощуванням традиційних сільськогосподарських культур. Тому, актуальним постає питання вивчення можливості ефективного вирощування буряків цукрових для виробництва біопалива на землях з низьким вмістом гумусу.

Дослідження проводили на сірих опідзолених, грубопилуватих середньосуглинкових ґрунтах Ялтушківської ДСС, що знаходиться у зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України. Для досліджень використовували гібриди буряків цукрових ‘Булава’, ‘Герой’, ‘Козак’, які внесені до Державного реєстру сортів рослин України [294].

Визначено, що врожайність буряків цукрових залежить від сортових особливостей, строків збирання, а також погодних умов. Так, в умовах середньої посухи ($ГТК = 0,6$) 2016 року найбільшої врожайності коренеплодів та збору цукру отримано за пізнього строку збирання врожаю – перша декада жовтня, водночас приріст врожаю коренеплодів та збору цукру становив відповідно 3,2 - 5,6 т/га та 0,7 - 1,6 т/га у порівнянні з попереднім строком збирання (ІІІ декада вересня). Цукристість коренеплодів гібрида ‘Булава’ виявилася більшою за їх збирання у кінці вересня і становила 20,4 %, у той час, як для інших досліджуваних гібридів цукристість досягала максимальних значень на початку жовтня (табл. 7.1). Аналогічна тенденція спостерігалася у 2017 та 2018 роках.

У 2017 році спостерігалася сильна посуха ($ГТК = 0,5$) що негативно вплинуло на ріст і розвиток рослин буряків цукрових. Опади, що мали місце у вересні - жовтні у кількості близькій до середньо-багаторічних значень забезпечили приріст урожайності коренеплодів та зменшення вмісту в них цукрів. Найвищу цукристість коренеплодів у цей рік забезпечили гібриди ‘Герой’ (за збирання у кінці вересня) – 19,0 % та ‘Булава’ 18,9 % (за збирання у середині вересня). За рахунок приросту врожайності у кінці вересня - початку жовтня отримано найбільше розрахункове значення збору цукру у гібрида ‘Козак’ (9,0 т/га), порівняно з іншими строками збирання. За збором цукру гібриди ‘Герой’ та ‘Булава’ децю поступалися перед гібридом ‘Козак’.

Таблиця 7.1

Показники продуктивності буряків цукрових залежно від особливостей гібрида і строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Гібрид	Строк збирання (декада/ місяць)	Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га
Булава	I/09	48,7	18,1	8,8
	II/09	50,2	18,8	9,4
	III/09	51	18,9	9,6
	I/10	55,3	18,6	10,2
Герой	I/09	48	18	8,6
	II/09	49,2	18,6	9,1
	III/09	50,4	18,9	9,5
	I/10	53,1	18,7	9,9
Козак	I/09	46,5	18,2	8,4
	II/09	47,4	18,4	8,7
	III/09	48,6	18,6	9
	I/10	54,2	18,9	10,2
НІР _{0,05}		1,1	0,43	0,39

У сприятливих за вологозабезпеченням умовах 2018 року (ГТК = 0,96) найбільш урожайним у досліді був гібрид ‘Булава’, водночас за цукристістю коренеплодів вищезгаданий гібрид поступався перед іншими гібридами що вивчалися.

У середньому за три роки досліджень найбільшу врожайність коренеплодів (55,3 т/га) отримано за вирощування гібрида ‘Булава’ і збирання врожаю на початку жовтня (рис. 7.1), врожайність буряків цукрових гібридів ‘Герой’ та ‘Козак’ виявилася відповідно на 2,2 та 1,1 т/га нижчою. Максимальний вміст цукрів у коренеплодах становив 18,9 %, однак для гібридів ‘Булава’ та ‘Герой’ цей показник досягав максимуму у третій декаді вересня, а для гібрида ‘Козак’ – на початку жовтня. Цьому сприяли рясні опади, які мали місце у другій половині вегетації рослин.

Зі зміщенням строків збирання на більш пізній період врожайність коренеплодів і збір цукру в середньому за роки досліджень зростали і сягала максимуму на кінець вегетації рослин (початок жовтня), коли буряки цукрові досягали фізіологічної стиглості. За збором цукру лідерами виявилися гібриди ‘Булава’ (10,3 т/га) і ‘Козак’ (10,2 т/га), дещо поступався перед ними гібрид ‘Герой’ (9,9 т/га).

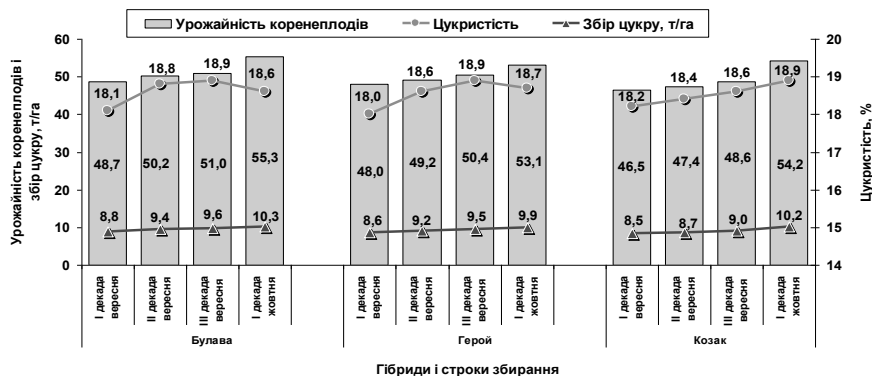


Рис. 7.1. Динаміка формування продуктивності буряків цукрових залежно від сортових особливостей та строків збирання біомаси (Я ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Таким чином, формування енергетично корисних вуглеводів у коренеплодах буряків цукрових досліджуваних гібридів на малопродуктивних ґрунтах відбувається рівномірно до настання фази фізіологічної їх стиглості, водночас вирішальну роль у формуванні збору цукру відігравали погодні умови, які виявилися дуже строкатими за роки проведення досліджень ($ГТК = 0,51 - 0,96$).

Погодні умови вплинули на формування енергетичної продуктивності буряків цукрових, оскільки за виходом біопалива та енергії показники 2018 року значно перевищували відповідні показники 2016 - 2017 рр. (табл. 7.2).

Серед гібридів, з якими проводилось дослідження, дещо кращим для переробки на біоетанол та за показниками виходу енергії виявились гібриди 'Булава' та 'Козак' за рахунок вищої врожайності коренеплодів та високої їх цукристості. Так, в середньому за роки проведення досліджень вихід біоетанолу з коренеплодів гібридів 'Булава' та 'Герой' за першого строку збирання становив 4,0 т/га, у гібрида 'Козак' цей показник був дещо нижчим (3,9 т/га). Проте вже на кінець вегетації розрахунковий вихід біоетанолу з коренеплодів гібридів 'Булава' та 'Козак' був однаковим і склав 4,7 т/га, випередивши аналогічний показник для гібрида 'Герой' лише на 0,1 т/га.

Практично однаковим для досліджуваних гібридів буряків цукрових виявився вихід енергії з одиниці площі. Так, за збирання біомаси для трьох гібридів вихід енергії варіював у межах від 96,8 до 100,7 ГДж/га, і досягав найвищих значень за настання фізіологічної зрілості коренеплодів – від 113,7 до 117,4 ГДж/га.

Таблиця 7.2

**Зведені значення виходу біоетанолу та енергії з буряків
цукрових (Я ДСС, 2016 - 2018 рр.)**

Гібрид	Строки збирання (декада/ місяць)	Вихід біоетанолу з коренеплодів, т/га	Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га
‘Булава’	I/09	4,0	100,7
	II/09	4,3	108,3
	III/09	4,4	110,0
	I/10	4,7	117,4
‘Герой’	I/09	4,0	99,1
	II/09	4,2	104,6
	III/09	4,4	109,1
	I/10	4,6	113,7
‘Козак’	I/09	3,9	96,8
	II/09	4,0	100,0
	III/09	4,2	103,7
	I/10	4,7	117,1

У разі використання буряків на біопаливо у вересні доцільно вирощувати гібрид ‘Булава’, адже вихід енергії з нього за усіх перших трьох строків збирання є найбільшим відповідно 100,7, 108,3, 110,0 ГДж/га.

Отже, в зоні нестійкого зволоження на малопродуктивних землях західної частини Лісостепу України в умовах Ялтушківської ДСС дещо кращим за роки досліджень, як за урожайністю, так і за виходом енергії з коренеплодів, був гібрид ‘Булава’.

Строкатість погодних умов за роки проведення досліджень дозволила встановити залежність виходу біопалива та енергії від гідротермічного коефіцієнта Селянінова (рис. 7.2). Встановлено тісний кореляційний зв'язок між значеннями ГТК та виходом біоетанолу і енергії ($R^2=0,956 - 0,990$). Для усіх досліджуваних гібридів буряків цукрових відмічалась лінійна залежність між виходом біоетанолу та енергії і значеннями ГТК, при цьому зі збільшенням ГТК (кращим волого забезпеченням) вихід біоетанолу і енергії з біомаси зростав.

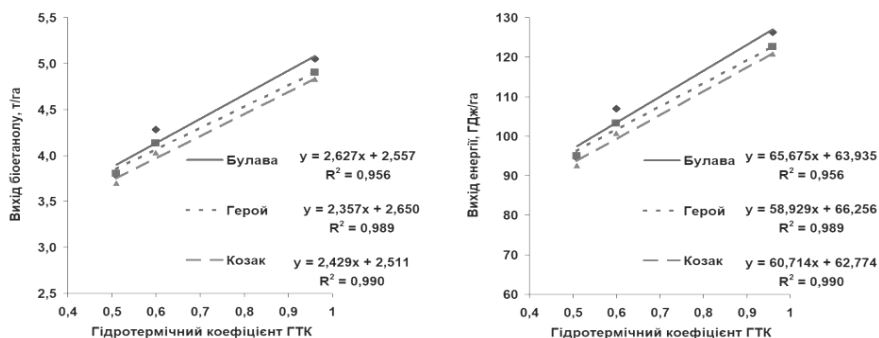


Рис. 7.2. Залежність виходу біопалива та енергії з буряків цукрових від гідротермічного коефіцієнта Селянінова (Я ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Встановлені залежності дозволяють спрогнозувати кількість біоетанолу, яку можна отримати вирощуючи буряки цукрові гібридів 'Булава', 'Герой' та 'Козак' на ґрунтах з низьким вмістом гумусу залежно від погодних умов.

7.2. Динаміка накопичення енергетично цінної біомаси буряків цукрових у центральній частині Лісостепу України

Білоцерківська ДСС знаходиться у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України. Дослідне поле БЦ ДСС розміщене на чорноземах типових крупнопилуватого середньосуглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з вмістом гумусу в орному шарі (0 - 30 см) – 3,9 відсотка.

У 2016 - 2018 рр. проводились дослідження зі встановлення залежності продуктивності гібридів буряків цукрових ('Булава', 'Злука' і 'Константа') та їх енергетичної цінності від сортових особливостей та строків збирання.

Встановлено, що починаючи з липня площа листової поверхні досліджуваних гібридів буряків цукрових зменшувалася. Так, станом на початок липня площа листя у гібрида 'Константа' складала 41,0 тис. м²/га, проте на початку серпня та вересня площа зменшилась відповідно до 32,8 та 25,9 тис. м²/га (табл. 7.3). Така ж тенденція була характерною для гібридів 'Злука' і 'Булава', площа листя яких була відповідно на 4,0 і 9,6 % меншою ніж у гібрида 'Константа'.

Таблиця 7.3

**Динаміка маси рослин та площі листової поверхні буряків
цукрових залежно від особливостей гібридів
(БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)**

Показники	Строки збирання	‘Булава’	‘Злука’	‘Константа’
Листкова поверхня, тис. м ² /га	I/07	39,4	40,4	41
	I/08	29	32	32,8
	I/09	21,7	23,2	25,9
НІР _{0,05}		2,3	2,3	2,3
Маса рослини, г	I/07	491	516,3	521,3
	I/08	596,7	626	637,7
	I/09	660	701	730,7
НІР _{0,05}		12,3	12,3	12,3

Більша площа листової поверхні створила передумови для інтенсивнішого росту коренеплодів буряків цукрових. Так, за загальним ростом коренеплодів та гички в умовах БЦ ДСС краще проявив себе гібрид ‘Константа’, середня маса рослин якого на початок вересня складала 730,7 г. Середня маса рослин у гібридів ‘Злука’ та ‘Булава’ була істотно нижчою відповідно на 29,7 та 70,7 г (за НІР_{0,05}=12,3 г) ніж у гібрида ‘Константа’. Перевага за масою рослин гібрида ‘Константа’ перед іншими гібридами спостерігалась також у попередні місяці (липні та серпні).

Починаючи з липня спостерігалось зменшення врожайності гички (табл. 7.4), найвищі значення якої відмічались у рослин гібрида ‘Константа’ (39,4 т/га). Зі зменшенням площі листової поверхні зменшувався фотосинтетичний потенціал рослин буряків цукрових від 1,5 млн м²/доб·га на початку липня, до 0,9 - 1,1 млн м²/доб·га – на початку вересня. Зменшення фотосинтетичного потенціалу відбувалось практично однаково для усіх досліджуваних гібридів буряків цукрових. Водночас чиста продуктивність фотосинтезу зростала від 5,5 - 5,9 г/м²·доб на початку липня до 9,7 - 11,7 г/м²·доб – на початку вересня. При цьому найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу відмічались у рослин гібрида ‘Константа’ (11,7 г/м²·доб).

Збільшення чистої продуктивності фотосинтезу забезпечувало активне наростання маси коренеплоду, яка за два місяці (липень - серпень) зросла у 2,3 - 2,4 раза. Так, середня за гібридами

врожайність коренеплодів станом на першу декаду липня складала 19,1 т/га, через один місяць врожайність вже сягала 35,8 т/га, а на початок вересня – 44,8 т/га. Найвищу врожайність коренеплодів на початок вересня прогнозовано сформував гібрид ‘Константа’ (47,3 т/га).

Окрім збільшення маси коренеплодів у період липень - серпень відмічалось підвищення концентрації у них сухої речовини, особливо активно приріст цього показника відмічався у липні. Так, впродовж липня суха речовина у коренеплодах буряків цукрових зросла у середньому від 16,2 % (початок липня) до 23,2 % (початок серпня), тобто на 43,2 %. За наступний місяць вміст сухої речовини зріс до 24,6 % (станом на початок вересня), тобто на 6 відсотків.

Маса листового апарату рослин буряків цукрових продовжувала зменшуватись і станом на початок жовтня для гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ складала відповідно 183, 204 і 217 г, водночас одним місяцем раніше ці показники складали відповідно 233, 244 і 254 г (табл. 7.5). Перевагу за масою листя впродовж усіх обліків зберігав за собою гібрид ‘Константа’.

Таблиця 7.4

**Продуктивність та фотосинтетичний потенціал буряків
цукрових залежно від особливостей гібрида
(БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)**

Гібрид	Строки збирання	Урожайність коренеплодів, т/га	Суха речовина в коренеплодах, %	Урожайність гички, т/га	Суха речовина в гичці, %	Фотосинтетичний потенціал, млн м ² /доб·га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² доб
‘Булава’	I/07	17,4	16,4	34,1	14,1	1,5	5,5
	I/08	34,3	23,1	29,3	18,7	1,2	7,2
	I/09	41,9	24,3	23,8	21,6	0,9	9,7
‘Злука’	I/07	19,6	15,9	37,1	12,7	1,5	5,9
	I/08	36,3	23,2	30,3	18,0	1,3	8,7
	I/09	45,2	24,5	24,8	21,0	1,0	11,0
‘Константа’	I/07	20,4	16,4	39,4	12,2	1,5	5,7
	I/08	36,9	23,2	30,7	17,0	1,3	8,8
	I/09	47,3	25,1	25,4	20,1	1,1	11,7
НІР _{0,05}		1,5	0,5	0,8	0,5	0,1	0,31

Найбільші значення сухої речовини у гичці буряків цукрових відмічались у середині вересня і варіювали від 20,6 % (гібрид ‘Константа’) до 21,7 % (гібрид ‘Булава’). Після цього, суха речовина у гичці починає стрімко зменшуватись і станом на початок жовтня складає для гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ відповідно 16,9, 16,7 і 15,9 %. Таким чином найвищий вміст сухої речовини відмічався у гичці рослин гібрида ‘Булава’.

Відповідно до зменшення маси листкового апарату рослин буряків цукрових зменшувалась і врожайність гички, яка на кінець вегетації складала 18,2, 20,3 та 21,7 т/га відповідно для гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’. Таким чином за місяць врожайність гички зменшилась у середньому на 23 %, що негативно вплинуло на вихід біогазу. Слід відмітити, що за несприятливих погодних умов 2016 року врожайність гички була особливо низькою.

Таблиця 7.5

Формування продуктивності гички гібридів буряків цукрових залежно від гібрида та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Показники	Строки збирання	‘Булава’	‘Злука’	‘Константа’
Середня маса гички, г	I/09	233	244	254
	II/09	232	241	250
	III/09	213	226	238
	I/10	183	204	217
НІР _{0,05}		5	5	5
Вміст сухих речовин в гичці, %	I/09	19,7	19	18,1
	II/09	21,7	20,9	20,6
	III/09	19,2	18,6	18,6
	I/10	16,9	16,7	15,9
НІР _{0,05}		1,2	1,2	1,2
Врожайність гички, т/га	I/09	23,8	24,8	25,4
	II/09	23	24	25
	III/09	21,1	22,4	23,6
	I/10	18,2	20,3	21,7
НІР _{0,05}		0,5	0,5	0,5

Впродовж вересня продовжують наростати розміри коренеплодів. Так, якщо на початку вересня діаметр коренеплодів гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ складав відповідно 7,8, 8,2 і 8,4 см, то вже через місяць він досяг 8,4, 8,9 і 9,4 см відповідно (табл. 7.6). Таким чином приріст діаметра для гібридів ‘Булава’ і ‘Злука’ за цей період складав 0,20 - 0,23 мм/доб., а гібрида ‘Константа’ – 0,33 мм/доб.

Таблиця 7.6

**Формування продуктивності коренеплодів буряків
цукрових (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)**

Показники	Строки збирання	‘Булава’	‘Злука’	‘Константа’
Діаметр коренеплодів, см	I/09	7,8	8,2	8,4
	II/09	8,1	8,5	9
	III/09	8,3	8,8	9,2
	I/10	8,4	8,9	9,4
H _P 0,05		0,15	0,18	0,25
Довжина коренеплодів, см	I/09	27,5	28,2	29
	II/09	29,4	31,5	33,1
	III/09	30,2	32,4	33,8
	I/10	30,4	32,7	34
H _P 0,05		0,73	1,13	1,25
Середня маса коренеплодів, г	I/09	427	457	484
	II/09	460	494	518
	III/09	483	519	548
	I/10	496	535	568
H _P 0,05		17,3	19,5	21
Врожайність коренеплодів, т/га	I/09	41,9	45,2	47,3
	II/09	45,3	48,9	51,6
	III/09	47,5	51,1	53,9
	I/10	48,9	53,1	56,5
H _P 0,05		1,75	1,98	2,3
Цукристість, %	I/09	17,4	17,4	17,7
	II/09	16,4	16,4	16,1
	III/09	16,2	15,9	16,6
	I/10	15,2	15,5	16,2
H _P 0,05		0,55	0,48	0,48
Вміст сухих речовин в коренеплодах , %	I/09	24,3	24,5	25,1
	II/09	22,3	22,4	22,1
	III/09	22,4	22,5	23,1
	I/10	20,6	20,4	21,3
H _P 0,05		0,93	1,03	0,95

Водночас зі зростанням діаметра збільшувалась довжина коренеплодів. Так, якщо на початку вересня середня за три роки довжина коренеплодів гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ складала відповідно 27,5, 28,2 і 29,0 см, то вже на початку жовтня довжина зросла до 30,4, 32,7 і 34,0 см відповідно. Найінтенсивніше зростала довжина коренеплодів у гібрида ‘Константа’ – у середньому 1,7 мм/доб., найповільніше у гібрида ‘Булава’ – 1,0 мм/доб.

Внаслідок збільшення розмірних характеристик коренеплодів зростала їх маса, а відтак і урожайність. У середньому за місяць приріст маси коренеплодів складав для гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ відповідно 2,3, 2,6 і 2,8 г/доб., досягнувши на початок жовтня 496, 535 і 568 г. Таким чином, зміщення строків збирання на місяць (з початку вересня на початок жовтня) дозволило підвищити врожайність коренеплодів гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ відповідно на 7,0, 7,9 і 9,2 т/га. Найбільша у досліді врожайність коренеплодів станом на першу декаду жовтня відмічалась у гібрида ‘Константа’ (56,5 т/га), найменша – у гібрида ‘Булава’ (48,9 т/га).

Зі збільшенням розмірно-масових показників, що відмічалось упродовж вересня, концентрація енергетично корисних речовин у коренеплодах буряків цукрових зменшувалась. Так, цукристість коренеплодів гібрида ‘Булава’ зменшилася від 17,4 до 15,2 %, гібрида ‘Злука’ – від 17,4 до 15,5 % і гібрида ‘Константа’ – від 17,7 до 16,2 %. Найбільше цукрів втратили за цей час коренеплоди гібрида ‘Булава’ (2,2 %), найменше – гібрида ‘Константа’ (1,5 %). Зменшення цукристості коренеплодів негативно впливає на вихід біоетанолу.

Окрім цукристості у коренеплодах зменшувалась суха речовина у середньому на 3,9 %. Так, якщо станом на початок вересня суха речовина в коренеплодах гібридів ‘Булава’, ‘Злука’ і ‘Константа’ складала відповідно 24,3, 24,5 і 25,1 %, то на початок жовтня зменшилась до 20,6, 20,4 і 21,3 %. Зменшення сухої речовини зменшує цінність біомаси буряків цукрових для виробництва біогазу.

Слід відмітити, що за розмірно-масовими характеристиками рослини буряків цукрових вирощених у 2016 році значно поступалися перед рослинами, вирощеними у 2017, а особливо 2018 році, проте за якісними показниками (цукристістю і сухою речовиною) коренеплоди сформовані у посушливому 2016 році були кращими.

Встановлено, що залежність урожайності коренеплодів від тривалості періоду їх вегетації апроксимується логарифмічними рівняннями (рис. 7.3.). Зокрема, для визначення урожайності

коренеплодів залежно від тривалості вегетаційного періоду для гібрида ‘Константа’ можна скористатись рівнянням: $y = 43,40 \cdot \ln(x) - 164,36$; гібрида ‘Злука’ – $y = 40,15 \cdot \ln(x) - 150,77$; гібрида ‘Булава’ – $y = 37,69 \cdot \ln(x) - 142,09$, де y – урожайність коренеплодів, т/га; x – тривалість періоду вегетації, діб.

Логарифмічні залежності з високим рівнем достовірності описують експериментальні дані ($R^2 > 0,99$). Значення коефіцієнтів рівнянь свідчать, що гібрид ‘Константа’ відзначається найінтенсивнішим приростом врожайності ($b=43,4$), натомість гібрид ‘Булава’ накопичував найменшу кількість біомаси за одиницю часу ($b=37,69$).

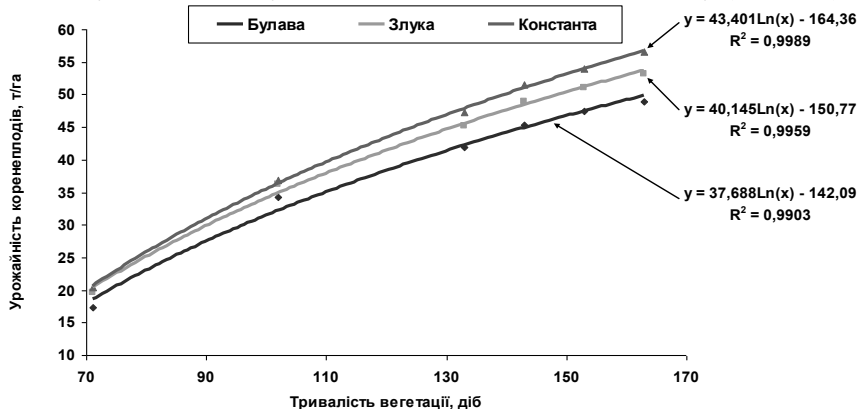


Рис. 7.3. Залежність врожайності коренеплодів буряків цукрових від сортових особливостей і вегетаційного періоду рослин (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Динаміка накопичення сухої речовини у коренеплодах буряків цукрових досліджуваних гібридів була ідентичною (рис. 7.4). Залежність концентрації сухої речовини від тривалості вегетаційного періоду з високою точністю ($R^2 > 0,91$) описується поліномом другого порядку, функція якого досягає максимального значення на 120 - 130 добу після появи сходів для усіх гібридів, які вивчались у даному досліді.

Динаміка накопичення біомаси гички, як і коренеплодів з високою точністю ($R^2 > 0,97$) описується логарифмічними залежностями, проте з від'ємними коефіцієнтами, оскільки врожайність гички з початку липня зменшується (рис. 7.5). Так, врожайність гички для гібрида ‘Булава’ можна спрогнозувати, скориставшись залежністю $y =$

$18,20 \cdot \ln(x) + 112,47$, для гібрида ‘Злука’: $y = -19,66 \cdot \ln(x) + 121,06$ та для гібрида ‘Константа’: $y = -20,63 \cdot \ln(x) + 126,86$, де y – урожайність гички, т/га; x – тривалість періоду вегетації, діб.

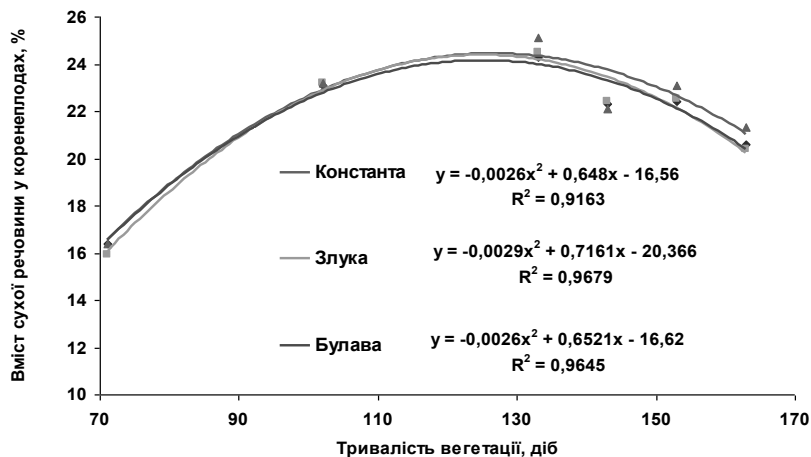


Рис. 7.4. Динаміка вмісту сухої речовини у коренеплодах буряків цукрових (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

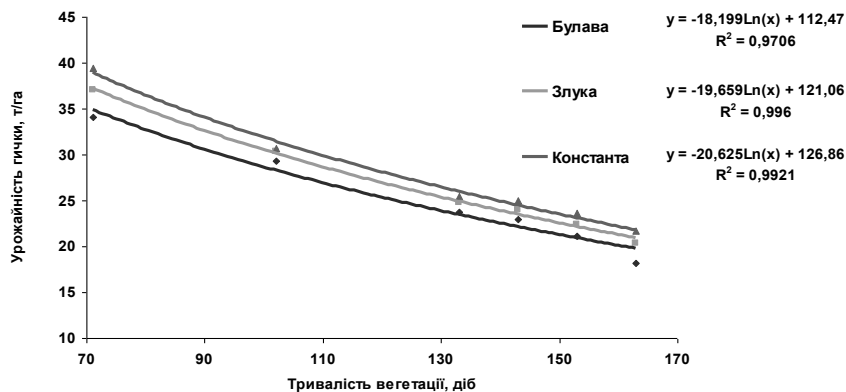


Рис. 7.5. Врожайність гички залежно від сортових особливостей та періоду вегетації буряків цукрових (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Вміст сухої речовини у гичці залежно від тривалості вегетації рослин буряків цукрових з високою точністю ($R^2 > 0,9$) апроксимується поліномом другого порядку, який для усіх досліджуваних гібридів досягає максимуму на 125 - 130 добу після появи сходів (рис. 7.6.). При цьому, вміст сухої речовини можна спрогнозувати використавши залежності: для гібрида 'Константа': $y = -0,0025x^2 + 0,6508x - 21,642$, для гібрида 'Злука': $y = -0,0027x^2 + 0,6795x - 22,399$ та для гібрида 'Булава': $y = -0,0026x^2 + 0,6589x - 19,863$, де y – суха речовина гички, %; x – тривалість періоду вегетації, діб.

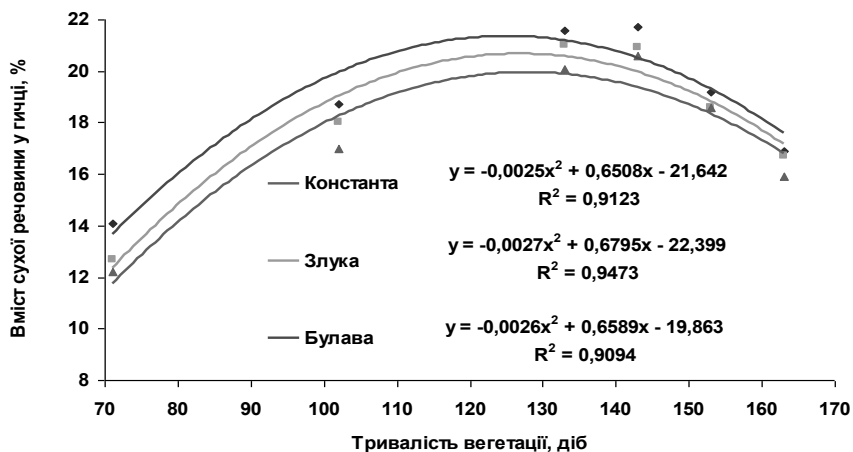


Рис. 7.6. Динаміка вмісту сухої речовини у гичці буряків цукрових (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

На основі врожайності коренеплодів та гички буряків цукрових та вмісту в них сухої речовини провели розрахунок виходу біогазу з одиниці площі. Результати досліджень свідчать, що залежність кількості біогазу, яку можна отримати з 1 га посівів буряків цукрових від тривалості їх вегетації з високою точністю ($R^2 > 0,91$) описується поліномами другого роду, при цьому максимальне значення функцій знаходиться в діапазоні 125 - 135 діб після появи сходів (рис. 7.7).

Кількість отриманого біогазу можна спрогнозувати за допомогою залежностей: для гібрида 'Булава': $y = -0,015x^2 + 0,3848x - 14,63$; для гібрида 'Злука': $y = -0,015x^2 + 0,3986x - 15,361$ та для гібрида 'Константа': $y = -0,013x^2 + 0,3592x - 13,413$, де y – вихід біогазу, тис. м³/га; x – тривалість періоду вегетації, діб.

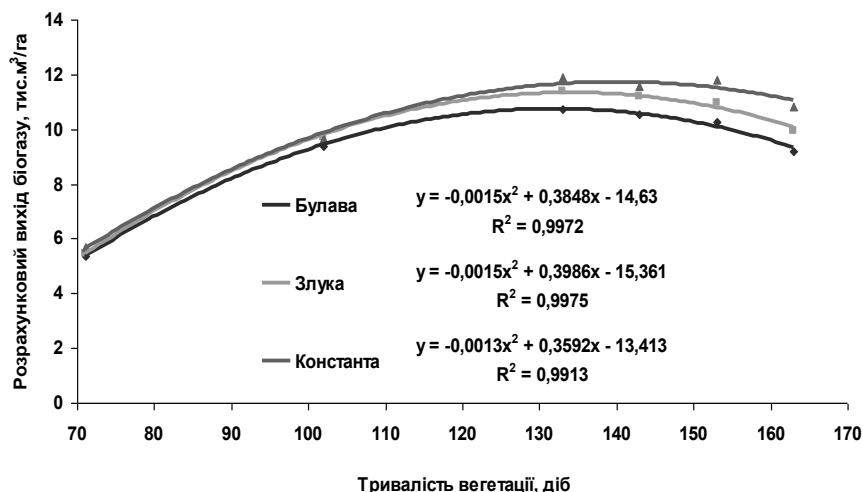


Рис. 7.7. Залежність виходу біогазу з буряків цукрових від тривалості їх вегетації (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Не дивлячись на зменшення цукристості коренеплодів, яке відмічалось впродовж вересня, розрахунковий вихід біоетанолу за цей період дещо зростав в середньому на 0,3 т/га (табл. 7.7). Це пояснюється значним приростом маси коренеплодів, який компенсував зменшення цукристості. Слід відмітити, що в умовах посушливого 2016 року (ГТК = 0,65) вихід біоетанолу, а відтак і енергії, був найменшим за роки досліджень і сягав максимальних значень на початку вересня. Затримка зі збиранням у цей рік призводила до зменшення виходу біоетанолу та енергії. Найкраща енерговіддача від буряків цукрових спостерігалась у 2018 році (ГТК = 0,87), в якому з одного гектара посівів гібридів 'Булава', 'Злука' і 'Константа' було отримано на початок жовтня 114, 119 і 125 ГДж/га енергії відповідно.

У середньому за роки проведення досліджень найбільший розрахунковий вихід біоетанолу та енергії у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України, отримано за вирощування гібрида 'Константа' та збирання його біомаси на початку жовтня (4,2 т/га), загальний вихід енергії при цьому складав 103,8 ГДж/га. За вирощування гібридів 'Злука' та 'Булава' біопалива отримано менше ніж 4,0 т/га, енергії – менше ніж 100 ГДж/га.

Таблиця 7.7

**Розрахунковий вихід біоетанолу й енергії з буряків цукрових
залежно від особливостей гібридів та строків збирання
(БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)**

Гібрид	Строки збирання	Вихід біоетанолу з коренеплодів, т/га	Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га
‘Булава’	I/09	3,3	81,3
	II/09	3,3	83,4
	III/09	3,5	86,1
	I/10	3,4	84,8
‘Злука’	I/09	3,5	88,3
	II/09	3,6	90,3
	III/09	3,7	92,2
	I/10	3,8	94,1
‘Константа’	I/09	3,8	93,9
	II/09	3,8	94
	III/09	4	101,1
	I/10	4,2	103,8

Результати досліджень свідчать, що залежність виходу біоетанолу від тривалості періоду вегетації носить лінійний характер і з високою точністю ($R^2 > 0,64$) може бути описана поліномом першого порядку (рис. 7.8). При цьому найбільш стрімко накопичення енергетично цінних речовин, які сприяють виходу біоетанолу відбувається у гібрида ‘Константа’, про що свідчить найвищий коефіцієнт лінійної регресії ($b=0,0147$), на другому місці за інтенсивністю виявився гібрид ‘Злука’ ($b=0,0077$), на останньому – гібрид ‘Булава’ ($b=0,0053$). Водночас, вихід біоетанолу з одиниці площі посівів буряків цукрових можна спрогнозувати скориставшись залежностями: для гібрида ‘Константа’: $y=0,0147 \cdot x + 1,7627$; для гібрида ‘Злука’: $y=0,0077 \cdot x + 2,507$ та для гібрида ‘Булава’: $y=0,0053 \cdot x + 2,5773$, де y – розрахунковий вихід біоетанолу, т/га; x – тривалість періоду вегетації, діб.

Таким чином, динаміка накопичення енергетично корисних речовин у коренеплодах і гичці буряків цукрових свідчить, що збирання біомаси для виробництва біопалива доцільно розпочинати на початку вересня, при цьому зміщення строків збирання на пізніший термін призводить до зменшення виходу біогазу, водночас кількість етанолу зростає несуттєво.

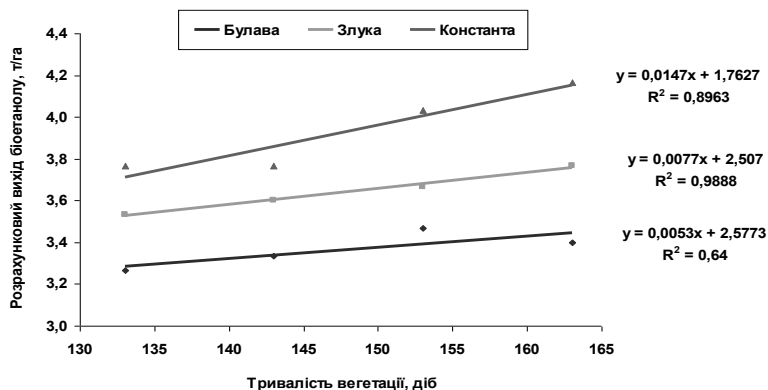


Рис. 7.8. Залежність виходу біоетанолу з буряків цукрових від тривалості їх вегетації (БЦ ДСС, 2016 - 2018 рр.)

Висновки до розділу

1. Визначено, що на процеси розвитку буряків цукрових та їх продуктивність впливають сортові особливості, строки їх збирання та погодно-кліматичні умови в період вегетації.

2. На ґрунтах з низьким вмістом гумусу за врожайністю коренеплодів, виходом біопалива та енергії незначна перевага була за гібридом 'Булава' над гібридами 'Герой' та 'Козак', при цьому максимальний вихід біоетанолу та енергії досягався за збирання коренеплодів у кінці вересня - на початку жовтня.

3. Встановлено тісну прямолінійну регресійну залежність між гідротермічним коефіцієнтом Селянінова і виходом біоетанолу та енергії ($R^2=0,956 - 0,990$) з рослин буряків цукрових.

4. В умовах нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України за розмірно-масовими характеристиками коренеплодів, вмістом сухої речовини і цукру кращим виявився гібрид 'Константа', навіть за несприятливих умов 2016 - 2017 рр. За вирощування гібрида 'Константа' та збирання врожаю у першій декаді жовтня отримано максимальний вихід біоетанолу (4,2 т/га) та вихід енергії (103,8 ГДж/га)

5. Динаміка накопичення енергетично корисних речовин у коренеплодах і гичці буряків цукрових свідчить, що збирання біомаси для виробництва біопалива доцільно розпочинати на початку вересня, при цьому зміщення строків збирання на пізніший термін призводить до зменшення виходу біогазу, водночас кількість етанолу зростає несуттєво.

РОЗДІЛ 8

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА СТРОКІВ ЗБИРАННЯ БІОМАСИ

Енергетична продуктивність сорго цукрового – це інтегральний показник який виражає вихід енергії з одиниці площі посівів. Вихід енергії розраховується на основі методик, викладених у розділі 3, і враховує потенційно можливий вихід різних видів біопалива з 1 га посівів сорго цукрового. Вихід біопалива в свою чергу розраховується на основі експериментальних даних урожайності зеленої і сухої маси та цукристості соку.

Дослідження, проведені в різних регіонах світу свідчать, що тривалість періоду вегетації рослин сорго цукрового має вирішальний вплив на формування енергемісткої біомаси та на вихід різних видів біопалив [10, 17, 32, 33, 80, 81, 114, 146, 162, 164, 166, 192, 199].

8.1. Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового в зоні недостатнього зволоження Лісостепу України

Одним з найважливіших показників, що характеризують енергетичну продуктивність рослин сорго цукрового, є врожайність зеленої маси, оскільки саме від цього показника залежить вихід біогазу та біоетанолу з одиниці площі посівів цієї культури.

Установлено, що за першого строку збирання (фаза колосіння) урожайність зеленої маси в середньому за 2017 - 2020 рр. була найменшою і становила в гібридів ‘Довіста’ й ‘Медовий F1’ 77,7 та 76,3 т/га, у сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – 61,1 та 52,6 т/га відповідно (табл. 8.1). Зміщення строків збирання на кінець серпня (фаза цвітіння) дало змогу підвищити врожайність зеленої маси в середньому на 52,8 %. Зокрема, урожайність гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ зросла на 47,2 та 55,8 %, а сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – на 30,6 та 77,4 % відповідно.

За збирання зеленої маси в середині вересня (фаза воскової стиглості) приріст урожайності порівняно з попереднім строком збирання становив у середньому лише 18,1 %. У більш пізній строк збирання (фаза повної стиглості) приріст урожайності зеленої маси спостерігався лише в середньопізнього гібрида ‘Довіста’ (152,5 т/га), тоді як в усіх інших досліджуваних культиварів сорго цукрового спостерігалось зменшення цього показника.

Таблиця 8.1

Показники продуктивності сорго цукрового та виходу з нього біопалива залежно від сортових особливостей і строків збирання біомаси (ВД ДСС, 2017 - 2020 рр.)

Строки збирання	Сорт / гібрид	Урожайність зеленої маси, т/га	Суха речовина, %	Цукристість, %	Вихід біогазу, тис. м ³ /га	Вихід біоетанолу, т/га	Вихід твердого біопалива, т/га	Загальний вихід енергії, ГДж/га
I строк (I декада серпня)	‘Силосне 42’	52,6	16,5	6,0	5,9	0,7	9,3	164,6
	‘Довіста’	77,7	15,0	6,3	7,9	1,0	12,4	224,4
	‘Медовий F1’	76,3	17,6	7,0	9,2	1,1	14,5	258,6
	‘Фаворит’	61,1	14,4	5,3	5,9	0,7	9,3	165,5
НІР _{0,05}		3,3	0,4	0,2	—	—	—	—
II строк (III декада серпня)	‘Силосне 42’	93,3	20,1	11,8	12,8	2,4	20,1	379,9
	‘Довіста’	114,4	20,0	12,8	16,2	3,2	25,4	486,1
	‘Медовий F1’	118,9	24,5	15,0	20,4	4,0	32,1	611,3
	‘Фаворит’	79,8	20,6	10,5	11,4	1,9	17,9	331,8
НІР _{0,05}		6,1	0,9	0,7	—	—	—	—
III строк (II декада вересня)	‘Силосне 42’	103,5	26,5	15,0	19,2	3,4	30,1	566,7
	‘Довіста’	146,6	24,3	15,0	24,1	4,6	37,8	718,1
	‘Медовий F1’	132,9	26,3	16,5	24,4	4,9	38,3	732,5
	‘Фаворит’	97,1	25,7	15,0	17,7	3,2	27,7	523,0
НІР _{0,05}		11,7	1,0	0,7	—	—	—	—
IV строк (I декада жовтня)	‘Силосне 42’	93,6	29,3	14,8	19,2	3,1	30,2	559,6
	‘Довіста’	152,5	26,1	15,5	27,4	5,1	43,1	815,8
	‘Медовий F1’	130,9	28,9	17,5	26,3	5,3	41,4	792,0
	‘Фаворит’	93,8	28,4	15,3	18,6	3,2	29,3	547,2
НІР _{0,05}		13,1	1,1	0,9	—	—	—	—

Отже, найвища врожайність зеленої маси сорго цукрового в умовах недостатнього зволоження досягається між фазами цвітіння та воскової стиглості, що відповідає аналогічним дослідженням, проведеним у різних регіонах світу [80, 81, 199, 114].

Важливим показником, який впливає на вихід біоетанолу з одиниці площі сорго цукрового, є вміст цукрів у соку. Установлено, що до фази викидання волоті цукристість соку є невисокою і залежно від культивара змінюється в межах від 5,3 до 7,0 %. У разі збирання біомаси наприкінці серпня концентрація вуглеводів у соку стебел збільшується приблизно вдвічі. У фазі воскової стиглості найвищий показник цукристості відзначено в гібрида 'Медовий F1', у решти досліджуваних культиварів він був однаковим – 15,0 %. За пізніших строків збирання (початок жовтня) в умовах недостатнього зволоження, де розташована Веселоподільська дослідно-селекційна станція, підвищення цукристості соку було не суттєвим. Отже, найвища концентрація цукрів у соку стебел сорго цукрового досягається між фазами воскової та повної стиглості. Аналогічні результати було отримано і в низці інших досліджень [64, 143, 200].

Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового, зібраної у фазі колосіння (початок серпня), є досить незначним і змінюється в межах від 5,9 ('Силосне 42' і 'Фаворит') до 9,2 тис. м³/га ('Медовий F1') (див. табл. 1). З кожним наступним строком збирання вихід біогазу в усіх досліджуваних культиварів зростає, що зумовлено підвищенням урожайності зеленої та сухої маси. Зокрема, за збирання біомаси наприкінці серпня вихід біогазу збільшується більш ніж удвічі. Зміщення строків збирання на середину вересня дає змогу збільшити цей показник у середньому в 1,4 раза. Максимальний вихід біогазу отримано за збирання сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен: гібриди 'Довіста' та 'Медовий F1' – 27,4 та 26,3 тис. м³/га, сорти 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 18,6 та 19,2 тис. м³/га відповідно.

Результати досліджень свідчать, що збирання біомаси сорго цукрового на біоетанол у фазі колосіння не доцільне, оскільки внаслідок низького вмісту цукрів вихід біоетанолу становить у середньому 0,9 т/га (див. табл. 8.1). Починаючи з фази викидання волотей, спостерігається різке збільшення виходу біоетанолу (у 3,2 раза) з біомаси сорго цукрового. Подальше зміщення строків збирання на середину вересня (фаза воскової стиглості) дало змогу підвищити вихід біоетанолу порівняно з попереднім строком збирання в середньому на 40 %. Перенесення строків збирання ще на 20 діб

(початок жовтня) сприяло збільшенню цього показника лише на 5 %. Отже, для забезпечення максимального виходу біоетанолу з одиниці площі сорго цукрове слід починати збирати не раніше настання фази воскової стиглості.

Вихід твердого біопалива безпосередньо залежить від урожайності сухої речовини, тому, урахувуючи низькі врожайність зеленої маси та вміст у ній сухої речовини на початкових фазах розвитку рослин сорго цукрового (до фази цвітіння), вихід твердого біопалива за раннього строку збирання біомаси не перевищував 14,5 т/га (див. табл. 8.1). За збирання біомаси наприкінці серпня вихід твердого біопалива становив у гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ 25,4 і 32,1 т/га, у сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 17,9 і 20,1 т/га відповідно, тобто в середньому більш ніж удвічі перевищував показники за попереднього строку збирання. Подальше зміщення строків збирання на середину вересня дало змогу збільшити вихід твердого біопалива в середньому на 40,2 %. Найбільшим цей показник очікувано був за четвертого строку збирання (початок жовтня), оскільки на цей час рослини перебували у фазі повної стиглості та сформували максимальну врожайність сухої маси.

Як інтегральний показник під час оцінювання енергетичної продуктивності досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового використовували вихід енергії з одиниці площі посівів. Найбільший вихід енергії з біомаси сорго цукрового досягається в разі її перероблення на біоетанол та тверде біопаливо, загальний вихід енергії при цьому перевищує той, який можна отримати за перероблення біомаси на біогаз. Установлено, що за раннього збирання біомаси сорго цукрового (кінець липня - початок серпня) загальний вихід енергії, яку можна отримати з 1 га посівів, не перевищує 258,6 ГДж/га. Це пояснюється низькими врожайністю зеленої маси та вмістом сухої речовини, зокрема цукрів. Зміщення строків збирання на 20 діб (на кінець серпня) дає змогу підвищити вихід енергії у 2,2 рази. Завдяки збільшенню вмісту сухої речовини й вуглеводів у біомасі сорго цукрового у фазах воскової та повної стиглості вихід енергії за пізнього збирання також зростає. Зокрема, за збирання біомаси в середині вересня загальний вихід енергії змінюється від 523,0 (‘Фаворит’) до 732,5 ГДж/га (‘Медовий F1’). Перенесення строків збирання ще на 20 діб (на початок жовтня) дає змогу збільшити загальний вихід енергії в середньому на 7 %, але при цьому є ризик значного вилягання рослин, що ускладнює процес збирання й підвищує при цьому втрати біомаси.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що на формування врожаю зеленої маси сорго цукрового найбільше впливали погодні умови, менше – строки збирання та сортові особливості. Проте на вихід енергії найбільше впливали строки збирання біомаси, а вплив погодних умов та сортових особливостей був меншим (рис. 8.1). Це пояснюється тим, що вихід біопалива та енергії більше залежить від урожайності сухої маси, ніж від зеленої, а отже, вирощування біомаси сорго цукрового на енергетичні цілі є більш сталим і незалежним від погодних умов.

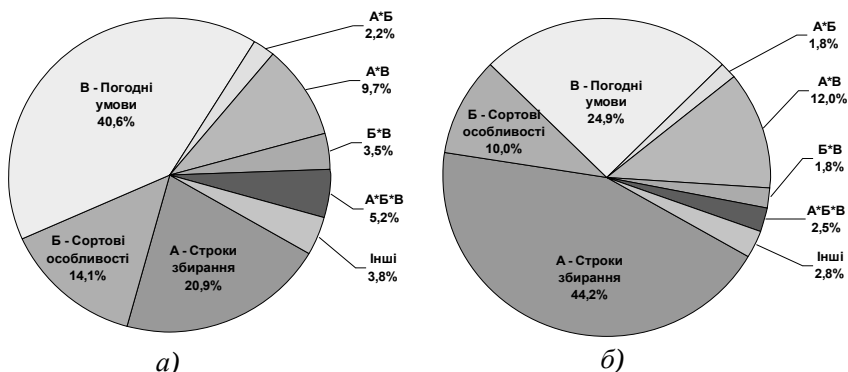


Рис. 8.1. Вплив досліджуваних чинників на продуктивність сорго цукрового (ВП ДСС, 2017 - 2020 рр.):

a) – урожайність зеленої маси; *б)* – вихід енергії

Результати кореляційного аналізу підтверджують тіснішу залежність між виходом енергії та врожайністю сухої маси, оскільки коефіцієнт кореляції $R = 0,924 \pm 0,049$ (рис. 8.2а), а між виходом енергії та врожайністю сухої маси – $R = 0,999 \pm 0,006$ (рис. 8.2б). Крім того, коефіцієнт рівняння регресійної залежності виходу енергії від урожайності зеленої маси менший порівняно з відповідним коефіцієнтом для сухої маси ($b_1 = 5,625 < b_2 = 21,044$).

Оскільки погодні умови в роки досліджень були досить строкатими, це дало змогу оцінити екологічну пластичність та стабільність досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового (табл. 8.2). Зокрема, за показником урожайності зеленої маси найпластичнішим був гібрид 'Довіста', у якого показник екологічної пластичності був найвищим ($b = 1,55$). Це свідчить, що гібрид 'Довіста' має високий потенціал продуктивності в умовах дефіциту вологи,

розкриття якого залежить від сприятливих погодних умов та правильної агротехніки. Найменш пластичним виявився сорт 'Силосне 42' ($b = 0,72$). Водночас він був найстабільнішим, оскільки відхилення від середньої дисперсії за показником урожайності зеленої маси було найменшим. Це свідчить про те, що сорт здатен формувати невисоку, проте стабільну врожайність зеленої маси незалежно від погодних умов та рівня агротехніки.

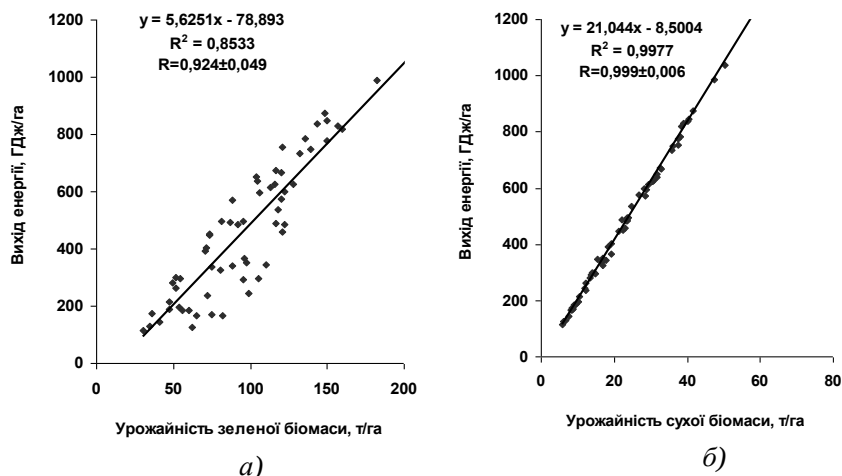


Рис. 8.2. Регресійна залежність виходу енергії від урожайності зеленої (а) та сухої (б) біомаси сорго цукрового

Таблиця 8.2

Екологічна стабільність та пластичність сортів та гібридів сорго цукрового за врожайністю зеленої маси та виходом енергії (ВП ДСС, 2017 - 2020 рр.)

Сорт / гібрид	Урожайність зеленої маси		Сумарний вихід енергії	
	пластичність (b)	стабільність (W)	пластичність (b)	стабільність (W)
'Силосне 42'	0,72	$1,2 \times 10^3$	0,78	$3,5 \times 10^4$
'Довіста'	1,55	$5,2 \times 10^3$	1,25	$7,5 \times 10^4$
'Медовий F1'	0,93	$1,8 \times 10^3$	1,03	$5,5 \times 10^4$
'Фаворит'	0,79	$1,3 \times 10^3$	0,93	$4,1 \times 10^4$

Результати досліджень екологічної пластичності за показником виходу енергії свідчать, що найпластичнішими були гібриди ‘Довіста’ ($b = 1,25$) та ‘Медовий F1’ ($b = 1,03$), які можна віднести до гібридів інтенсивного типу для зони недостатнього зволоження Східного Лісостепу України. Водночас гібрид ‘Довіста’ відзначався високим рівнем мінливості.

За рівнем пластичності щодо виходу енергії з одиниці площі сорт ‘Силосне 42’ ($b = 0,79$) значно поступався іншим досліджуваним культиварам, проте відхилення від середньої дисперсії для нього було найменшим, що свідчить про високий рівень стабільності.

Отже, найбільша врожайність зеленої маси та вихід енергії в зоні недостатнього зволоження Східного Лісостепу України досягається за вирощування сорго цукрового гібридів ‘Довіста’ (152,5 т/га та 815,8 ГДж/га) і ‘Медовий F1’ (132,9 т/га та 732,5 ГДж/га) за умови збирання біомаси у фазі повної стиглості.. Попри високий рівень пластичності, сорт ‘Фаворит’ поступається досліджуваним гібридам як за врожайністю зеленої маси (до 97,1 т/га), так і за загальним виходом енергії (523,0 ГДж/га). Сорт ‘Силосне 42’ має найменший показник екологічної пластичності за виходом енергії ($b=0,79$), проте він є найстабільнішим, що дає змогу отримувати сталий, хоч і невисокий вихід енергії незалежно від погодних умов та рівня агротехніки.

8.2. Продуктивність сорго цукрового у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України

За результатами досліджень, проведеними у зоні нестійкого зволоження східного Лісостепу України (І ДСС) встановлено, що за першого строку збирання (фаза викидання волоті, ВВНС 55) врожайність зеленої маси у середньому за 2016 - 2020 рр. була найменшою і становила для гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ відповідно 62,9 та 64,5 т/га, а для сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 51,7 та 52,2 т/га відповідно (рис. 8.3). Перенесення строків збирання на кінець серпня (фаза цвітіння, ВВНС 65) дозволило підвищити врожайність зеленої маси в середньому на 19,8 %. Так врожайність зеленої маси гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ зросла до 94,4 та 67,3 т/га а сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – до 61,8 та 53,9 т/га відповідно. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня (фаза воскової стиглості, ВВНС 75) дозволило підвищити врожайність зеленої маси гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ до 102,9 та

68,6 т/га, а сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – до 60,8 та 55,6 т/га. У більш пізній строк збирання (фаза повної стиглості, ВВНС 85) спостерігалось зменшення врожайності зеленої маси для усіх досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового.

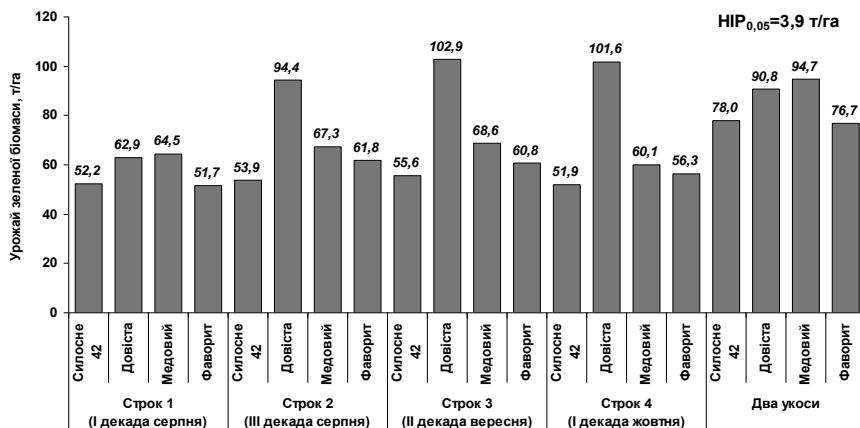


Рис. 8.3 Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (І ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Проведення двох укосів зеленої маси сорго цукрового (1 – початок серпня, 2 – початок жовтня) дозволило збільшити врожайність зеленої маси на 18,2 % порівняно з найбільш врожайним третім строком збирання. При цьому, врожайність середньопізнього гібрида ‘Довіста’ зменшилась у порівнянні з третім та четвертим строками збирання і була на рівні другого строку.

За результатами досліджень проведеними в І ДСС встановлено, що на ранніх фазах розвитку рослин сорго цукрового (до фази викидання волоті) цукристість соку є невисокою і коливається в межах від 4,7 % (гібрид ‘Довіста’) до 8,0 % (гібрид ‘Медовий F1’) (рис. 8.4). За збирання біомаси у кінці серпня (фаза викидання волоті) концентрація вуглеводів у стеблах зростає приблизно у 1,9 раза і становить у гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ відповідно 10,3 і 14,4 %, а у сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – 11,3 і 10,5 % відповідно. Перенесення строків збирання на середину вересня забезпечило зростання вмісту вуглеводів у соці в середньому на 29,4 %, при цьому максимальні показники цукристості були у гібридів ‘Довіста’ (16,1 %) та ‘Медовий F1’ (17,0 %). У фазі

повної стиглості зерна у зоні нестійкого зволоження східного Лісостепу України рослини сорго цукрового накопили максимальну кількість цукрів у соці, при цьому найбільша цукристість соку була у гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' (по 17,9 %), у сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' цей показник становив відповідно 15,5 та 14,1 відсотка.

Середня цукристість соку з біомаси сорго цукрового зібраного у два укуси була на рівні показників першого строку збирання і змінювалась в межах від 5,6 до 8,8 % залежно від сортових особливостей.

Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового, зібраної у фазі інтенсивного росту (початок серпня) є досить незначним і коливається в межах від 5,9 - 6,2 тис. м³/га (сорт 'Силосне 42', 'Фаворит' і гібрид 'Довіста') до 8,4 тис. м³/га (гібрид 'Медовий F1') (рис. 8.5). З кожним наступним строком збирання вихід біогазу для усіх досліджуваних сортів і гібридів зростає, що пов'язано зі зростанням урожайності зеленої маси та вмісту сухої речовини. Так, за збирання біомаси у кінці серпня вихід біогазу зростає у середньому більш ніж у 1,6 раза порівняно зі збиранням на початку місяця, і становить для гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' відповідно 14,3 та 11,6 тис. м³/га, а для сортів 'Фаворит' та Силосней 42 – 9,4 та 7,9 тис. м³/га.

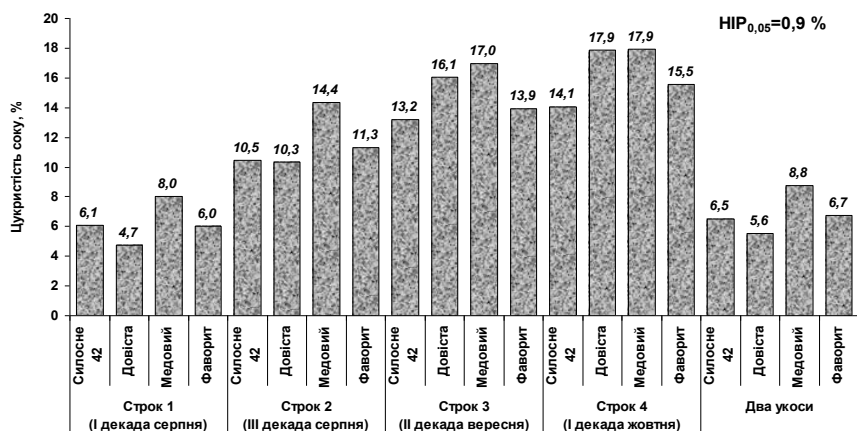


Рис. 8.4. Цукристість соку сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (І ДСС, 2016 - 2020 рр.)

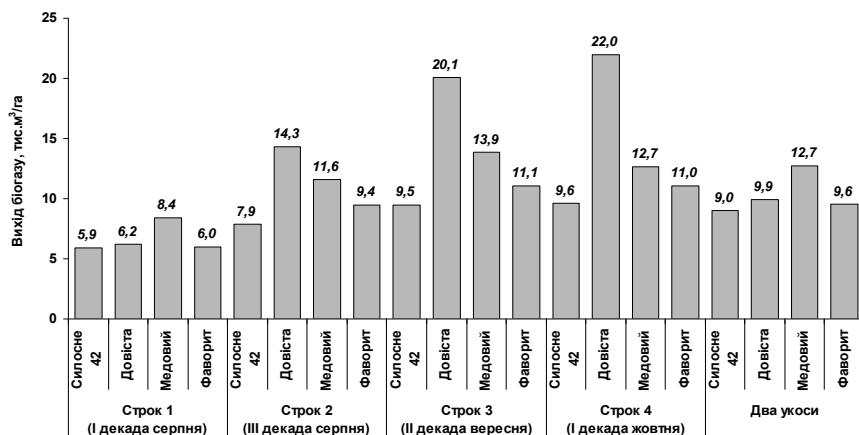


Рис. 8.5 Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (І ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Перенесення строків збирання на середину вересня дозволяє збільшити вихід біогазу в середньому на 26 % порівняно з попереднім строком. Максимальний вихід біогазу отримано за збирання сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен, при цьому вихід біогазу з гібридів 'Довіста' та 'Медовий F1' становить відповідно 22,0 та 12,7 тис. м³/га, а з сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 11,0 та 9,6 тис. м³/га. За дворазового збирання зеленої маси сорго цукрового вихід біогазу був на рівні другого строку збирання, за виключенням середньопізнього гібрида 'Довіста', у якого цей показник був нижчим порівняно з другим строком.

Таким чином, збирання біомаси сорго цукрового на біогаз в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України доцільно розпочинати не раніше фази викидання волоті. Дворазове збирання біомаси в цій зоні було неефективним.

Результати досліджень, проведених в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України свідчать, що збирання біомаси сорго цукрового у фазі інтенсивного росту на біоетанол не доцільне, оскільки внаслідок низького вмісту цукрів вихід біоетанолу не перевищує 0,98 т/га (рис. 8.6). Починаючи з фази викидання волотей спостерігається суттєве збільшення виходу біоетанолу (у 2,3 раза) з біомаси сорго

цукрового. Так, вихід біоетанолу з гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ за збирання їх біомаси у кінці серпня становить 1,83 та 1,95 т/га, а з сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 1,39 та 1,12 т/га. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня дозволило підвищити вихід біоетанолу в середньому по сортах на 42,3 % порівняно з попереднім строком збирання. Перенесення строків збирання ще на 20 діб (початок жовтня) дозволило підвищити середній за сортами вихід біоетанолу лише на 7,4 %, проте вихід біоетанолу з біомаси гібрида ‘Довіста’ зріс на 14,6 % і становив 3,77 т/га.

Проведення двох укосів зеленої маси сорго цукрового негативно впливало на вихід біоетанолу, оскільки укоси проводились на ранніх фазах розвитку рослин, на яких цукристість соку не перевищувала 8,8 %. Так за дворазового скошування біомаси вихід біоетанолу з соку стебел гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ становив відповідно 0,94 та 1,56 т/га, а сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 1,00 та 0,93 т/га.

Таким чином для максимальної реалізації біологічного потенціалу рослин сорго цукрового щодо виходу біоетанолу оптимальними строками збирання зеленої маси є друга декада вересня - перша декада жовтня. Дворазове збирання зеленої маси на біоетанол є неефективним.

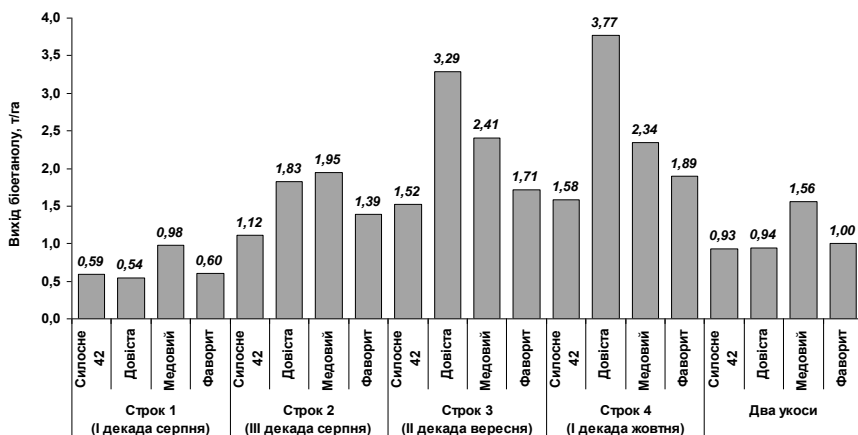


Рис. 8.6. Розрахунковий вихід біоетанолу з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (I ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Вихід твердого біопалива безпосередньо залежить від врожайності сухої речовини, тому враховуючи низьку врожайність зеленої маси та низький вміст у ній сухої речовини на початкових фазах розвитку рослин сорго цукрового (до фази викидання волоті) вихід твердого біопалива за раннього строку збирання біомаси не перевищував 13,2 т/га (рис. 8.7). За збирання біомаси сорго цукрового у кінці серпня вихід твердого біопалива зростає в 1,6 раза і становить: для гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ відповідно 22,5 та 18,3 т/га, а для сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 14,8 та 12,3 т/га. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня дозволило збільшити вихід твердого біопалива в середньому на 26 %. Найбільший вихід твердого біопалива отримано за четвертого строку збирання (початок жовтня), і становив для гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ відповідно 34,6 та 19,9 т/га, а для сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – 17,3 та 15,1 т/га. Вихід твердого біопалива за дворазового скошування біомаси сорго цукрового був на рівні другого строку збирання, тому цей спосіб збирання для даної зони був малоефективним.

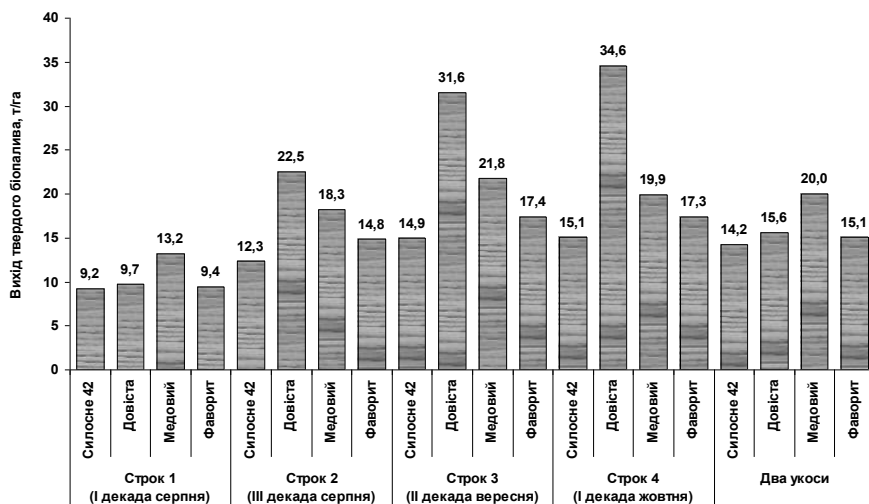


Рис. 8.7. Розрахунковий вихід твердого біопалива з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (I ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Таким чином, максимальний вихід твердого біопалива з сорго цукрового досягається за збирання біомаси не раніше фази воскової стиглості зерна.

Дослідженнями в зоні нестійкого зволоження східного Лісостепу України встановлено, що в разі раннього збирання біомаси сорго цукрового (кінець липня - початок серпня) загальний вихід енергії не перевищує 235 ГДж/га., що пояснюється низькою врожайністю зеленої маси у цей час та низькою концентрацією у ній сухої речовини, в тому числі цукрів. Перенесення строків збирання на 20 діб (на кінець серпня) дозволяє підвищити вихід енергії в 1,7 раза. Так, за збирання сорго цукрового у третій декаді серпня вихід енергії з біомаси гібридів 'Довіста' та 'Медовий F1' становив відповідно 406 та 340 ГДж/га, а з біомаси сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 272 та 225 ГДж/га (рис. 8.8). За рахунок збільшення вмісту сухої речовини та вуглеводів у біомасі сорго цукрового у фазах воскової та повної стиглості насіння вихід енергії також зростає. Так, за збирання біомаси в середині вересня вихід енергії коливається від 276 ГДж/га (сорт 'Силосне 42') до 586 ГДж/га (гібрид 'Довіста'). Перенесення строків збирання ще на 20 діб (на початок жовтня) дозволяє несуттєво збільшити загальний вихід енергії (лише на 2,2 %), але при цьому є ризик вилягання рослин, що ускладнює процес їх збирання.

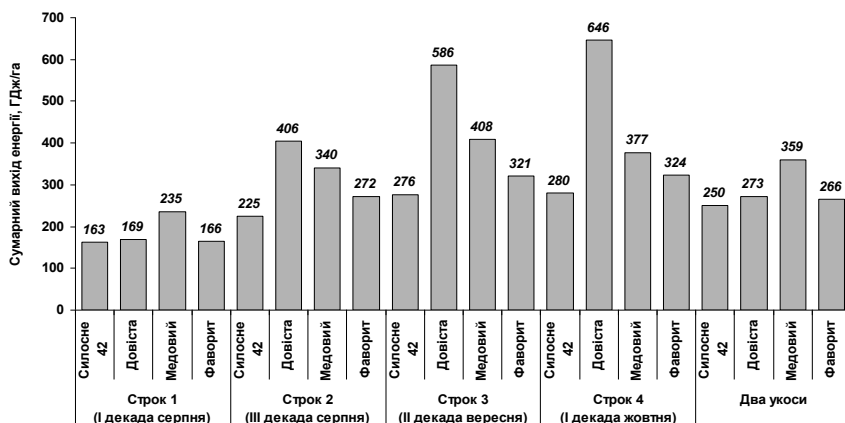


Рис. 8.8. Розрахунковий вихід енергії з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (I ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Дворазове збирання сорго цукрового хоч і забезпечило збільшення виходу зеленої маси (див. рис.8.3) однак не дало суттєвого збільшення виходу енергії порівняно з більш пізніми строками. Так, вихід енергії з біомаси гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ на цьому варіанті досліду становив відповідно 273 та 359 ГДж/га, а з біомаси сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 266 та 250 ГДж/га.

Таким чином, для максимальної реалізації енергетичного потенціалу рослин сорго цукрового збирання зеленої маси слід проводити не раніше фази воскової стиглості зерен. Дворазове збирання не забезпечує суттєвого збільшення виходу енергії навіть у порівнянні з другим строком збирання. За виходом енергії з одиниці площі починаючи із фази викидання волоті гібрид ‘Довіста’ значно переважав інші досліджувані сорти і гібриди.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України на формування врожаю зеленої маси сорго цукрового найбільше впливали сортові особливості (36,5 %) та погодні умови (30,0 %), меншим був вплив строків збирання (5 %). Проте на кінцевий вихід енергії найбільший вплив чинили строки збирання біомаси (30,0 %), а вплив сортових особливостей (25,2 %) та погодних умов (12,7 %) був дещо меншим (рис. 8.9).

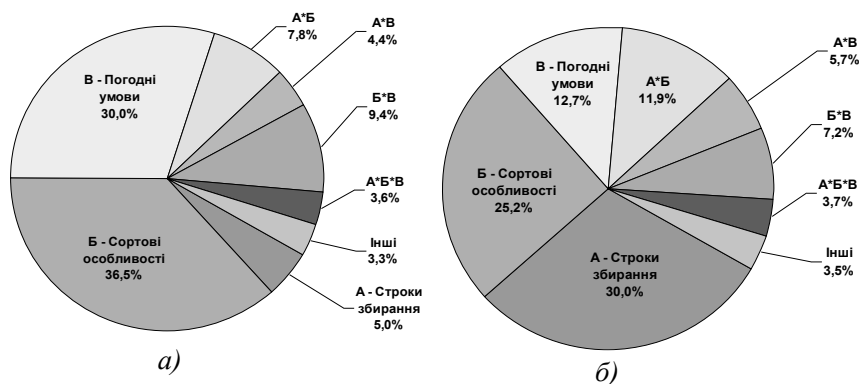


Рис. 8.9. Вплив досліджуваних факторів в умовах на урожайність зеленої маси (а) та вихід енергії (б) (І ДСС, 2016 - 2020 рр.)

За результатами регресійного аналізу (рис. 8.10) встановлено тісну кореляційну залежність між виходом енергії та врожайністю зеленої маси ($R^2=0,75$), між виходом енергії та врожайністю сухої маси – $R^2=0,99$. Крім того коефіцієнт рівняння регресійної залежності виходу енергії від врожайності зеленої маси менший порівняно з відповідним коефіцієнтом для сухої маси ($b_1=5,97 < b_2=20,73$).

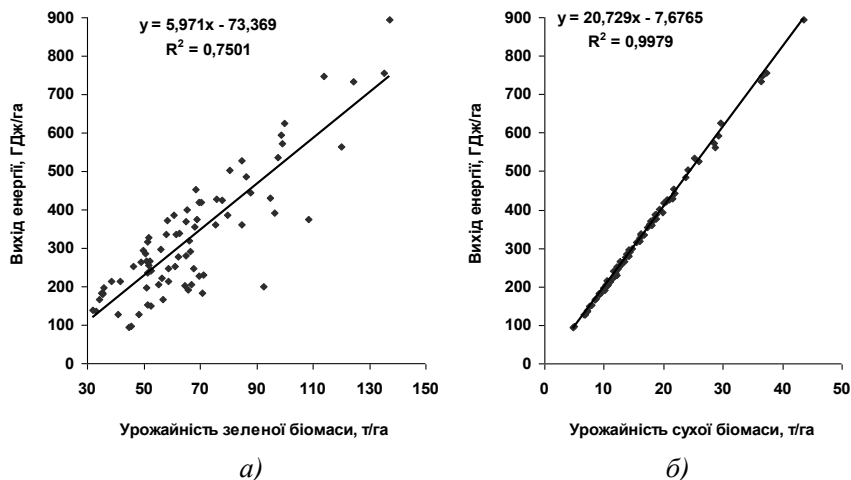


Рис. 8.10. Регресійна залежність виходу енергії в умовах І ДСС від:
а) – урожайності зеленої маси; б) – урожайності сухої маси.

Оскільки погодні умови у роки досліджень були досить строкатими, це дозволило провести оцінку екологічної пластичності та стабільності досліджуваних сортів та гібридів сорго цукрового (рис. 8.11). Так, за показником врожайності зеленої маси найбільш пластичним був гібрид 'Довіста', у якого був найвищий показник екологічної пластичності ($b=1,63$). Це свідчить, що даний гібрид має високий потенціал продуктивності у даній зоні розкриття якої залежить від сприятливих погодних умов та правильної агротехніки. При цьому за врожайністю зеленої маси гібрид 'Довіста' виявився найменш стабільним. Рівень показника пластичності усіх інших досліджуваних сортів і гібридів був значно нижчим і знаходився в межах від $b=0,76$ (сорт 'Фаворит') до $b=0,82$ (гібрид 'Медовий F1').

За показником виходу енергії (рис. 8.12) найбільш пластичним також виявився гібрид ‘Довіста’ ($b=1,60$). Менш пластичними виявились гібрид ‘Медовий F1’ ($b=0,95$) та сорти ‘Фаворит’ ($b=0,82$) і ‘Силосне 42’ ($b=0,64$).

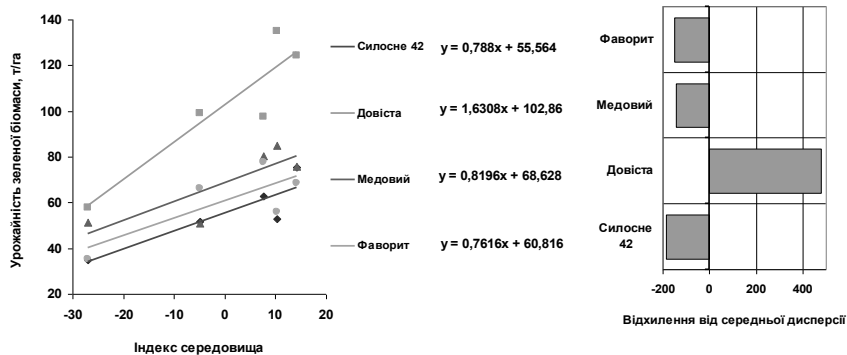


Рис. 8.11. Екологічна стабільність та пластичність сортів сорго цукрового за врожайністю зеленої маси (I ДСС, 2016 - 2020 рр.)

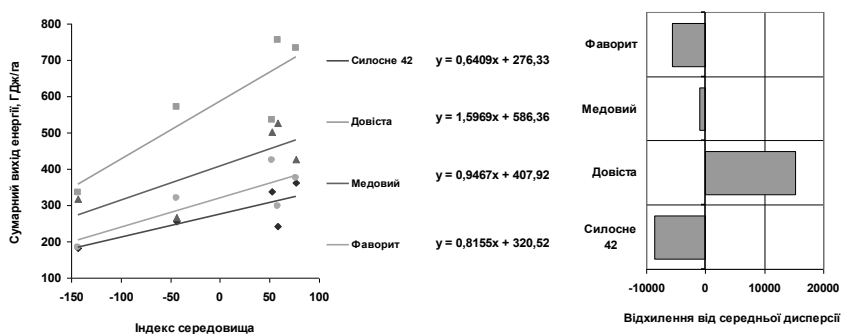


Рис. 8.12. Екологічна стабільність та пластичність сортів сорго цукрового за виходом енергії (I ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Таким чином, в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 646 ГДж/га) отримано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’, у якого крім того встановлено найвищий рівень екологічної пластичності ($b=1,6$).

8.3. Вплив строків збирання біомаси на продуктивність рослин сорго цукрового у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України

За результатами досліджень, проведеними у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (БЦ ДСС) встановлено, що за першого строку збирання (фаза викидання волоті) врожайність зеленої маси сорго цукрового у середньому за 2016 - 2020 рр. була найменшою і становила для гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' відповідно 78,9 та 83,8 т/га, а для сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 70,1 та 67,6 т/га відповідно (рис. 8.13). Перенесення строків збирання на кінець серпня (фаза цвітіння) дозволило підвищити врожайність зеленої маси в середньому на 28,8 %. Так врожайність зеленої маси гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' зростає до 111,4 та 106,9 т/га а сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – до 87,1 та 83,0 т/га відповідно. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня (фаза воскової стиглості) дозволило підвищити врожайність зеленої маси гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' до 128,6 та 107,0 т/га, а сортів 'Фаворит' і 'Силосне 42' – до 91,9 та 84,7 т/га. Врожайність зеленої маси гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' до 135,6 та 106,6 т/га, а сортів 'Фаворит' і 'Силосне 42' – до 113,1 та 88,8 т/га.

У більш пізній строк збирання (фаза повної стиглості) спостерігалось незначне зменшення врожайності зеленої маси для гібрида 'Медовий F1' та сорту 'Фаворит' та незначне збільшення для сорту 'Силосне 42' та гібриду 'Довіста'.

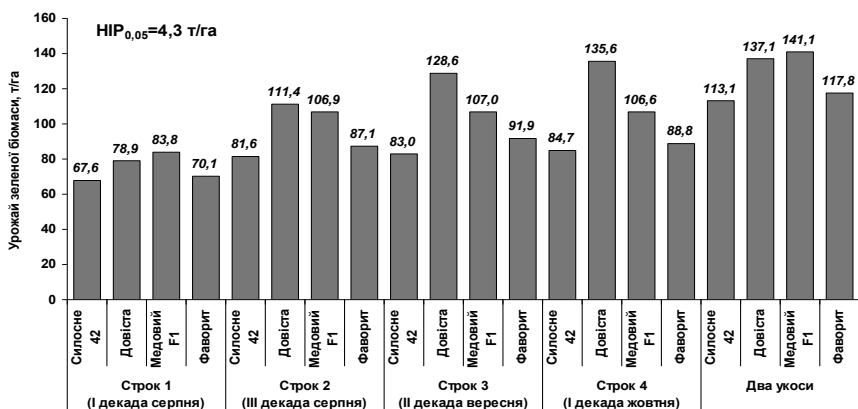


Рис. 8.13. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Проведення двох укосів зеленої маси сорго цукрового (1 – початок серпня, 2 – початок жовтня) дозволило збільшити врожайність зеленої маси в середньому на 24 % порівняно з найбільш врожайним третім строком збирання.

Дослідженнями проведеними на полях БЦ ДСС встановлено, що на ранніх фазах розвитку рослин сорго цукрового (до фази викидання волоті) цукристість соку є невисокою і коливається в межах від 5,5 % (сорт ‘Фаворит’) до 6,8 % (гібрид ‘Медовий F1’) (рис. 8.14). За збирання біомаси в фазу викидання волоті (кінець серпня) концентрація вуглеводів у соці стебел зростає приблизно у 1,9 раза і становить у гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ відповідно 12,0 і 14,2 %, а у сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – 10,8 і 11,6 % відповідно. Перенесення строків збирання на середину вересня забезпечило зростання вмісту вуглеводів у соці в середньому на 14,1 %, при цьому максимальні показники цукристості були у гібридів ‘Довіста’ (13,8 %) та ‘Медовий F1’ (15,4 %).

У фазі повної стиглості зерна у зоні нестійкого зволоження центрального Лісостепу України рослини сорго цукрового накопили максимальну кількість цукрів у соці, при цьому найбільша цукристість соку була у гібридів ‘Довіста’ (16,1 %) і ‘Медовий F1’ (17,0 %), у сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ цей показник становив відповідно 15,4 % та 14,2 відсотка.

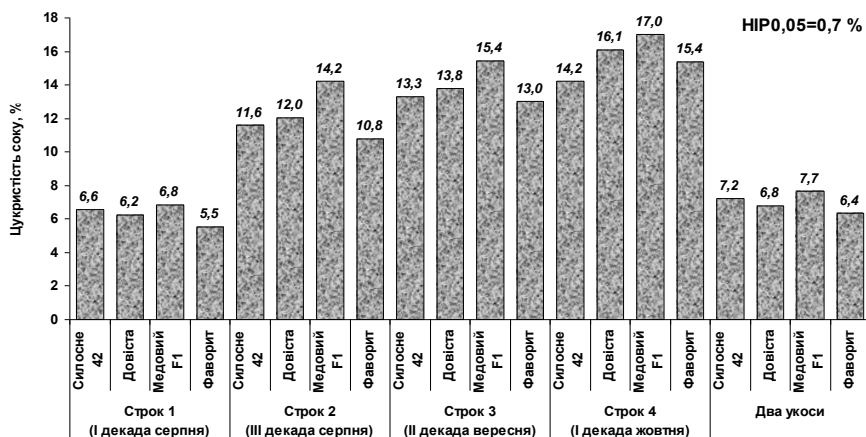


Рис. 8.14 Цукристість соку сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Середня цукристість соку з біомаси сорго цукрового зібраного у два укоси була низькою і змінювалась в межах від 6,4 до 7,7 % залежно від сортових особливостей.

Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового, зібраної у фазі викидання волотей (початок серпня) є досить незначним і змінюється в межах від 7,1 тис. м³/га (сорт 'Фаворит') до 9,5 тис. м³/га (гібрид 'Медовий F1') (рис. 8.15). З кожним наступним строком збирання вихід біогазу для усіх досліджуваних сортів і гібридів зростає, що пов'язано зі зростанням урожайності зеленої маси та вмісту сухої речовини. Так, за збирання біомаси у кінці серпня вихід біогазу зростає у середньому майже у 2 рази порівняно зі збиранням на початку місяця, і становить для гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' відповідно 18,5 та 18,8 тис. м³/га, а для сортів 'Фаворит' та Силосней 42 – 13,5 та 13,4 тис. м³/га відповідно.

Перенесення строків збирання на середину вересня дозволяє збільшити вихід біогазу в середньому на 18,4 % порівняно з попереднім строком. Максимальний вихід біогазу отримано за збирання сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен, при цьому вихід біогазу з гібридів 'Довіста' та 'Медовий F1' становить відповідно 26,6 та 21,0 тис. м³/га, а з сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 16,5 та 15,6 тис. м³/га.

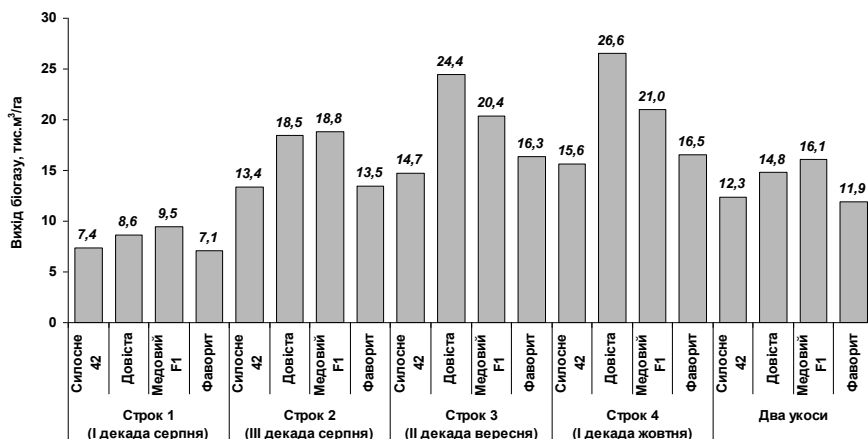


Рис. 8.15. Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

За дворазового збирання зеленої маси сорго цукрового вихід біогазу був меншим порівняно з другим строком збирання, тому такий спосіб збирання біомаси сорго цукрового як сировини для виробництва біогазу є неефективним.

Таким чином, збирання біомаси сорго цукрового на біогаз в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України доцільно розпочинати не раніше фази викидання волоті. Дворазове збирання біомаси в цій зоні було неефективним.

Результати досліджень свідчать, що збирання біомаси сорго цукрового у фазі викидання волотей на біоетанол не доцільне, оскільки внаслідок низького вмісту цукрів вихід біоетанолу не перевищує 1,28 т/га (рис. 8.16).

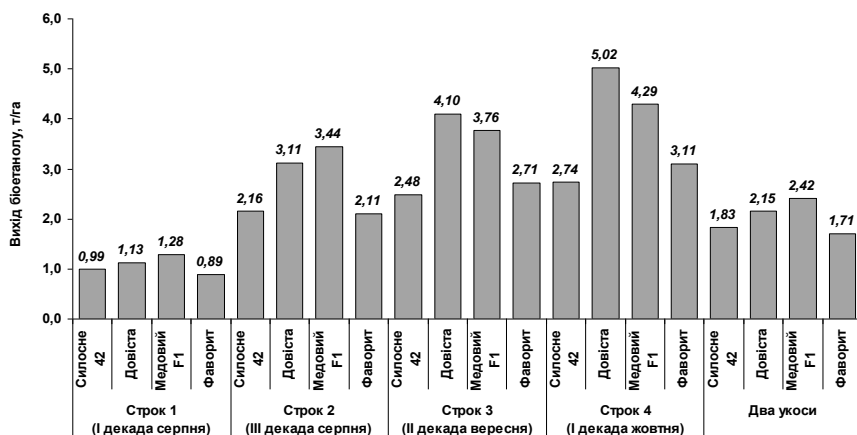


Рис. 8.16. Розрахунковий вихід біоетанолу з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Починаючи з фази викидання волотей спостерігається суттєве збільшення виходу біоетанолу (більш ніж у 2,5 раза) з біомаси сорго цукрового. Так, вихід біоетанолу з гібридів 'Довіста' та 'Медовий F1' за збирання їх біомаси у кінці серпня становить відповідно 3,11 та 3,44 т/га, а з сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 2,11 та 2,16 т/га. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня дозволило підвищити вихід біоетанолу в середньому по сортах на

20,7 % порівняно з попереднім строком збирання. Перенесення строків збирання ще на 20 діб (початок жовтня) дозволило підвищити середній за сортами вихід біоетанолу ще на 16 %. За збирання біомаси в фазі повної стиглості зерна вихід біоетанолу з гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ становив відповідно 5,02 та 4,29 т/га, а з сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 3,11 та 2,74 т/га.

Проведення двох укосів зеленої маси сорго цукрового негативно впливало на вихід біоетанолу, оскільки укоси проводились на ранніх фазах розвитку рослин, на яких цукристість соку не перевищувала 8,8 %. Так за дворазового скошування біомаси вихід біоетанолу з соку стебел гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ становив відповідно 2,15 та 2,42 т/га, а сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 1,71 та 1,83 т/га.

Таким чином для максимальної реалізації біологічного потенціалу рослин сорго цукрового щодо виходу біоетанолу оптимальними строками збирання зеленої маси в зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України є II декада вересня – I декада жовтня. Дворазове збирання зеленої маси на біоетанол є неефективним.

Вихід твердого біопалива безпосередньо залежить від врожайності сухої речовини, тому враховуючи низьку врожайність зеленої маси та низький вміст у ній сухої речовини на початкових фазах розвитку рослин сорго цукрового (до фази викидання волоті) вихід твердого біопалива за раннього строку збирання біомаси не перевищував 14,9 т/га (рис. 8.17). З тієї ж причини були низькі показники виходу твердого біопалива за дворазового збирання біомаси (до 25,3 т/га). За збирання біомаси сорго цукрового у кінці серпня вихід твердого біопалива зростає майже у двічі і становить: для гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ відповідно 29,0 та 29,5 т/га, а для сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 21,1 та 21,0 т/га. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня дозволило збільшити вихід твердого біопалива в середньому на 18,4 %. Найбільший вихід твердого біопалива отримано за четвертого строку збирання (початок жовтня): для гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ відповідно 41,7 та 33,0 т/га, а для сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – 25,9 та 24,5 т/га.

Отже, максимальний вихід твердого біопалива з сорго цукрового досягається за збирання біомаси не раніше фази воскової стиглості зерна.

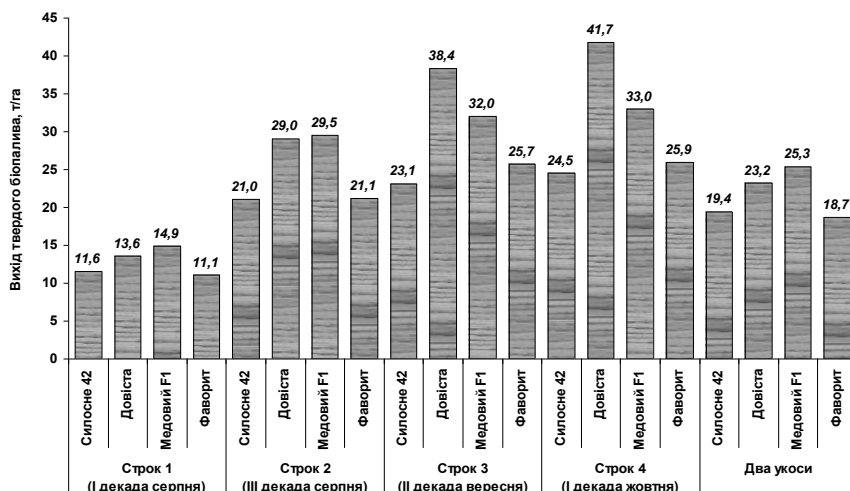


Рис. 8.17 Розрахунковий вихід твердого біопалива з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Дослідженнями в зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України встановлено, що в разі раннього збирання біомаси сорго цукрового (кінець липня - початок серпня) загальний вихід енергії не перевищує 270,2 ГДж/га (рис. 8.18) що пояснюється низькою врожайністю зеленої маси у цей час та низькою концентрацією у ній сухої речовини, в тому числі цукрів. Перенесення строків збирання на 20 діб (на кінець серпня) дозволяє підвищити вихід енергії більш ніж у 2 рази. Так, за збирання сорго цукрового у III декаді серпня вихід енергії з біомаси гібридів 'Довіста' та 'Медовий F1' становив відповідно 546,1 та 557,0 ГДж/га, а з біомаси сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 390,5 та 389,6 ГДж/га. За рахунок збільшення вмісту сухої речовини та вуглеводів у біомасі сорго цукрового у фазах воскової та повної стиглості насіння вихід енергії також зростає. Так, за збирання біомаси в середині вересня вихід енергії змінюється від 431,3 ГДж/га (сорт 'Силосне 42') до 715,5 ГДж/га (гібрид 'Довіста'). Перенесення строків збирання ще на 20 діб (на початок жовтня) дозволяє несуттєво збільшити загальний вихід енергії (лише на 6,6 %), але при цьому є ризик вилягання рослин, що ускладнює процес їх збирання.

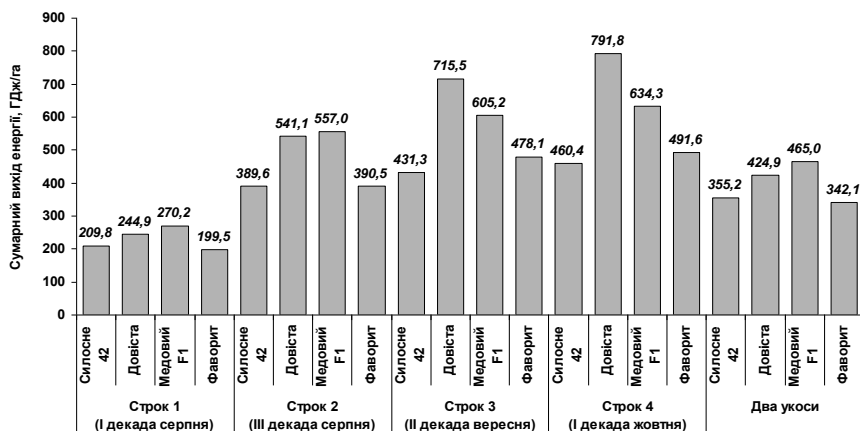


Рис. 8.18. Розрахунковий вихід енергії з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Дворазове збирання сорго цукрового хоч і забезпечило збільшення виходу зеленої маси (див. рис.8.13) однак не дало суттєвого збільшення виходу енергії порівняно з більш пізніми строками. Так, вихід енергії з біомаси гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ на цьому варіанті досліджу становив відповідно 424,9 та 465,0 ГДж/га, а з біомаси сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 342,1 та 355,2 ГДж/га.

Таким чином, для максимальної реалізації енергетичного потенціалу рослин сорго цукрового збирання зеленої маси слід проводити не раніше фази воскової стиглості зерен. Дворазове збирання не забезпечує суттєвого збільшення виходу енергії. За виходом енергії з одиниці площі починаючи із фази воскової стиглості зерна гібрид ‘Довіста’ значно переважав інші досліджувані сорти і гібриди.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що в зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України на формування врожаю зеленої маси сорго цукрового найбільше впливали погодні умови (47,4 %), меншим був вплив сортових особливостей (17,8 %) та строків збирання (12,8 %). Проте на вихід енергії найбільший вплив чинили строки збирання біомаси (37,4 %), а вплив погодних умов (26,9 %) та сортових особливостей (13,3 %) був меншим (рис. 8.19). Це пояснюється тим, що вихід енергії більше залежить від врожайності сухої маси ніж від зеленої.

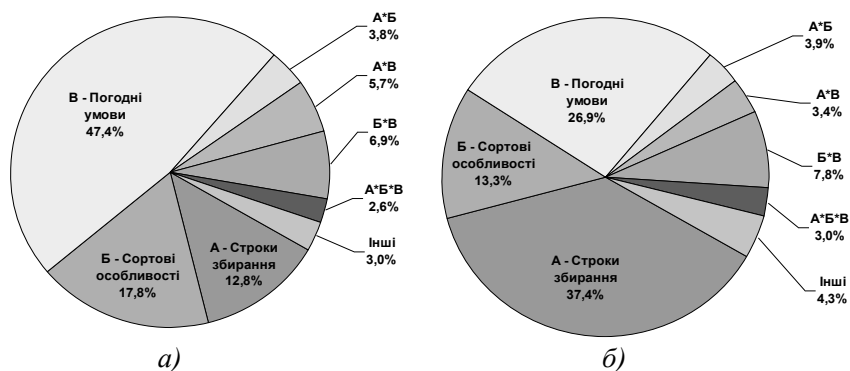


Рис. 8.19 Вплив досліджуваних факторів в умовах БЦ ДСС на:
а) – урожайність зеленої маси; б) – вихід енергії.

Результати регресійного аналізу підтверджують більш тісну залежність виходу енергії від врожайності сухої маси, оскільки коефіцієнт детермінації між виходом енергії та врожайністю зеленої маси становив $R^2=0,81$ (рис. 8.20а), а між виходом енергії та врожайністю сухої маси – $R^2=0,99$ (рис. 8.20б). Крім того коефіцієнт рівняння регресійної залежності виходу енергії від врожайності зеленої маси менший порівняно з відповідним коефіцієнтом для сухої маси ($b_1=6,39 < b_2=20,93$).

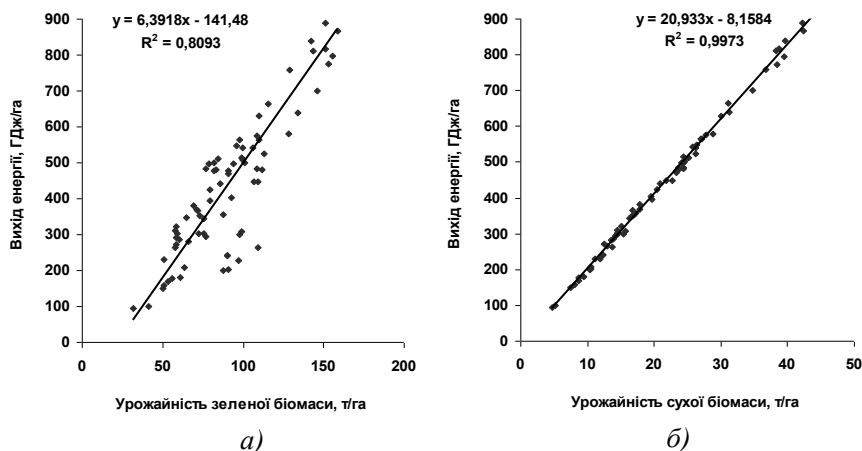


Рис. 8.20. Регресійна залежність виходу енергії в умовах БЦ ДСС від:
а) – урожайності зеленої маси; б) – урожайності сухої маси.

Строкатість погодних умов за роки проведення досліджень дозволила провести оцінку екологічної пластичності та стабільності досліджуваних сортів та гібридів сорго цукрового. Не дивлячись на те, що за середніми показниками врожайності зеленої маси середньопізній гібрид ‘Довіста’ був попереду інших досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового, за рівнем екологічної пластичності він поступився перед середньораннім гібридом ‘Медовий F1’ (рис. 8.21). Так, у гібрида ‘Медовий F1’ показник екологічної пластичності за врожайністю зеленої маси складав $b=1,62$, у гібрида ‘Довіста’ – $b=0,86$, а у сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ відповідно $b=0,73$ та $b=0,79$. Це свідчить, що для центральної частини Лісостепу України гібрид ‘Медовий F1’ має високий потенціал продуктивності, розкриття якої залежить від сприятливих погодних умов та високого рівня агротехніки. Водночас за врожайністю зеленої маси гібрид ‘Медовий F1’ виявився найменш стабільним.

За показником виходу енергії (рис. 8.22) найбільш пластичним також був гібрид ‘Медовий F1’ ($b=1,60$), дещо поступався перед ним гібрид ‘Довіста’ ($b=1,15$). Екологічна пластичність досліджуваних сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ за показником виходу енергії була значно нижчою і становила відповідно $b=0,58$ та $b=0,67$, водночас вищезгадані сорти забезпечували високі показники стабільності, що свідчить що їх вирощування в даній зоні забезпечує хоч і не високий, проте стабільний вихід енергії з одиниці площі навіть за несприятливих погодних умов.

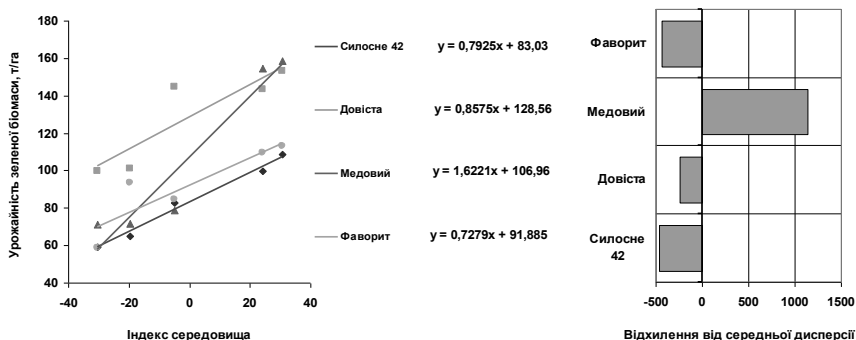


Рис. 8.21. Екологічна стабільність та пластичність сортів сорго цукрового за врожайністю зеленої маси (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

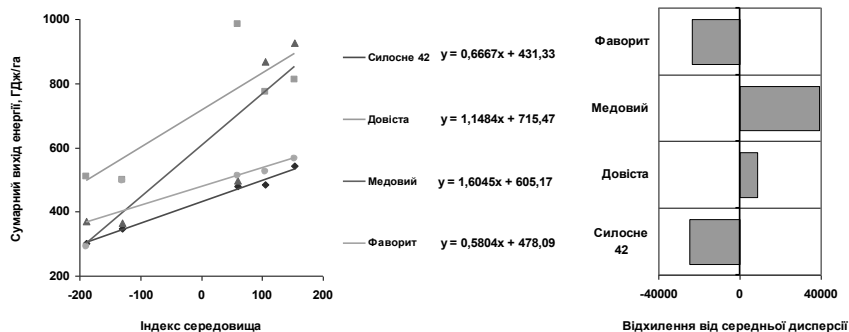


Рис. 8.22. Екологічна стабільність та пластичність сортів сорго цукрового за виходом енергії (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Таким чином, в зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший середній за 2016 - 2020 рр. вихід біопалива та енергії отримано з біомаси сорго цукрового гібрида 'Довіста' (до 791,8 ГДж/га) проте найбільш екологічно пластичним за показниками врожайності зеленої маси ($b=1,62$) та загального виходу енергії з одиниці площі ($b=1,60$) виявився гібрид 'Медовий F1', що свідчить про перспективність вирощування цього гібрида за умови сприятливих погодних умов та належного рівня агротехніки.

8.4. Особливості реалізації біологічного та енергетичного потенціалу рослин сорго цукрового на малопродуктивних землях

За результатами досліджень, проведеними на малопродуктивних землях у зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (Я ДСС) встановлено, що за першого строку збирання врожайність зеленої маси у середньому за 2016 - 2020 рр. становила для гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' відповідно 58,8 та 56,4 т/га, а для сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – по 47,1 т/га (рис. 8.23). Перенесення строків збирання на кінець серпня дозволило підвищити врожайність зеленої маси в середньому на 40,9 %. Так врожайність зеленої маси гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' зросла до 86,6 та 77,5 т/га а сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – до 68,5 та 62,5 т/га відповідно. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня вело до зменшення врожайності зеленої маси в середньому на 14,6 %. Так врожайність гібридів 'Довіста'

і ‘Медовий F1’ зменшилась до 77,0 та 67,9 т/га, а сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – до 57,8 та 54,7 т/га. У більш пізній строк збирання спостерігалось зменшення врожайності зеленої маси ще на 26,6 %.

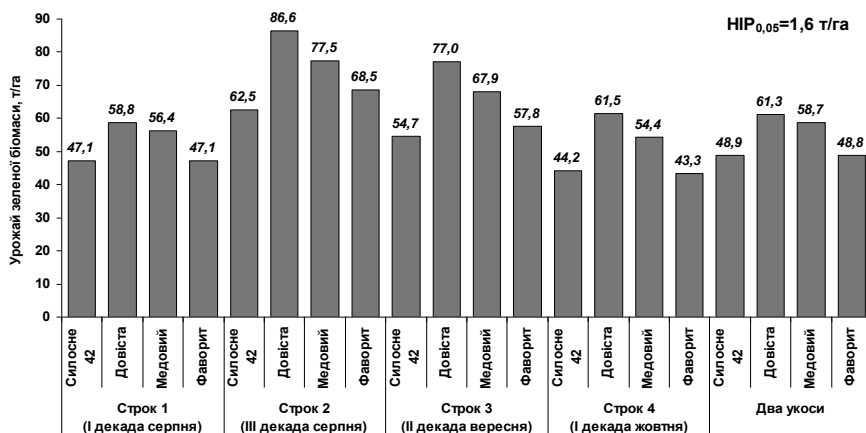


Рис. 8.23. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Проведення двох укосів зеленої маси сорго цукрового (1 – початок серпня, 2 – початок жовтня) дозволило збільшити врожайність зеленої маси лише на 4 % порівняно з першим строком збирання і значно зменшилась порівняно з другим (на 35,5 %) та третім (на 18,2 %) строками збирання. Це пояснюється низьким рівнем відростання сорго цукрового на малопродуктивних ґрунтах.

За результатами досліджень на малопродуктивних ґрунтах Я ДСС встановлено, що за першого строку збирання зеленої маси (кінець липня - початок серпня) вміст цукру у соці сорго цукрового був вищим порівняно з іншими станціями і коливається в межах від 10,5 % (гібрид ‘Довіста’) до 11,2 % (сорт ‘Фаворит’) (рис. 8.24). Це пояснюється тим, що за вирощування сорго цукрового на малопродуктивних ґрунтах тривалість міжфазних періодів у рослин зменшується. За збирання біомаси у кінці серпня концентрація вуглеводів у стеблах зростає на 34,4 % і становить у гібридів ‘Довіста’ і ‘Медовий F1’ відповідно 13,8 і 14,9 %, а у сортів ‘Фаворит’ і ‘Силосне 42’ – по 14,4 відсотка.

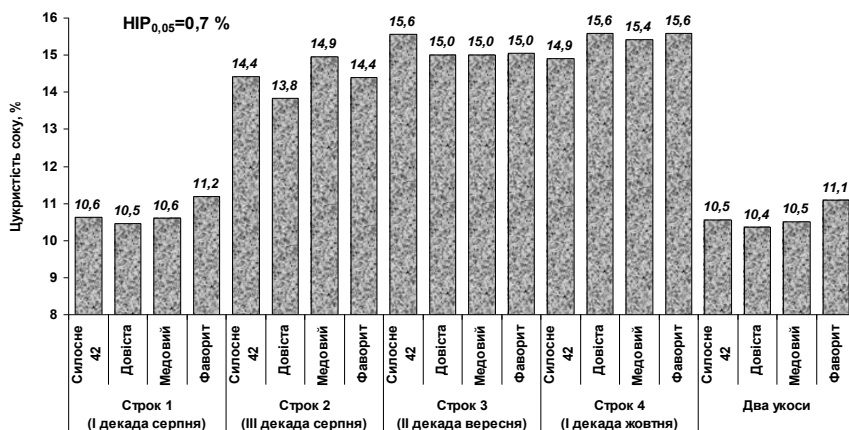


Рис. 8.24. Цукристість соку сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Перенесення строків збирання на середину вересня забезпечило зростання вмісту вуглеводів у соку в середньому лише на 5,2 %, при цьому максимальні показники цукристості були у сорту ‘Силосне 42’ (15,6 %), а в усіх інших досліджуваних сортів і гібридів були в межах 15 %. За пізнього строку збирання (початок жовтня) рослини сорго цукрового збільшили вміст цукру у соку лише на 1 %.

Середня цукристість соку з біомаси сорго цукрового зібраного у два укоси була на рівні показників першого строку збирання і змінювалась в межах від 10,4 % (гібрид ‘Довіста’) до 11,1 % (сорт ‘Фаворит’).

Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового, зібраної у кінці фази інтенсивного росту (початок серпня) коливався в межах від 6,4 - 6,6 тис. м³/га (сорт ‘Силосне 42’ і ‘Фаворит’) до 8,1 - 8,3 тис. м³/га (гібриди ‘Медовий F1’ та ‘Довіста’) (рис. 8.25). За перенесення строку збирання біомаси на кінець серпня вихід біогазу з сорго цукрового зростає в середньому на 1,7 раза. Так, вихід біогазу з гібридів ‘Медовий F1’ та ‘Довіста’ становив відповідно 13,8 та 14,7 тис. м³/га, а сортів ‘Силосне 42’ і ‘Фаворит’ – 10,2 і 11,6 тис. м³/га – відповідно.

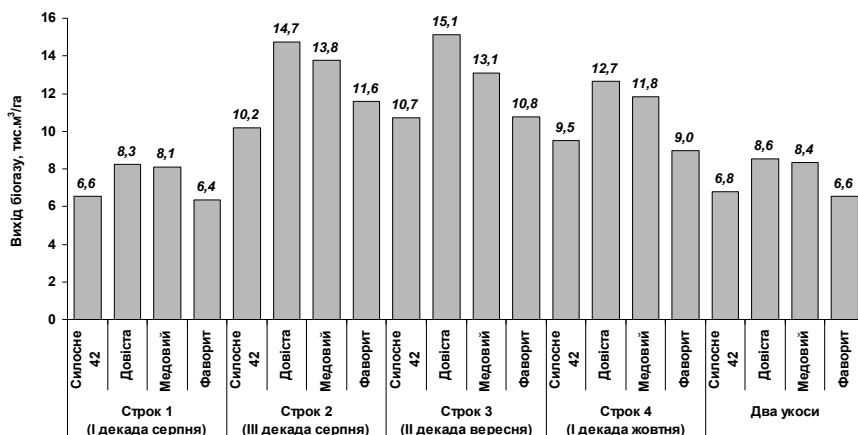


Рис. 8.25 Розрахунковий вихід біогазу з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Із кожним наступним строком збирання вихід біогазу для усіх досліджуваних сортів і гібридів зменшувався, що пов'язано зі зменшенням урожайності зеленої маси. Так, за збирання біомаси у середині вересня вихід біогазу зменшився у середньому на 1,2 % порівняно зі збиранням в кінці серпня, і становив для гібридів 'Довіста' і 'Медовий F1' відповідно 15,1 та 13,1 тис. м³/га, а для сортів 'Фаворит' та Силосней 42 – 10,8 та 10,7 тис. м³/га. Подальше зміщення строків збирання на початок жовтня зменшувало вихід біогазу ще на 15,7 %. Через незначне відростання біомаси сорго цукрового після першого збирання вихід біогазу за дворазового збирання практично не відрізнявся від виходу біогазу за першого строку збирання.

Таким чином, збирання біомаси сорго цукрового, вирощеного на малопродуктивних землях, на біогаз доцільно розпочинати не раніше фази викидання волоті і закінчувати на початку фази повної стиглості зерен. За більш ранніх та пізніх строків збирання спостерігається зменшення кількості отриманого біогазу з одиниці площі. Дворазове збирання біомаси в цій зоні було неефективним.

Результати досліджень, проведених на малопродуктивних землях західної частини Лісостепу України свідчать, що збирання біомаси сорго цукрового на початку серпня та дворазове збирання біомаси на

біоетанол не доцільне, оскільки внаслідок низького вмісту цукрів вихід біоетанолу не перевищує 1,37 т/га та 1,41 т/га (рис. 8.26). Починаючи з фази викидання волотей спостерігається суттєве збільшення виходу біоетанолу (в 1,9 раза) з біомаси сорго цукрового. Так, вихід біоетанолу з гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ за збирання їх біомаси у кінці серпня становить 2,51 та 2,64 т/га, а з сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 2,16 та 1,99 т/га. Подальше перенесення строків збирання на середину вересня призвело до зменшення виходу біоетанолу в середньому по сортах на 12,7 % порівняно з попереднім строком збирання. Перенесення строків збирання ще на 20 діб (початок жовтня) призвело до зменшення виходу біоетанолу на 25,6 %.

Отже, для максимальної реалізації біологічного потенціалу рослин сорго цукрового щодо виходу біоетанолу оптимальними строками збирання зеленої маси є III декада серпня - II декада вересня. Дворазове збирання зеленої маси на біоетанол є неефективним.

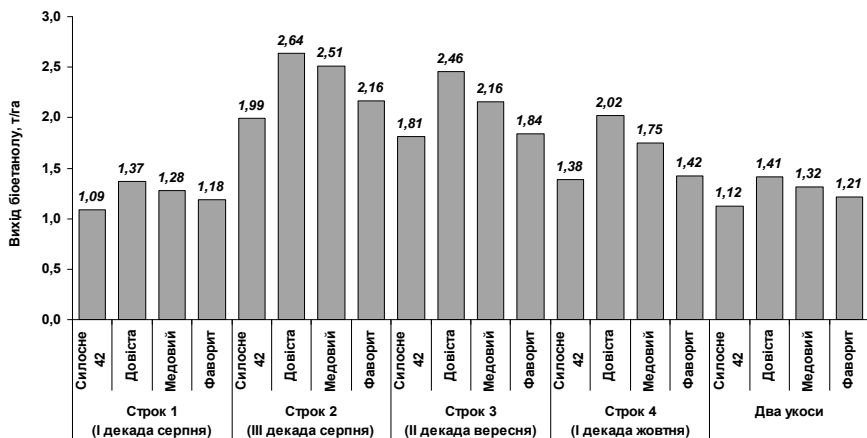


Рис. 8.26. Розрахунковий вихід біоетанолу з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Вихід твердого біопалива безпосередньо залежить від врожайності сухої речовини, тому враховуючи низьку врожайність зеленої маси та низький вміст у ній сухої речовини на початкових фазах розвитку рослин сорго цукрового (до фази викидання волоті)

вихід твердого біопалива за раннього строку збирання та за дворазового збирання біомаси не перевищував 13,0 т/га та 13,4 т/га відповідно (рис. 8.27). За збирання біомаси сорго цукрового у кінці серпня отримано найвищий вихід твердого біопалива, який становить: для гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ відповідно 23,2 та 21,7 т/га, а для сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 18,2 та 16,0 т/га. Подальше перенесення строків збирання вело до зменшення виходу твердого біопалива. Так за збирання біомаси в середині вересня вихід твердого біопалива в середньому по сортах зменшився на 1,2 %, а за подальшого зміщення строків збирання на початок жовтня – на 17 відсотка.

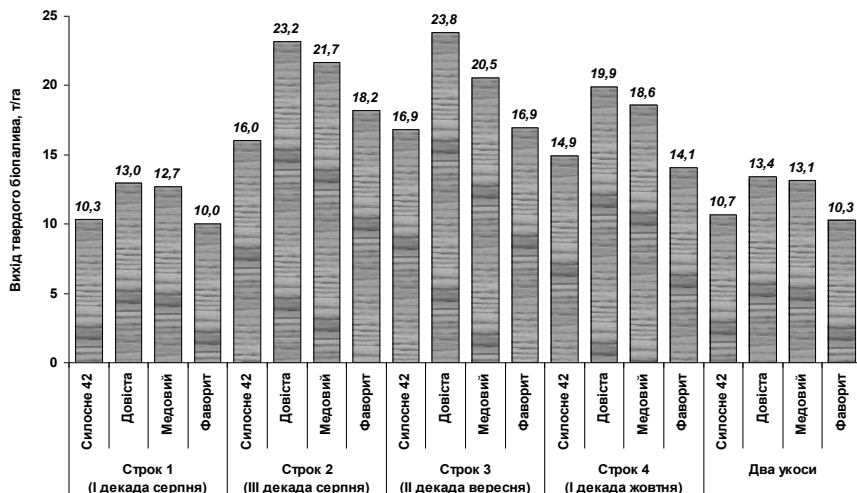


Рис. 8.27. Розрахунковий вихід твердого біопалива з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Таким чином, максимальний вихід твердого біопалива з сорго цукрового, вирощеного на малопродуктивних ґрунтах досягається за збирання біомаси з кінця серпня до середини вересня.

Дослідженнями встановлено, що в разі раннього збирання біомаси сорго цукрового (кінець липня - початок серпня) та дворазового збирання біомаси (початок серпня + початок жовтня) загальний вихід енергії є незначним і не перевищує 250 ГДж/га, що пояснюється низькою врожайністю зеленої маси у цей час та низькою концентрацією у ній

сухої речовини. Перенесення строків збирання на 20 діб (на кінець серпня) дозволяє підвищити вихід енергії в 1,7 раза. Так, за збирання сорго цукрового у третій декаді серпня вихід енергії з біомаси гібридів ‘Довіста’ та ‘Медовий F1’ становив відповідно 435,9 та 408,5 ГДж/га, а з біомаси сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 344,5 та 305,5 ГДж/га (рис. 8.28). Подальше перенесення строків збирання веде до зменшення виходу енергії з одиниці площі. Так, за збирання біомаси в середині вересня вихід енергії зменшується в середньому на 2,8 % порівняно до попереднього строку збирання. Перенесення строків збирання ще на 20 діб (на початок жовтня) зменшує вихід енергії ще на 17 відсотка.

Таким чином, для максимальної реалізації енергетичного потенціалу рослин сорго цукрового на малопродуктивних ґрунтах західної частини Лісостепу України збирання зеленої маси слід проводити з кінця серпня до середини вересня. Дворазове збирання не забезпечує суттєвого збільшення виходу енергії навіть у порівнянні з першим строком збирання. За виходом енергії з одиниці площі гібрид ‘Довіста’ значно переважав інші досліджувані сорти і гібриди на усіх варіантах дослідю.

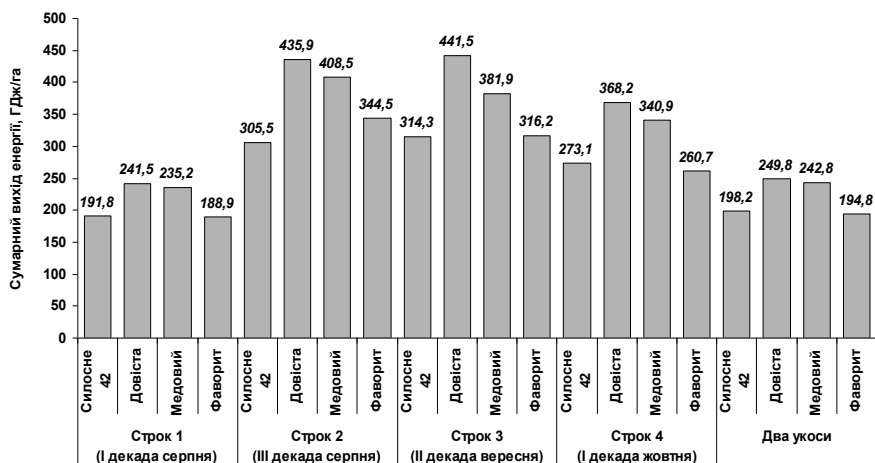


Рис. 8.28 Розрахунковий вихід енергії з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що на малопродуктивних ґрунтах західної частини Лісостепу України на формування врожаю зеленої маси сорго цукрового домінуючий вплив мали погодні умови (57,6 %). Вплив строків збирання та сортових особливостей був значно меншим і становив відповідно 11,5 та 7,6 % (рис. 8.29а). Досить вагомим був вплив спільної дії двох факторів: строків збирання та погодних умов (14,6 %).

Аналогічним був розподіл впливів досліджуваних факторів на вихід енергії (рис. 8.29б). Погодні умови визначали 56,9 % варіювання показника виходу енергії, строки збирання – 14,1 %, а сортові особливості – 6,4 відсотка.

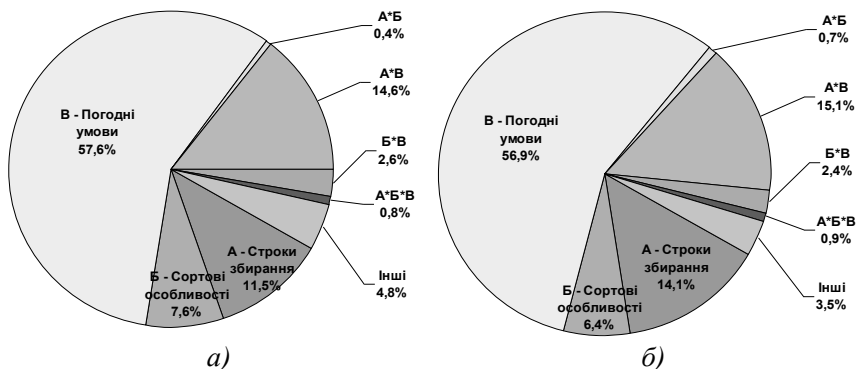


Рис. 8.29. Вплив досліджуваних факторів в умовах Я ДСС на:
а) – урожайність зеленої маси; б) – вихід енергії.

За результатами регресійного аналізу (рис. 8.30) встановлено тісну кореляційну залежність між виходом енергії та врожайністю зеленої маси ($R^2=0,91$) і між виходом енергії та врожайністю сухої маси – $R^2=0,99$. Крім того коефіцієнт рівняння регресійної залежності виходу енергії від врожайності зеленої маси менший порівняно з відповідним коефіцієнтом для сухої маси ($b_1=5,85 < b_2=20,10$).

Аналіз показників екологічної пластичності (рис. 8.31) досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового за врожайністю зеленої маси свідчить що гібриди ‘Довіста’ ($b=1,21$) та ‘Медовий F1’ ($b=1,05$), а також сорт ‘Фаворит’ ($b=0,98$) приблизно однаково реагують на зміну факторів зовнішнього середовища. На відміну від них, сорт ‘Силосне 42’ значно поступався за показником пластичності ($b=0,76$). Проте сорт ‘Силосне 42’ виявився найбільш стабільним, що свідчить

про його здатність формувати досить високий врожай зеленої маси за несприятливих погодних умов та низького рівня агротехніки.

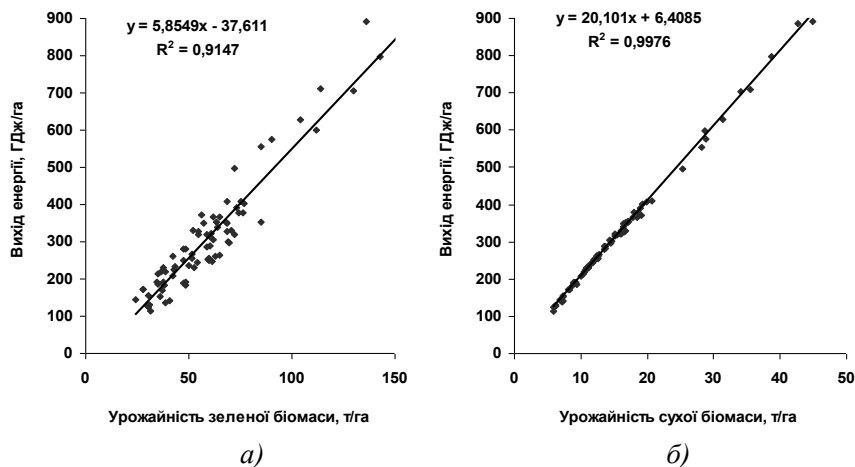


Рис. 8.30. Регресійна залежність виходу енергії в умовах Я ДСС від:
а) – урожайності зеленої маси; б) – урожайності сухої маси.

За показником виходу енергії (рис. 8.32) найбільш пластичним був гібрид ‘Довіста’ ($b=1,29$). Менш пластичними виявились гібрид ‘Медовий F1’ ($b=1,01$) та сорт ‘Фаворит’ ($b=0,92$). Сорт ‘Силосне 42’ ($b=0,64$) був найменш пластичним, проте найбільш стабільним.

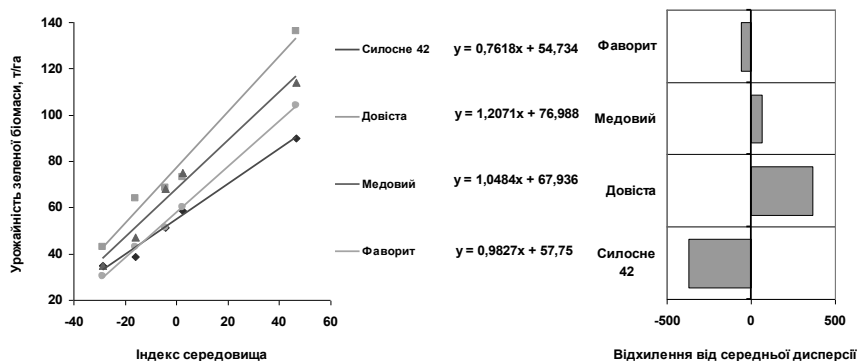


Рис. 8.31. Екологічна стабільність та пластичність сортів сорго цукрового за врожайністю зеленої маси (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

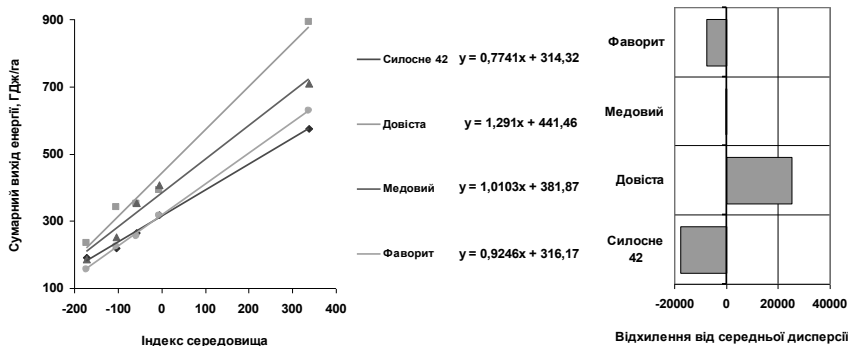


Рис. 8.32. Екологічна стабільність та пластичність сортів сорго цукрового за виходом енергії (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Таким чином, на малопродуктивних ґрунтах в зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 441,5 ГДж/га) отримано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’ за збирання його біомаси з кінця серпня до середини вересня, у якого крім того встановлено найвищий рівень пластичності ($b=1,29$).

8.5 Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового залежно від тривалості періоду вегетації рослин

Провівши синтез інформації, отриманої з різних ґрунтово-кліматичних зон України можна зробити висновок, що за врожайністю зеленої маси середньопізній гібрид ‘Довіста’ значно випереджає інші сорти і гібриди. Так, на кінець серпня врожайність зеленої маси гібрида ‘Довіста’ становить 101,7 т/га, гібрида ‘Медовий F1’ – 92,6 т/га, а сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ відповідно 74,3 та 72,8 т/га (рис. 8.33). За збирання біомаси через 20 діб (II декада вересня) врожайність зеленої маси гібрида ‘Довіста’ сягає максимального в досліді значення – 113,8 т/га, тоді як врожайність гібрида ‘Медовий F1’ на цей час становить 94,1 т/га, а сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – 76,9 та 74,2 т/га відповідно. Станом на початок жовтня врожайність усіх досліджуваних сортів і гібридів зменшується.

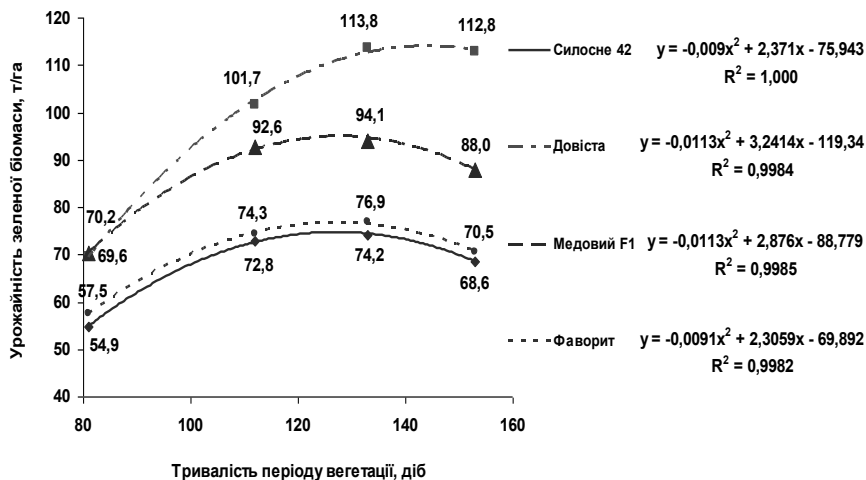


Рис. 8.33. Регресійна залежність урожайності зеленої маси сорго цукрового від сортових особливостей і тривалості періоду вегетації (середнє за 2016 - 2020 рр.)

За результатами регресійного аналізу встановлено залежність між врожайністю зеленої маси та тривалістю вегетаційного періоду для кожного з досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового та розраховано рівняння регресії, що описує цю залежність.

Аналізуючи узагальнені показники цукристості соку сорго цукрового можна зробити висновок, що після різкого приросту цукристості за серпень (майже у 2 рази) в подальшому спостерігається рівномірне збільшення концентрації вуглеводів у соку рослин до кінця вегетації (рис. 8.34). При цьому, незаперечним лідером щодо інтенсивності накопичення вуглеводів у соку є гібрид 'Медовий F1', який станом на кінець серпня майже на 20 % випереджав інші сорти і гібриди. Максимальний вміст цукру у соці спостерігається на початку жовтня: у гібридів 'Медовий F1' та 'Довіста' – 17,0 та 16,3 т/га, а у сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 15,4 та 14,5 % відповідно.

Проведений регресійний аналіз свідчить про криволінійний характер залежностей цукристості соку від тривалості вегетаційного періоду, які з високою точністю можуть бути описані поліномами 2 порядку.

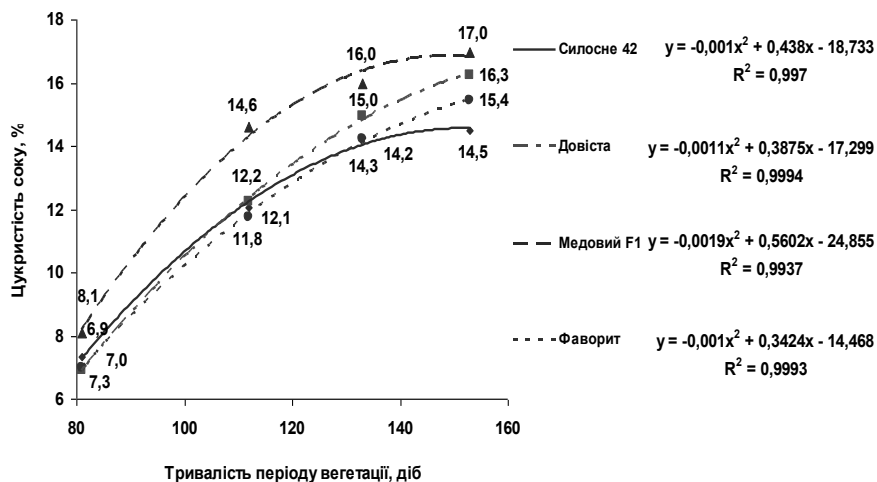


Рис. 8.34. Регресійна залежність цукристості соку від сортових особливостей і тривалості періоду вегетації рослин сорго цукрового (середнє за 2016 - 2020 рр.)

За ранніх строків збирання усереднений по станціях вихід біогазу з біомаси сорго цукрового був незначним і коливався в межах від 6,3 до 8,8 тис. м³/га (рис. 8.35). Перенесення строків збирання на кінець серпня дозволило підвищити вихід біогазу з гібридів 'Довіста' та 'Медовий F1' до 15,9 та 16,1 тис. м³/га, а з сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – до 11,5 та 11,1 тис. м³/га відповідно, при цьому спостерігається чітке розшарування між сортами і гібридами сорго цукрового за виходом біогазу, яке спостерігалось до кінця вегетації. Вже починаючи з середини вересня гібрид 'Довіста' почав значно випереджати інші сорти і гібриди за виходом біогазу. Так на цей час розрахунковий вихід біогазу з біомаси гібрида 'Довіста' становив 20,9 тис. м³/га, гібрида 'Медовий F1' та сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' – 17,9, 14,0 та 13,5 тис. м³/га відповідно. Подальше перенесення строків збирання біомаси не дозволило суттєво підвищити вихід біогазу з сорго цукрового.

Регресійні залежності між виходом біогазу та тривалістю вегетаційного періоду носять криволінійний характер і з високою точністю апроксимуються поліномами 2 порядку.

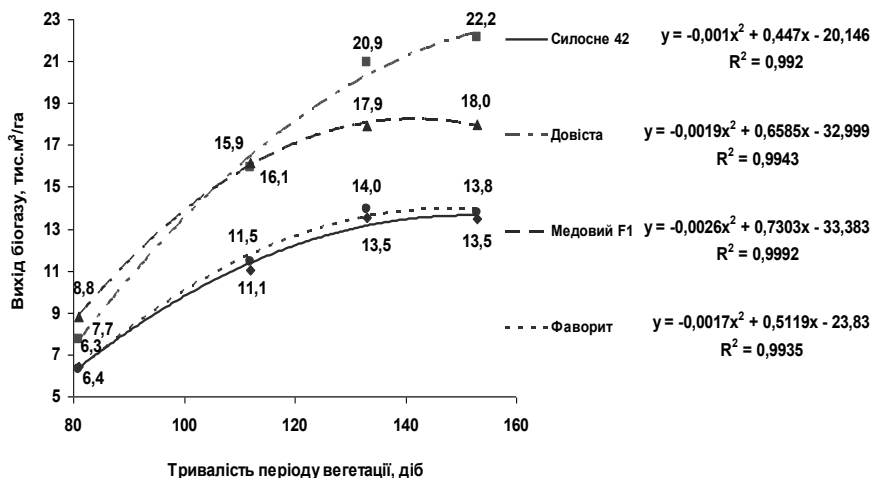


Рис. 8.35. Регресійна залежність розрахункового виходу біогазу від сортових особливостей і тривалості періоду вегетації рослин сорго цукрового (середнє за 2016 - 2020 рр.)

Низький вихід біоетанолу, який спостерігається за першого строку збирання біомаси (І декада серпня) свідчить про недоцільність збирання сорго цукрового раніше початку фази викидання волотей. Перенесення строків збирання на III декаду серпня підвищило вихід біоетанолу більш ніж у 2,5 раза, при цьому найбільше біоетанолу на цей час можна отримати з гібрида 'Медовий F1' (2,97 т/га). Подальше зміщення строків збирання на середину вересня дозволяє підвищити вихід біоетанолу в середньому на 22,5 %, при цьому найбільше біоетанолу можна отримати з біомаси гібрида 'Довіста' – 3,61 т/га (рис. 8.36). Зміщення строків збирання ще на 20 діб дозволило підвищити вихід біоетанолу у середньому лише на 3,6 %. Максимальний у досліді вихід біоетанолу (3,98 т/га) забезпечив гібрид 'Довіста' за пізнього строку збирання.

За результатами регресійного аналізу встановлено, що залежності між виходом біоетанолу та тривалістю вегетаційного періоду носять криволінійний характер і з високою точністю апроксимуються поліномами 2 порядку.

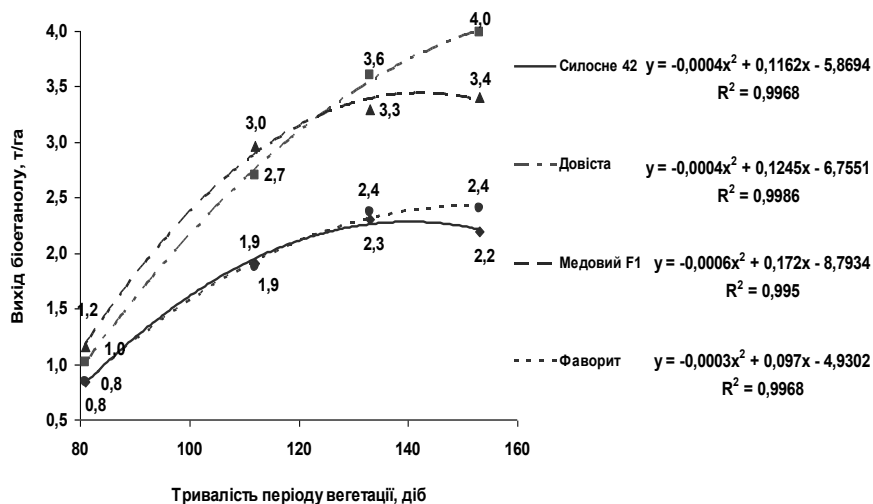


Рис. 8.36. Регресійна залежність розрахункового виходу біоетанолу від сортових особливостей і тривалості періоду вегетації рослин сорго цукрового (середнє за 2016 - 2020 рр.)

За виходом твердого біопалива гібриди сорго цукрового значно перевищували сорти (рис. 8.37). Так, станом на кінець серпня середній вихід біопалива гібридів становив 25,0 - 25,4 т/га, в той час як для сортів цей показник знаходився в межах 17,4 - 18,0 т/га. У подальшому ця диференціація залишалась. Крім того, починаючи з середини вересня за виходом твердого біопалива гібрид 'Довіста' (32,9 т/га) значно випередив гібрид 'Медовий F1' (34,8 т/га), а вихід твердого біопалива з сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' знаходився в межах 21,3 - 21,9 т/га. Приріст виходу твердого біопалива з гібрида 'Довіста' спостерігався до початку жовтня, у той час як інші сорти і гібриди припинили збільшувати цей показник ще в середині вересня.

Проведений регресійний аналіз вказує на криволінійний характер залежностей виходу твердого біопалива від тривалості вегетаційного періоду, які з високою точністю можуть бути апроксимовані поліномами 2 порядку.

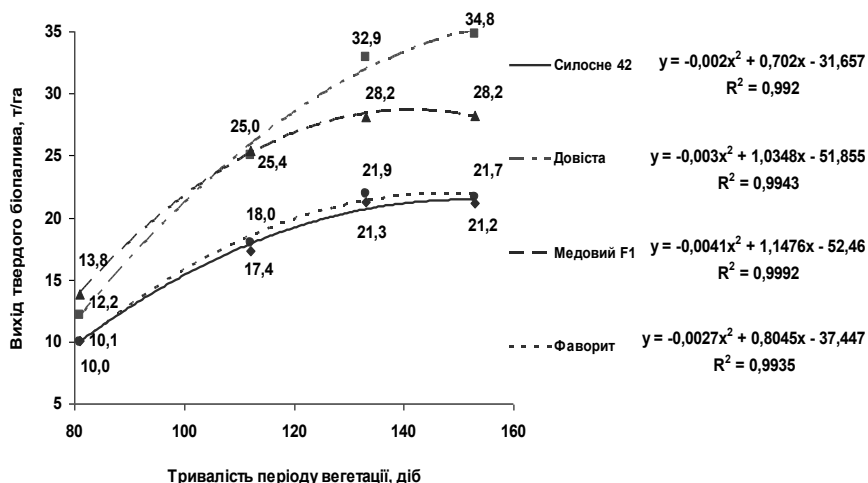


Рис. 8.37 Регресійна залежність розрахункового виходу твердого біопалива від сортових особливостей і тривалості періоду вегетації рослин сорго (середнє за 2016 - 2020 рр.)

Остаточну оцінку енергетичного потенціалу досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового в різних ґрунтово-кліматичних умовах проводили за показником виходу енергії (рис. 8.38). Проаналізувавши узагальнені дані з 4 точок проведення досліджень, які відрізнялися як за погодними, так і за ґрунтово-кліматичними умовами, можна зробити висновок, що ранні строки збирання не забезпечують реалізацію енергетичного потенціалу жодного з досліджуваних сортів і гібридів. Збирання зеленої маси в кінці серпня дозволяє досягти близького до максимального виходу енергії середньораннього гібрида 'Медовий F1' (479 ГДж/га), тому його біомасу на біопаливо можна розпочинати збирати у цей період. Розкриття енергетичного потенціалу сортів 'Фаворит' та 'Силосне 42' реалізується за збирання їх біомаси починаючи з середини вересня. Для реалізації енергетичного потенціалу найбільш продуктивного середньопізнього гібрида 'Довіста' збирання його біомаси слід розпочинати в кінці вересня, або на початку жовтня, вихід енергії при цьому в середньому становить 655 ГДж/га.

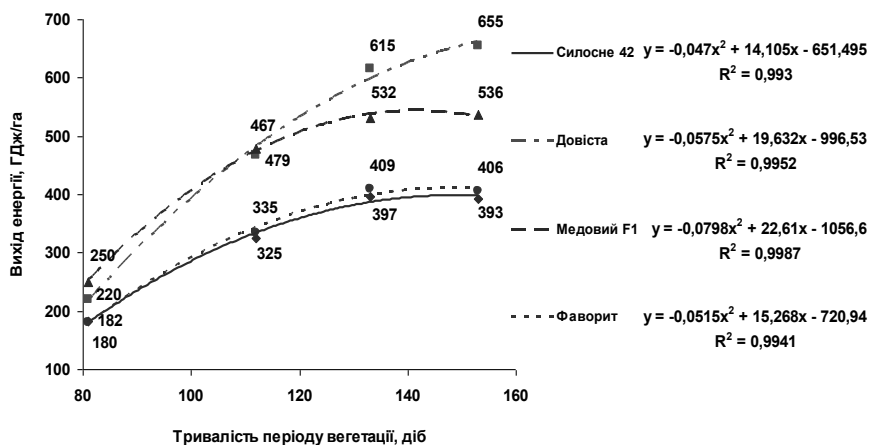


Рис. 8.38. Регресійна залежність виходу енергії від сортових особливостей і тривалості періоду вегетації рослин сорго цукрового (середнє за 2016 - 2020 рр.)

Регресійний аналіз показників виходу енергії з досліджуваних сортів і гібридів залежно від тривалості періоду їх вегетації свідчить про криволінійний характер залежностей, які з високою точністю можуть бути апроксимовані поліномами 2 порядку.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено (рис.8.39а), що найбільший вплив на формування врожайності зеленої маси сорго цукрового чинили ґрунтово-кліматичні умови (42,3 %), значно меншим був вплив сортових особливостей (22,9 %) та строків збирання біомаси (14,8 %).

Структура впливу факторів досліджу на вихід енергії була іншою. Так, найбільший вплив на варіювання виходу енергії з одиниці площі чинили строки збирання (42,9 %). Вплив ґрунтово-кліматичних умов та сортових особливостей був значно меншим і становив відповідно 20,0 та 16,4 % (рис. 8.39б).

Збирання врожаю є одним з вузьких місць у технології вирощування сорго цукрового. Складність збирання обумовлена відсутністю спеціальної високопродуктивної збиральної техніки, а також біологічними властивостями культури: пізньостиглість, висока вологість листково-стебельної біомаси, схильність до полягання [465].

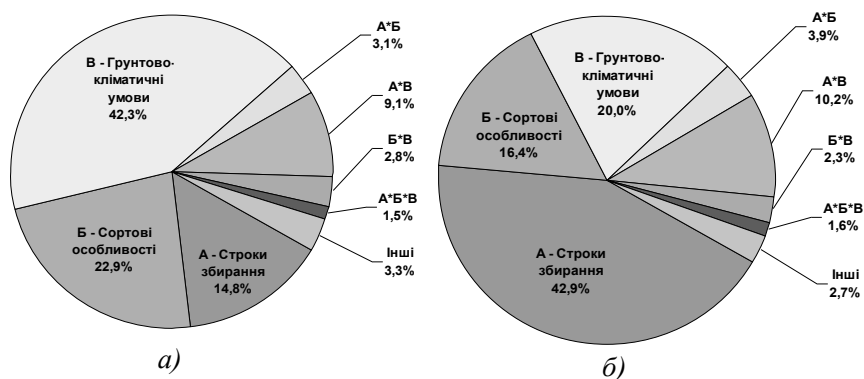


Рис. 8.47. Вплив досліджуваних факторів на:
 а) – урожайність зеленої маси; б) – вихід енергії.

8.6. Особливості збирання та перероблення біомаси сорго цукрового на біопаливо

Строки та спосіб збирання біомаси сорго цукрового залежать від особливостей подальшого її використання: для виробництва біогазу, біоетанолу чи твердого біопалива.

Якщо біомаса використовується як сировина для виробництва біогазу, то сорго цукрове слід збирати у період максимальної врожайності зеленої маси, яка досягається у фазі формування і наливу зернівки (рис. 8.40). У цей період суха речовина біомаси становить 20 - 25 %, що є оптимальним для виробництва біогазу.

У зоні достатнього зволоження, з метою отримання більшої кількості біомаси для біогазу з одиниці площі сорго цукрове можна збирати двічі: на початку серпня (у період інтенсивного росту) та на початку жовтня. У цьому випадку загальна кількість отриманої зеленої маси сорго цукрового сягатиме 150 т/га.

Для виробництва біогазу можна використовувати всю біомасу сорго цукрового (стебла, листя та волоті), тому збирання сорго цукрового здійснюється звичайними силосозбиральними комбайнами КСК-600, Дон-750, Jaguar 900, Mammut 8790, John Deere 8000 і інші.

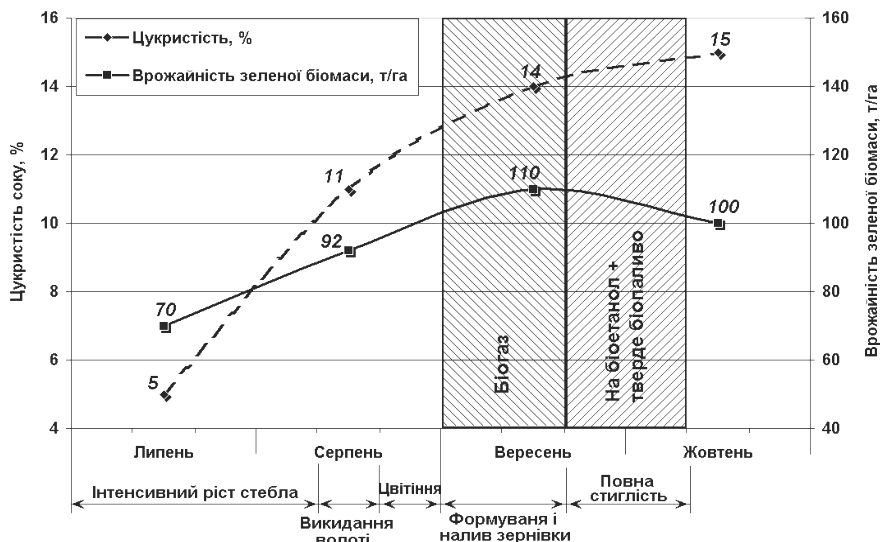


Рис. 8.40. Динаміка цукристості та врожайності зеленої маси сорго цукрового

Для більш ефективного використання біогазових установок зібрану біомасу сорго цукрового слід засилосувати. Збирання сорго цукрового на біогаз відбувається у фазу формування і наливу зернівки, для якої характерно низький вміст сухої речовини. Внаслідок цього під час силосування, відбувається витікання частини соку та активне бродіння з утворенням великої кількості кислот і спиртів, що негативно впливає на якість силосу та зменшення кількості отриманого з нього біогазу. Щоб цього уникнути, під час силосування до сорго цукрового слід додавати інші, більш сухі компоненти, наприклад солому.

Перед подачею зеленої маси чи силосу сорго цукрового до біогазового реактора (метантенка) її слід подрібнити, щоб інтенсифікувати процес метанового зброджування та уникнути забивання рухомих елементів метантенка рослинними залишками.

У випадку використання біомаси сорго цукрового для виробництва біоетанолу та твердого біопалива збирання врожаю слід розпочинати у період максимального накопичення цукрів у соку стебел. Як правило це відбувається наприкінці вересня у фазі повної стиглості зерна.

Під час збирання біомаси на біоетанол слід відокремлювати стебла від листя та волотей, оскільки їх наявність негативно впливатиме на

вихід біоетанолу. При цьому, стебла сорго цукрового не слід інтенсивно подрібнювати, так як це призводитиме до втрат цукромісткого соку під час транспортування та зберігання біомаси. Розмір подрібнених частин стебла не повинен бути меншим 15 - 25 см. Збирання стебел сорго цукрового на біоетанол здійснюють комбайнами для збирання цукрової тростини, такими як Cameco CH 3500, Case A8000, Claas Ventor та іншими (рис. 8.41).

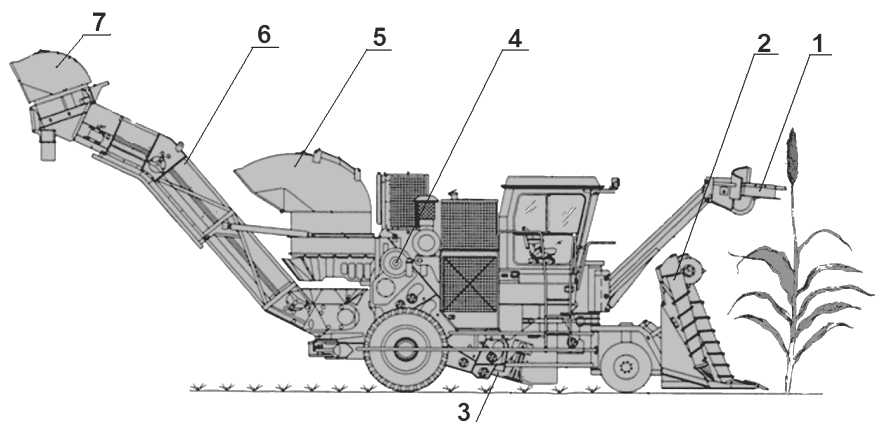


Рис. 8.41. Комбайн для збирання стебел сорго цукрового на біоетанол:

1 – ріжучий апарат для волоті; 2 – стеблепідіймачі; 3 – ріжучий апарат для стебел; 4 – подрібнювач; 5 – перший пневмосепаратор листя; 6 – елеватор для навантаження біомаси; 7 – другий пневмосепаратор листя

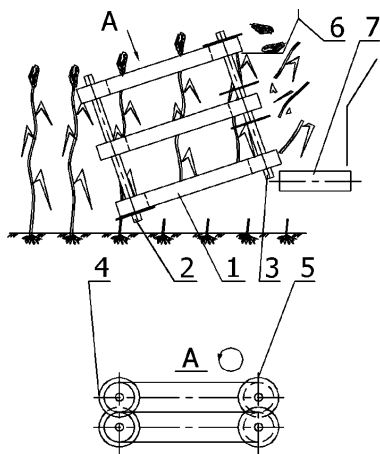
Комбайн для збирання сорго цукрового на біоетанол працює наступним чином: волоті рослин відокремлюються різальним апаратом 1 та залишаються на полі, стебла за допомогою стеблепідіймачів 2 подаються на ріжучий апарат 3. Зрізані стебла транспортуються до двоножового барабанного подрібнювача 4, після чого подрібнені стебла разом з листям потрапляють у перший пневмосепаратор 5, на якому відбувається попередній етап очистки маси від листя. У кінцевій частині елеватора для навантаження біомаси 6 встановлено другий пневмосепаратор 7, за допомогою якого відбувається остаточний етап відокремлення листя від стеблової біомаси. Відокремлене на першому та другому етапах листя залишається на поверхні поля, а очищена стеблова

біомаса сорго цукрового подається до транспортного засобу, яким вона доставляється до місця переробляння. Зібрану в такий спосіб біомасу сорго цукрового можна зберігати не більше 2 - 3 діб.

За результатами досліджень нами запропоновано пристрій для збирання стебел сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу [390]. Пристрій складається із зажимного транспортера, виконаного у вигляді кількох пар безкінечних ременів 1, розташованих один над одним на певній відстані на похилих валах 2 та 3, та подрібнюючого механізму у вигляді привідних дискових ножів 4 та 5, розташованих нижче та між ременями транспортера (рис. 4.42). Особливістю конструкції є те, що дискові ножі встановлені попарно на похилих валах транспортера, при цьому передні ножі розташовані нижче нижнього ремня на передніх валах та призначені для відрізання стебел рослин сорго цукрового від коренів, а інші ножі – на задніх валах, для подрібнення стебел.

Під час роботи дискові ножі 4 зрізують стебла які затискаються між ременями 1 та подаються ними до дискових ножів 5, які в свою чергу подрібнюють стебла та відрізають волоті. Волоті падають у збірник 6, а подрібнені стебла у бункер 7.

Завдяки такому розташуванню дискових ножів досягається суттєве зменшення енергозатрат під час збирання рослин сорго цукрового.



- 1 – безкінечні ремені;
- 2, 3 – похилі вали
- 4, 5 – дискові ножі;
- 6 – збірник для волотей;
- 7 – бункер для подрібнених стебел.

Рис. 8.42. Спосіб збирання стебел сорго цукрового та пристрій для його реалізації

Для виробництва біоетанолу використовують стебла сорго цукрового порізані на частини завдовжки 15 - 25 см і очищені від листків. Це досягається за рахунок використання комбайнів для збирання цукрової тростини. Зібрана в такий спосіб біомаса доставляється до місця перероблення або безпосередньо від збирального комбайна, або з місця тимчасового зберігання.

З транспортного засобу стеблову біомасу сорго цукрового потрапляє у приймальний бункер 1, з якого за допомогою елеватора 2 подається до подрібнювача 3 (рис. 8.43), де відбувається інтенсивне подрібнення частин стебел сорго цукрового для того, щоб збільшити відсоток виходу соку. Подрібнена біомаса за допомогою елеватора 4 подається на прес 5, який складається із трьох вальців. Для підвищення інтенсивності видавлювання соку вальці преса мають ребристу поверхню.

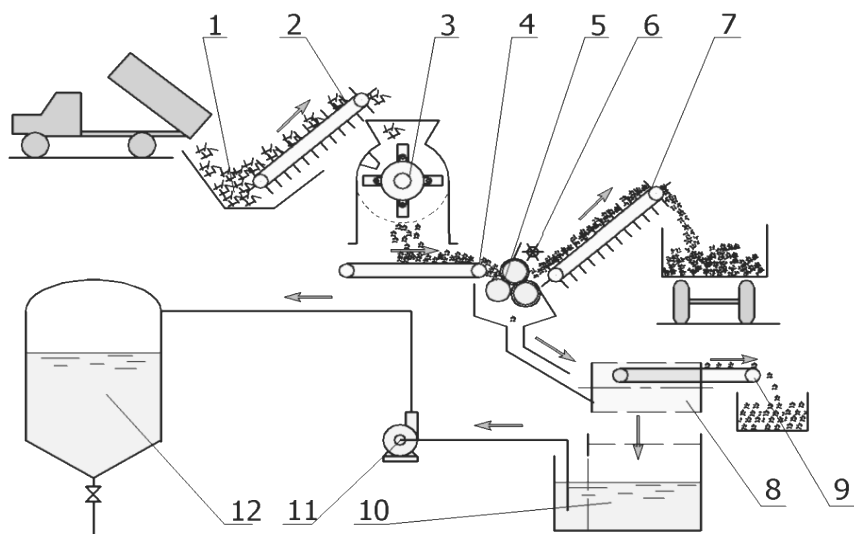


Рис. 8.43. Схема перероблення біомаси сорго цукрового на біоетанол:

- 1 – приймальний бункер; 2 – елеватор подрібнювача;
- 3 – подрібнювач біомаси сорго; 4 – елеватор подрібненої біомаси;
- 5 – трьохвальцевий прес; 6 – бітер; 7 – елеватор багаси; 8 – фільтр соку; 9 – транспортер залишків фільтрації; 10 – проміжна ємкість;
- 11 – насос; 12 – резервуар для соку

Видавлений сік самопливом потрапляє на фільтр 8, а багаса знімається бітером 6 з вальця преса на елеватор 7, яким вона навантажується в транспортний засіб. Відфільтрований сік через додатковий фільтр потрапляє в проміжну ємкість 10, а залишки стебел подаються транспортером 9 або на повторне віджимання, або навантажуються в транспортний засіб. З проміжної ємкості 10 за допомогою насоса 11 сік сорго цукрового подається в резервуар 12 і може транспортуватись для подальшої переробки на біоетанол.

Свіжий, не пастеризований сік сорго цукрового може зберігатись не більше 2 - 3 годин, тому розрив у часі між видавлюванням соку і його подальшою переробкою на біоетанол повинен бути мінімальним. Застосування хімічних консерваторів погіршує процес отримання етанолу, а термічна обробка соку негативно впливає на собівартість та енергоємність готової продукції.

Таким чином, збирання зеленої маси як сировини для виробництва біопалива є найбільш складною і відповідальною ланкою в технології вирощування сорго цукрового в Україні через відсутність спеціалізованої техніки та біологічні особливості культури. При цьому потребують додаткового вивчення строки збирання біомаси сорго цукрового, які забезпечили б максимальний вихід біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Висновки до розділу

За результатами комплексних досліджень, які проводились у різних ґрунтово-кліматичних зонах України можна зробити наступні висновки:

1. У зоні недостатнього зволоження найбільший енергетичний потенціал притаманний рослинам сорго цукрового гібрида 'Довіста' (до 815,8 ГДж/га) та гібрида 'Медовий F1' (до 792,0 ГДж/га). Не дивлячись на високий рівень пластичності сорт 'Фаворит' поступається за загальним виходом енергії (до 547,2 ГДж/га). Сорт 'Силосне 42' має найменший показник пластичності ($b=0,49$) проте він є найбільш стабільним, що дозволяє отримувати стабільний хоч і не високий вихід

енергії (до 559,6 ГДж/га) за вирощування цього сорту в даній зоні не залежно від погодних умов та рівня агротехніки.

2. Для зони нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 646 ГДж/га) отримано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’, у якого крім того встановлено найвищий рівень екологічної пластичності ($b=1,6$).

3. У зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії отримано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’ (до 791,8 ГДж/га) проте найбільш екологічно пластичним за показником загального виходу енергії з одиниці площі виявився гібрид ‘Медовий F1’ ($b=1,62$), що свідчить про перспективність вирощування цього гібрида за умови сприятливих погодних умов та високого рівня агротехніки.

4. На малопродуктивних ґрунтах найбільший вихід біопалива та енергії (до 441,5 ГДж/га) отримано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’ за збирання його біомаси з кінця серпня до середини вересня, у якого крім того встановлено найвищий рівень пластичності ($b=1,29$).

5. Проаналізувавши узагальнені дані з чотирьох дослідно-селекційних станцій, що різнились як за погодними, так і за ґрунтово-кліматичними умовами, можна зробити висновок, що ранні строки збирання не забезпечують реалізацію енергетичного потенціалу жодного з досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового.

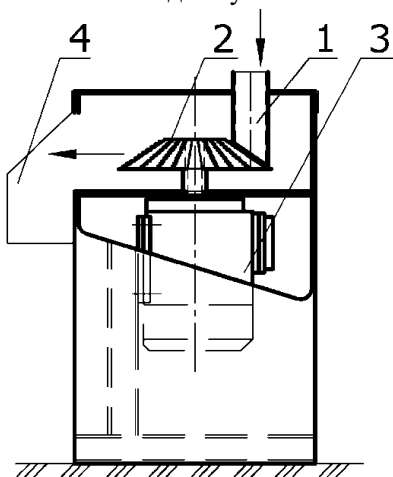
6. Збирання зеленої маси гібрида ‘Медовий F1’ можливо розпочинати у кінці серпня, при цьому вихід енергії становитиме 479 ГДж/га. Розкриття енергетичного потенціалу сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ реалізується за збирання їх біомаси починаючи з середини вересня. Для реалізації енергетичного потенціалу найбільш продуктивного середньопізнього гібрида ‘Довіста’ збирання його біомаси слід розпочинати в кінці вересня, або на початку жовтня, вихід енергії при цьому складає 655 ГДж/га.

РОЗДІЛ 9

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА АГРОБІОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО

За рахунок високої продуктивності та якості біомаси сорго цукрове є однією з найперспективніших для біоенергетики сільськогосподарських культур. Не зважаючи на це технології його перероблення в Україні досі недостатньо відпрацьовані, зокрема потребують вивчення способи отримання соку. Тому дослідження, спрямовані на встановлення ефективності різних способів отримання соку із сучасних гібридів сорго цукрового є актуальними і своєчасними.

Дослідженнями різних способів отримання соку зі стебел сорго цукрового займалися багато дослідників та вчених: Шепель Н. А. [464], Левандовський Л.В., Олійнічук С.Т. [351], Валуєв М.В. [240], Таршилов С.П. [446], Литвинов М.В. [352] та ін. [377, 445, 469] Проте в цих дослідженнях не вивчається вплив інтенсивності подрібнення стебел сорго цукрового та термообробка на вихід соку та його якість. Тому, метою наших досліджень було розробити пристрій для подрібнення стебел сорго цукрового та встановити впливу інтенсивності подрібнення стебел на вихід соку та його якість.



**Рис. 9.1. Схема
фрезерного подрібнювача
стебел сорго цукрового**

Експериментальні дослідження з визначення впливу сортових особливостей на кількість і якість соку з сорго цукрового проводилися протягом 2011 - 2014 років з сортами і гібридами сорго цукрового української селекції: ‘Силосне 42’, ‘Зубр’, ‘Медовий F1’, ‘Мамонт’, ‘Буйвол’, ‘Нектарний’. Рослини відбиралися в фазах цвітіння і повної стиглості зерна. Вивчали два способи отримання соку: за першим – стебла розрізали секатором на частини завдовжки 3 - 5 см, за другим – стебла подрібнювали на частинки розміром до 0,1 мм за допомогою спеціально виготовленого фрезерного подрібнювача, який складається з завантажувального вікна 1 (рис. 9.1),

конічної фрези 2, встановленої на валу електродвигуна 3 і вивантажувального бункера 4. Свіжозрізані стебла без листя і волоті подаються через вікно 1 на конічну фрезу 2, яка містить 30 рядів ріжучих елементів і обертається з частотою 50 с^{-1} . Таким чином, досягається 1500 циклів різання за 1 с, що за швидкості подачі стебел $0,15 \text{ м/с}$ забезпечує їх подрібнення на частинки розміром до $0,1 \text{ мм}$. Таке інтенсивне подрібнення призводить до руйнування клітинних оболонок (механічної деструкції). Подрібнена маса направляється відцентровою силою в бункер 4.

Для отримання соку використовували гідравлічний прес з робочим тиском $1,6 \text{ МПа}$. Гідравлічний прес для видавлювання соку з сорго цукрового схематично зображено на рисунку 9.2. Подрібнена маса або порізані стебла закладаються у циліндричну гільзу 1, у боковій поверхні якої є декілька рядів отворів, через які сік сорго під дією поршня 2 витікає у ємність для збирання соку 3.

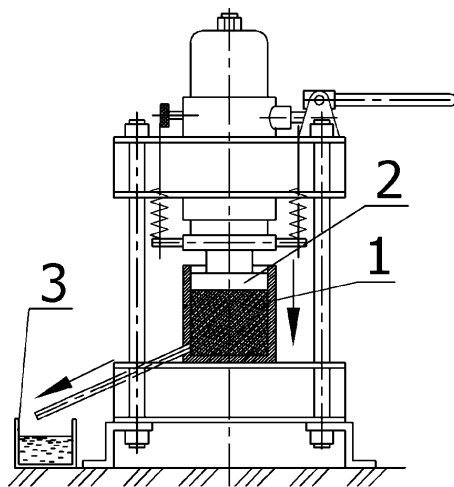


Рис. 9.2. Схема видавлювання соку зі стебел сорго цукрового гідравлічним пресом

За вихід соку приймали виражене у відсотках відношення маси отриманого соку до маси зразка до пресування. Маса одного зразка становила $250 - 300 \text{ г}$. Загальний вміст цукру у соку визначали за допомогою рефрактометра.

9.1. Вплив особливостей сорту, фази розвитку рослин та способу подрібнення стебел на вихід соку

Результати досліджень свідчать, що інтенсивне подрібнення стебел сорго цукрового сприяє значному підвищенню виходу соку, як у фазу цвітіння, так і у фазу повної стиглості.

У фазу цвітіння середній для всіх досліджуваних гібридів вихід соку з різаних стебел склав 39,6 %. При використанні подрібнених стебел вихід соку збільшився до 63,4 %. Таким чином, інтенсивне подрібнення стебел дозволяло в середньому в 1,6 рази збільшити вихід соку, при цьому ефект від подрібнення стебел для різних гібридів був різним. Найбільша різниця у виході соку спостерігалася у гібрида ‘Зубр’, подрібнення стебел якого дозволило в 1,82 рази збільшити вихід соку (з 36,6 до 66,6 %) (рис. 9.3). Найменший ефект від способу підготовки стебел у фазі цвітіння відзначався у гібрида ‘Буйвол’, подрібнення стебел якого дозволило збільшити вихід соку в 1,35 рази (з 45,2 до 61,1 %). Максимальний в досліді вихід соку спостерігався у сорту ‘Нектарний’: на подрібнених стеблах – 71,1 %, на різаних – 48,3 %. Найменшу кількість соку було отримано з сорту ‘Силосне 42’: 47,7 % – з подрібнених стебел, 26,6 % – з різаних.

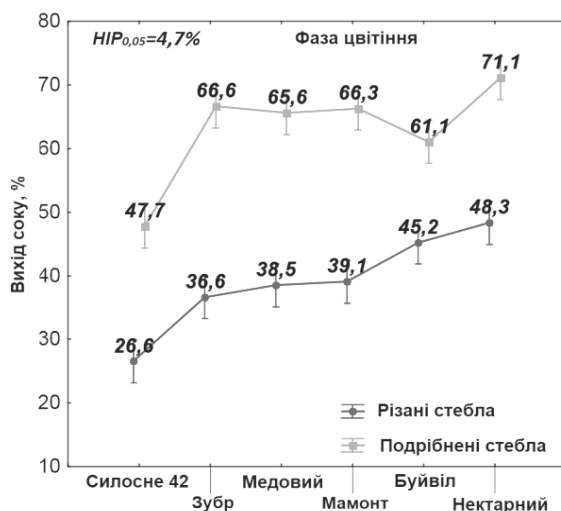


Рис. 9.3. Вихід соку в залежності від сортових особливостей і способу підготовки стебел сорго цукрового у фазі цвітіння

У фазі повної стиглості зерна інтенсивне подрібнення стебел також дозволило збільшити вихід соку для всіх досліджуваних сортів і гібридів в середньому у 1,6 рази (з 40,1 до 63,7 %). Максимальний ефект від подрібнення стебел у фазі повної стиглості відзначався у гібрида ‘Медовий F1’, для якого подрібнення стебел дозволило підвищити вихід соку в 1,92 рази – з 32,9 до 63,2 % (рис. 9.4).

За результатами дисперсійного аналізу експериментальних даних встановлено, що вихід соку на 73,6 % залежить від способу підготовки стебел (рис. 9.5). Вплив сортових особливостей на варіювання показника виходу соку склало 13,9 %. Фази розвитку рослин не мали істотного впливу на вихід соку. Невисоким, але істотним був спільний вплив факторів Фаза*Гібрид (4,2 %) і Гібрид*Спосіб (1,8 %). Вплив інших факторів склав 6,6 відсотка.

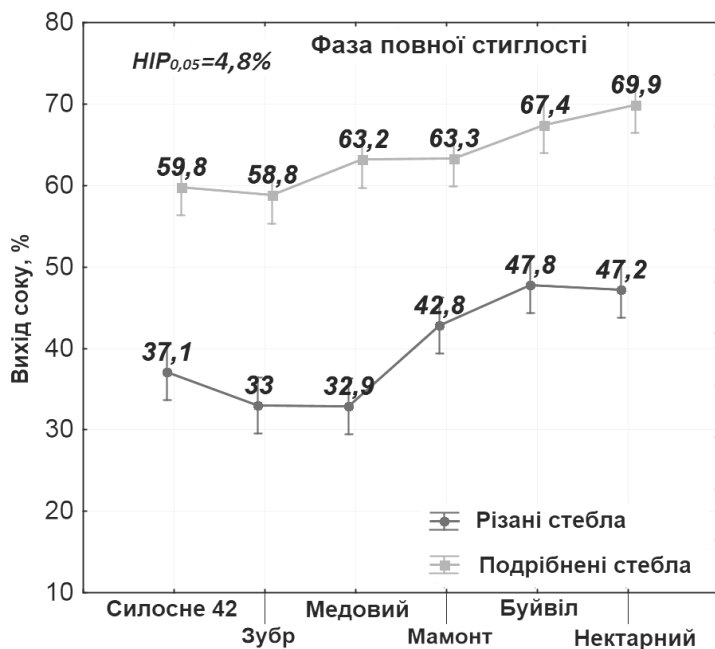


Рис. 9.4. Вихід соку в залежності від сортових особливостей і способу підготовки стебел сорго цукрового в фазі повної стиглості

У результаті досліджень встановлено вплив досліджуваних факторів на цукристість соку. Інтенсивне подрібнення стебел дозволило в середньому на 2,1 % підвищити загальний вміст цукрів в соку (від 12,3 до 14,4 %). Найбільша прибавка цукристості від подрібнення стебел відзначалась у сорту ‘Силосне 42’ (від 7,5 до 12,5 %) і гібрида ‘Медовий F1’ (від 10,1 до 15,1 %). Інші вивчені в досліді гібриди сорго цукрового незначно відреагували (в межах $HP_{0,05}$) на попередню обробку стебел підвищенням цукристості (табл. 9.1). Максимальна для фази цвітіння цукристість відмічалась у сорту ‘Нектарний’ (15 - 16 %), а найменша – у сорту ‘Силосне 42’ (7,5 - 12,5 %).

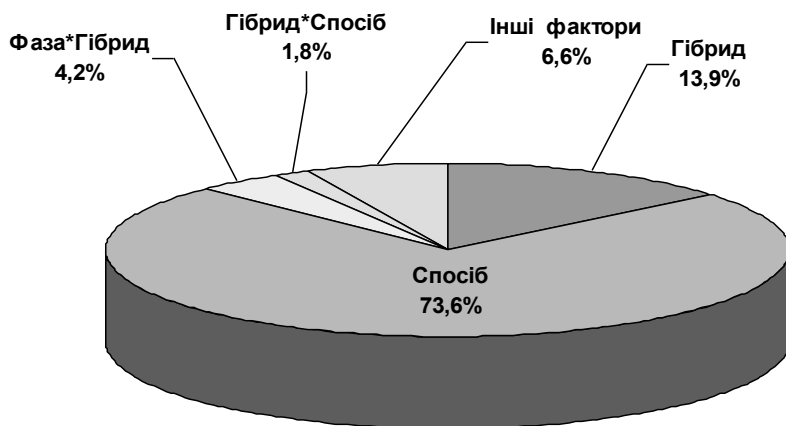


Рис. 9.5. Вплив досліджуваних факторів на вихід соку зі стебел сорго цукрового (2011 - 2014 рр.)

Таким чином, подрібнення стебел сорго цукрового на частинки розміром до 0,1 мм має вирішальний вплив на вихід соку.

9.2. Залежність цукристості соку від способів його отримання та сортових особливостей сорго цукрового

Подрібнення стебел сорго цукрового у фазі повної стиглості зерна сприяло несуттєвому підвищенню цукристості соку в середньому на 1,4 % (від 15,8 до 17,2 %). Значний вплив на вміст цукрів у соку в цій фазі мали сортові особливості (табл. 9.1). Зокрема найменша цукристість соку відзначалася у сорту ‘Силосне 42’ і складала 13,1 % і 14,0 % відповідно для різаних і подрібнених стебел. Дещо вищою була цукристість соку гібрида ‘Буйвол’ і складала 15,0 % для різаних стебел і 16,0 % – для подрібнених. Найвища цукристість соку, отриманого з різаних стебел, відмічалася у гібрида ‘Мамонт’ і складала 17,2 %. Особливістю цього гібрида є найменший приріст цукристості соку від застосування інтенсивного подрібнення стебел. Так, цукристість соку, отриманого з подрібненої маси стебел гібрида ‘Мамонт’, становить 17,5 %, що лише на 0,3 % перевищує цей показник для різаних стебел. Найвища в досліді цукристість соку сорго цукрового (19,0 %) спостерігалася у гібрида ‘Медовий F1’. Для цього гібрида характерна найбільша різниця в цукристості соку, отриманого з різаних і подрібнених стебел. Істотне збільшення цукристості від подрібнення стебел у фазі повної стиглості відмічалася тільки у гібрида ‘Медовий F1’ і сорту ‘Нектарний’. Для інших досліджуваних сортів і гібридів збільшення цукристості було не істотним (в межах НІР).

Середній вміст цукрів в соку досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен складало 16,5 %, а в фазі цвітіння – 13,3 відсотка.

Таблиця 9.1

Цукристість соку в залежності від сортових особливостей, фази розвитку рослин і способу підготовки стебел, %

Гібрид	Фаза цвітіння		Фаза повної стиглості	
	Різані стебла	Подрібнені стебла	Різані стебла	Подрібнені стебла
‘Силосне 42’	7,5	12,5	13,1	14,0
‘Зубр’	14,0	15,0	17,0	18,5
‘Медовий F1’	10,1	15,1	16,5	19,0
‘Мамонт’	14,4	14,5	17,2	17,5
‘Буйвол’	12,5	13,0	15,0	16,0
‘Нектарний’	15,0	16,0	16,1	18,0

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що вплив сортових особливостей і фаз розвитку рослин на загальний вміст цукрів в соку сорго цукрового був майже однаковим і склав близько 32 - 33 %, водночас ступінь впливу подрібнення стебел становив 9,7 %. (рис. 9.6). Відмічався вплив взаємодії факторів Фаза×Гібрид (3,8 %) і Гібрид×Спосіб (5,0 %). Ступінь впливу взаємодії всіх досліджуваних факторів на цукристість соку склав 2,9 відсотка.

Отже, вміст вуглеводів у соку визначається в першу чергу агробіологічними параметрами рослин: особливостями сорту і гібрида та фазами розвитку рослин сорго цукрового. Вплив технологічних чинників на якісні показники соку є другорядним.

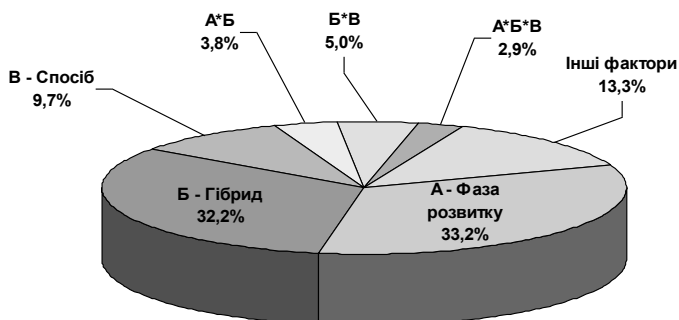


Рис. 9.6. Вплив досліджуваних факторів на цукристість соку зі стебел сорго цукрового (2011 - 2014 рр.)

Висновки до розділу

Таким чином, за результатами досліджень впливу сортових особливостей, фаз розвитку рослин сорго цукрового і способів обробки його стебел на вихід і якість соку можна зробити наступні висновки:

1. Застосування інтенсивного подрібнення стебел сорго цукрового (до часток розміром менше 0,1 мм) сприяло збільшенню виходу соку в 1,4 - 1,9 рази в залежності від сортових особливостей. Фаза розвитку рослин не суттєво впливала на вихід соку.

2. Цукристість соку залежала від фаз розвитку рослин і сортових особливостей і змінювалася в межах 7,5 - 16 % (фаза цвітіння) і 13,1 - 19,0 % (фаза повної стиглості зерна). Збір стебел сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен дозволяє в середньому на 3,2 % підвищити загальний вміст цукрів у соку (з 13,3 до 16,5 %). Застосування інтенсивного подрібнення стебел незначно впливає на цукристість отриманого соку.

РОЗДІЛ 10

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ БІОПАЛИВА

10.1 Енергетична та економічна ефективність застосування добрив під час вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі

У ринкових умовах основним критерієм вибору технології вирощування тієї чи іншої культури є економічна та енергетична ефективність. Тому конкурентоспроможною буде та технологія, яка забезпечить найбільшу рентабельність та прибуток. Ефективність сільськогосподарського виробництва в сучасних умовах України залежить від використання культур, які забезпечують гарантований збут за високої рентабельності виробництва, що диктується ринковими умовами. Інтенсифікація технології вирощування сорго цукрового за рахунок внесення добрив призводить до зростання собівартості продукції та зменшення рівня рентабельності. Але це зовсім не означає, що інтенсифікація дає негативні економічні наслідки. Головний показник – собівартість біопалива, яка при цьому зростає. У зв'язку з цим показана економічна та енергетична оцінка технології вирощування сорго цукрового за різних доз добрив, строків сівби та сортів (у Центральному та Східному Лісостепу України (БЦ ДСС та І ДСС), на малопродуктивних землях в зоні нестійкого зволоження (Я ДСС) та у зоні недостатнього зволоження (ВП ДСС)).

Застосування добрив є одним із важливих напрямів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та покращання родючості ґрунту. За вирощування біоенергетичних культур доцільність застосування мінеральних добрив слід оцінювати не лише за економічними показниками, а й за енергетичними, при цьому слід порівнювати кількість енергії, яка витрачається на добрива з кількістю енергії, яка додатково отримана за рахунок підвищення виходу біопалива внаслідок внесення добрив.

Розрахунок показників економічної ефективності проводили на основі цін встановлених на кінець 2021 року, при цьому вартість реалізації зеленої маси сорго цукрового приймали 420 грн /т, вартість біоетанолу – 29 грн /кг, біогазу – 7,2 грн /м³, твердого біопалива –

3 грн /кг. Виробничі затрати розраховували згідно технологічних карт на вирощування, збирання та транспортування біомаси сорго цукрового. Умовно чистий прибуток розраховували як різниця між вартістю продукції, отриманої з 1 га виробничими затратами, приведеними до 1 га.

Аналізуючи отримані дані на Білоцерківській ДСС, бачимо, що не слід вносити подвійну дозу добрив, оскільки за внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ та $N_{160}P_{160}K_{160}$ енергетичний ефект з біоетанолу та твердого палива був майже однаковим, різниця між ними в середньому за три роки становила у сорту 'Силосне 42' – 13 ГДж/га, у гібрида 'Медовий F1' – 1 ГДж/га (табл. 10.1).

Енергетичний ефект, за вирощування та перероблення сорго цукрового на біогаз за подвійної дози добрив, становив у сорту та гібрида 225 та 252 ГДж/га відповідно, тоді коли за внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ він дорівнював 220 ГДж/га у сорту, та 255 ГДж/га у гібрида.

На варіанті без внесення добрив енергетичний ефект був найнижчим як на біоетанол+тверде біопаливо, так і на біогаз.

Коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ) за вирощування сорго цукрового і перероблення на біоетанол+тверде біопаливо становить на варіанті без добрив у сорту – 15,1 та у гібрида – 17,0. За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ КЕЕ менше на 3,3 у сорту та на 3,5 у гібрида. За дози добрив $N_{160}P_{160}K_{160}$ КЕЕ взагалі був низьким і дорівнював у сорту та гібрида – 8,8 та 9,7 відповідно.

За вирощування сорго цукрового і перероблення на біогаз КЕЕ мав таку ж тенденцію: з збільшенням дози добрив – зменшується.

Собівартість біометану, виготовленого з біомаси сорго цукрового також залежала від доз добрив. На варіанті без добрив собівартість біометану дорівнювала 2190 грн /1000 м³ у сорту та 1959 грн /1000 м³ у гібрида. За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ собівартість збільшувалась як у сорту, так і у гібрида на 86 та 39 грн /1000 м³ відповідно.

За внесення подвійної дози добрив отримано найвищу собівартість біометану, яка складала для сорту 'Силосне 42' – 2808 грн /1000 м³, для гібрида 'Медовий F1' – 2547 гривень за 1000 метрів кубічних.

Застосування подвійної дози добрив не забезпечує значного підвищення виходу біопалива та енергії у цілому, і є недоцільним, оскільки енергозатрати пов'язані з внесенням подвійної дози добрив не перекривають збільшення виходу біопалива.

Таблиця 10.1

**Показники економічної та енергетичної ефективності
застосування добрив під час вирощування сорго цукрового для
біопалива (БЦ ДСС, 2013 - 2015 рр.)**

Показники	‘Силосне 42’			‘Медовий F1’		
	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀
Урожайність зеленої маси, т/га	52,5	67,6	68,2	57,1	76,8	76,3
Цукристість соку, %	13,4	14,7	16,1	13,9	15,2	16,0
Суха речовина, %	22,0	24,2	25,6	22,7	24,3	25,3
Урожайність сухої маси, т/га	11,6	16,4	17,5	12,9	18,6	19,3
Затрати на вирощ., тис. грн /га	10,64	15,64	20,64	10,64	15,64	20,64
Собівартість продукції, грн /т	202,7	231,2	302,5	186,3	203,6	270,5
Виручка від реалізації, тис. грн /га	22,1	28,4	28,7	24,0	32,3	32,0
Чистий прибуток, тис. грн /га	11,4	12,8	8,0	13,3	16,6	11,4
Рівень рентабельності, %	107	82	39	125	106	55
Затрати енергії, ГДж/га	16,1	29,3	42,4	16,1	29,3	42,4
Вихід біоетанолу						
Вихід біоетанолу, т/га	1,61	2,28	2,52	1,83	2,68	2,80
Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га	40,26	56,91	63,03	45,65	67,12	70,04
Енергетичний ефект, ГДж/га	24,16	27,61	20,63	29,55	37,82	27,64
Коеф. енергетичної ефективності	2,50	1,94	1,49	2,84	2,29	1,65
Вихід твердого біопалива						
Вихід твердого біопалива, т/га	12,7	18,0	19,2	14,2	20,5	21,2
Вихід енергії (тверде біопаливо), ГДж/га	203,6	288,0	308,0	227,7	328,1	339,6
Енергетичний ефект, ГДж/га	187,5	258,7	265,6	211,6	298,8	297,2
Коеф. енергетичної ефективності	12,65	9,83	7,26	14,14	11,20	8,01
Вихід біоетанолу та твердого біопалива (разом)						
Вихід енергії (тверде+біоетанол), ГДж/га	243,9	344,9	371,0	273,3	395,2	409,6
Енергетичний ефект, ГДж/га	227,8	315,6	328,6	257,2	365,9	367,2
Коеф. енергетичної ефективності	15,15	11,77	8,75	16,98	13,49	9,66
Вихід біогазу						
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	8,10	11,46	12,25	9,05	13,05	13,51
Вихід енергії з біогазу, ГДж/га	176,6	249,7	267,0	197,4	284,5	294,4
Енергетичний ефект, ГДж/га	160,5	220,4	224,6	181,3	255,2	252,0
Коеф. енергетичної ефективності	10,97	8,52	6,30	12,26	9,71	6,94

Залежність енергетичної ефективності від дози добрив на Веселоподільській ДСС показала, що подвійна доза добрив є недоцільною (табл. 10.2). Так як енергетичний ефект за вирощування сорго цукрового на біоетанол+тверде біопаливо та біогаз у гібрида ‘Мамонт’ становив на варіанті без добрив – 508 та 361 ГДж/га, за внесення N₈₀P₈₀K₈₀ – 590 та 427 ГДж/га, за внесення N₁₆₀P₁₆₀K₁₆₀ – 590 та 415 ГДж/га – відповідно.

Таблиця 10.2

**Показники економічної та енергетичної ефективності
застосування добрив під час вирощування сорго цукрового для
біопалива (ВП ДСС, 2011 - 2015 рр.)**

Показники	‘Силосне 42’			‘Медовий F1’		
	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀
Урожайність зеленої маси, т/га	78,4	77,2	82,3	99,3	111,4	111,2
Цукристість соку, %	13,7	13,0	13,4	15,7	14,6	14,9
Суша речовина, %	24,1	25,3	26,6	24,9	26,8	26,9
Урожайність сухої маси, т/га	18,8	19,6	21,9	24,7	29,9	29,9
Затрати на вирощ., тис. грн /га	10,64	15,64	20,64	10,64	15,64	20,64
Собівартість продукції, грн /т	135,8	202,6	250,9	107,1	140,4	185,6
Виручка від реалізації, тис. грн /га	32,9	32,4	34,5	41,7	46,8	46,7
Чистий прибуток, тис. грн /га	22,3	16,8	13,9	31,1	31,1	26,1
Рівень рентабельності, %	209	107	67	292	199	126
Затрати енергії, ГДж/га	16,1	29,3	42,4	16,1	29,3	42,4
Вихід біоетанолу						
Вихід біоетанолу, т/га	2,46	2,31	2,53	3,57	3,74	3,80
Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га	61,44	57,73	63,24	89,29	93,50	95,06
Енергетичний ефект, ГДж/га	45,34	28,43	20,84	73,19	64,20	52,66
Коеф. енергетичної ефективності	3,82	1,97	1,49	5,55	3,19	2,24
Вихід твердого біопалива						
Вихід твердого біопалива, т/га	20,7	21,5	24,0	27,2	32,9	32,9
Вихід енергії (тверде біопаливо), ГДж/га	331,7	344,4	384,6	435,0	525,9	527,0
Енергетичний ефект, ГДж/га	315,6	315,1	342,2	418,9	496,6	484,6
Коеф. енергетичної ефективності	20,61	11,75	9,07	27,02	17,95	12,43
Вихід біоетанолу та твердого біопалива (разом)						
Вихід енергії (тверде+біоетанол), ГДж/га	393,2	402,1	447,8	524,3	619,4	622,1
Енергетичний ефект, ГДж/га	377,1	372,8	405,4	508,2	590,1	579,7
Коеф. енергетичної ефективності	24,42	13,72	10,56	32,57	21,14	14,67
Вихід біогазу						
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	13,19	13,70	15,30	17,30	20,91	20,96
Вихід енергії з біогазу, ГДж/га	287,6	298,6	333,5	377,2	455,9	456,9
Енергетичний ефект, ГДж/га	271,5	269,3	291,1	361,1	426,6	414,5
Коеф. енергетичної ефективності	17,87	10,19	7,86	23,43	15,56	10,78

Дані розрахунків свідчать, що сорт взагалі можна вирощувати без добрив, так як енергетичний ефект на всіх варіантах дослідів має маленьку різницю, а затрати на добрива не перебивають збільшення виходу біопалива.

Вплив дози добрив на коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ) показав, що за перероблення сировини сорго цукрового на біоетанол та тверде біопаливо і біогаз без внесення добрив дорівнював в сумі у сорту 42,3 (24,4+17,9) та гібрида 56 (32,6+23,4).

За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ КЕЕ був дещо меншим і становив у сумі 23,9 (сорт 'Силосне 42') та 36,7 (гібрид 'Мамонт'). За внесення $N_{160}P_{160}K_{160}$ КЕЕ був меншим на 5,4 у сорту та 1,2 у гібрида.

За внесення подвійної дози добрив собівартість біометоду була найвищою і становила у сорту 2249 грн /1000 м³, у гібрида 1641 грн /1000 м³. За внесення NPK 80 та на варіанті без добрив собівартість була нижчою у сорту на 346 та 905 грн /1000 м³, у гібрида на 395 та 616 грн /1000 м³ відповідно.

Подвійна доза добрив є недоцільною, оскільки енергозатрати пов'язані з її внесенням не перекривають збільшення виходу біопалива.

Залежність енергетичної ефективності від дози добрив відмічена і на Іванівській ДСС (табл. 10.3). Енергетичний ефект складав у сорту 'Силосне 42': 247, 250 та 290 ГДж/га відповідно до доз добрив ($N_0P_0K_0$, $N_{80}P_{80}K_{80}$ та $N_{160}P_{160}K_{160}$); у сорту 'Фаворит': 272, 317 та 348 ГДж/га, за перероблення сировини сорго цукрового на біоетанол і тверде біопаливо.

Дещо нижчим показник енергетичного ефекту відмічено за перероблення сировини на біогаз і у сорту він становить 178, 176 та 200 ГДж/га, у гібрида – 196, 224 та 239 ГДж/га.

На фоні без внесення доз добрив у сорту та гібрида коефіцієнт енергетичної ефективності становить 16,4 та 17,9 (біоетанол+тверде біопаливо) і 12,1 та 13,2 (біогаз) відповідно.

За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ КЕЕ у сорту та гібрида відповідно становив 9,5 та 11,8 (біоетанол+тверде біопаливо) і 7,0 та 8,6 (біогаз). За подвійної дози добрив КЕЕ у сорту та гібрида був дещо нижчим і дорівнював 7,8 та 9,2 (біоетанол+тверде біопаливо) і 5,7 та 6,6 (біогаз) відповідно.

Залежність собівартості біометану від доз добрив показує, що найвищою вона була за внесення подвійної дози добрив і становить у сорту 'Силосне 42' – 3094 грн /1000 м³, у гібрида – 2667 грн /1000 м³.

На варіанті без внесення добрив собівартість була найменшою і дорівнювала у сорту 1991 грн /1000 м³, у гібрида – 1825 грн /1000 м³.

Подвійна доза добрив не забезпечує значного підвищення виходу біопалива та енергії у цілому, і є недоцільним.

Таблиця 10.3

**Показники економічної та енергетичної ефективності
застосування добрив під час вирощування сорго цукрового для
біопалива (І ДСС, 2013 - 2015 рр.)**

Показники	‘Силосне 42’			‘Медовий F1’		
	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀
Урожайність зеленої маси, т/га	59,7	63,1	72,2	60,3	71,3	77,7
Цукристість соку, %	11,6	11,9	12,7	12,7	13,4	14,9
Суша речовина, %	21,3	21,3	22,0	23,0	23,3	23,7
Урожайність сухої маси, т/га	12,7	13,4	15,9	13,9	16,6	18,4
Затрати на вирощ., тис. грн /га	10,64	15,64	20,64	10,64	15,64	20,64
Собівартість продукції, грн /т	178,2	248,0	285,9	176,5	219,4	265,6
Виручка від реалізації, тис. грн /га	25,1	26,5	30,3	25,3	29,9	32,6
Чистий прибуток, тис. грн /га	14,4	10,8	9,7	14,7	14,3	12,0
Рівень рентабельності, %	136	69	47	138	91	58
Затрати енергії, ГДж/га	16,1	29,3	42,4	16,1	29,3	42,4
Вихід біоетанолу						
Вихід біоетанолу, т/га	1,58	1,72	2,10	1,75	2,19	2,65
Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га	39,62	42,94	52,61	43,80	54,68	66,28
Енергетичний ефект, ГДж/га	23,52	13,64	10,21	27,70	25,38	23,88
Коеф. енергетичної ефективності	2,46	1,47	1,24	2,72	1,87	1,56
Вихід твердого біопалива						
Вихід твердого біопалива, т/га	14,0	14,8	17,5	15,3	18,2	20,3
Вихід енергії (тверде біопаливо), ГДж/га	224,0	236,5	279,6	244,4	291,9	324,4
Енергетичний ефект, ГДж/га	207,9	207,2	237,2	228,3	262,6	282,0
Коеф. енергетичної ефективності	13,91	8,07	6,59	15,18	9,96	7,65
Вихід біоетанолу та твердого біопалива (разом)						
Вихід енергії (тверде+біоетанол), ГДж/га	263,6	279,5	332,2	288,2	346,6	390,7
Енергетичний ефект, ГДж/га	247,5	250,2	289,8	272,1	317,3	348,3
Коеф. енергетичної ефективності	16,37	9,54	7,83	17,90	11,83	9,21
Вихід біогазу						
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	8,91	9,41	11,12	9,72	11,61	12,90
Вихід енергії з біогазу, ГДж/га	194,2	205,1	242,4	211,9	253,1	281,2
Енергетичний ефект, ГДж/га	178,1	175,8	200,0	195,8	223,8	238,8
Коеф. енергетичної ефективності	12,06	7,00	5,72	13,16	8,64	6,63

Залежність енергетичної ефективності від дози добрив спостерігається і на Ялтушківській ДСС (табл. 10.4). В середньому за п'ять років проведених досліджень енергетичний ефект за вирощування сорго цукрового та перероблення на біоетанол і тверде біопаливо на варіанті без внесення добрив становив у гібрида

‘Медовий F1’ 146 ГДж/га, у сорту ‘Силосне 42’ – 83 ГДж/га. За доз добрив $N_{80}P_{80}K_{80}$ та $N_{160}P_{160}K_{160}$ різниця енергетичного ефекту була незначною і дорівнювала у сорту – 51 ГДж/га, у гібрида – 47 ГДж/га.

Таблиця 10.4

**Показники економічної та енергетичної ефективності
застосування добрив під час вирощування сорго цукрового для
біопалива (Я ДСС, 2011 - 2015 рр.)**

Показники	‘Силосне 42’			‘Медовий F1’		
	Без добрив	$N_{80}P_{80}K_{80}$	$N_{160}P_{160}K_{160}$	Без добрив	$N_{80}P_{80}K_{80}$	$N_{160}P_{160}K_{160}$
Урожайність зеленої маси, т/га	23,6	40,9	54,1	34,9	54,5	67,5
Цукристість соку, %	13,9	13,8	13,7	13,9	13,6	13,2
Суша речовина, %	21,7	21,8	22,1	21,9	22,1	22,2
Урожайність сухої маси, т/га	5,1	8,9	12,0	7,6	12,0	15,0
Затрати на вирощ., тис. грн /га	10,64	15,64	20,64	10,64	15,64	20,64
Собівартість продукції, грн /т	451,3	382,2	381,9	305,3	287,0	305,9
Виручка від реалізації, тис. грн /га	9,9	17,2	22,7	14,6	22,9	28,3
Чистий прибуток, тис. грн /га	-0,7	1,5	2,1	4,0	7,3	7,7
Рівень рентабельності, %	-7	10	10	38	46	37
Затрати енергії, ГДж/га	16,1	29,3	42,4	16,1	29,3	42,4
Вихід біоетанолу						
Вихід біоетанолу, т/га	0,75	1,29	1,70	1,11	1,69	2,04
Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га	18,81	32,37	42,44	27,74	42,37	50,96
Енергетичний ефект, ГДж/га	2,71	3,07	0,04	11,64	13,07	8,56
Коеф. енергетичної ефективності	1,17	1,10	1,00	1,72	1,45	1,20
Вихід твердого біопалива						
Вихід твердого біопалива, т/га	5,6	9,8	13,2	8,4	13,2	16,5
Вихід енергії (тверде біопаливо), ГДж/га	90,1	156,8	210,5	134,0	211,5	263,9
Енергетичний ефект, ГДж/га	74,0	127,5	168,1	117,9	182,2	221,5
Коеф. енергетичної ефективності	5,60	5,35	4,96	8,32	7,22	6,22
Вихід біоетанолу та твердого біопалива (разом)						
Вихід енергії (тверде+біоетанол), ГДж/га	108,9	189,2	252,9	161,8	253,9	314,9
Енергетичний ефект, ГДж/га	92,8	159,9	210,5	145,7	224,6	272,5
Коеф. енергетичної ефективності	6,77	6,46	5,96	10,05	8,66	7,43
Вихід біогазу						
Вихід біогазу, тис. м³/га	3,59	6,24	8,37	5,33	8,41	10,50
Вихід енергії з біогазу, ГДж/га	78,2	136,0	182,5	116,2	183,4	228,8
Енергетичний ефект, ГДж/га	62,1	106,7	140,1	100,1	154,1	186,4
Коеф. енергетичної ефективності	4,85	4,64	4,30	7,22	6,26	5,40

Енергетичний ефект за вирощування сорго цукрового та переробляння на біогаз на варіанті без внесення добрив складав 62 ГДж/га у сорту та 100 ГДж/га у гібрида. За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ цей показник склав у сорту – 107 ГДж/га, у гібрида 154 ГДж/га. За подвійної дози добрив енергетичний ефект дорівнював 140 та 186 ГДж/га відповідно.

Коефіцієнт енергетичної ефективності мав найменші показники на варіанті з подвійною дозою добрив як за переробляння сировини сорго цукрового на біоетанол і тверде біопаливо, так і на біогаз. У сорту ‘Силосне 42’ цей показник дорівнював 6,0 та 4,3, у гібрида ‘Медовий F1’ – 7,4 та 5,4 відповідно.

За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ у сорту і гібрида КЕЕ відповідно становить 6,5 і 8,7 (біоетанол+тверде біопаливо) та 4,6 і 6,3 (біогаз). На варіанті без внесення добрив КЕЕ має найвищі показники.

Собівартість біометану також залежала від доз добрив. На варіанті без добрив вона становить 4947 грн /1000 м³ у сорту, 3328 грн /1000 м³ у гібрида. За внесення $N_{80}P_{80}K_{80}$ собівартість була нижчою на 768 грн /1000 м³ у сорту та 229 грн /1000 м³ у гібрида. За внесення $N_{160}P_{160}K_{160}$ відмічалась найменша собівартість біометану і становила у сорту 4110 грн /1000 м³, у гібрида 3277 гривень за 1000 метрів кубічних.

10.2. Економічна оцінка біомаси сорго цукрового залежно від строків збирання біомаси

Результати розрахунків (рис. 10.1) свідчать, що в зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший умовно чистий прибуток від реалізації зеленої маси сорго цукрового (24 тис. грн /га) можна отримати за вирощування гібрида ‘Довіста’ і збирання його біомаси в середині вересня. У разі переробляння зеленої маси на біогаз, найбільший умовно чистий прибуток (139,3 тис. грн /га) можна отримати з цього ж гібрида за збирання його біомаси на початку жовтня. За вирощування гібрида ‘Довіста’ забезпечуються найвищі показники економічної ефективності не залежно від строку збирання біомаси та способу її використання. Переробляння на біогаз є надзвичайно економічно привабливим, оскільки при цьому прибуток зростає приблизно у 5 разів.

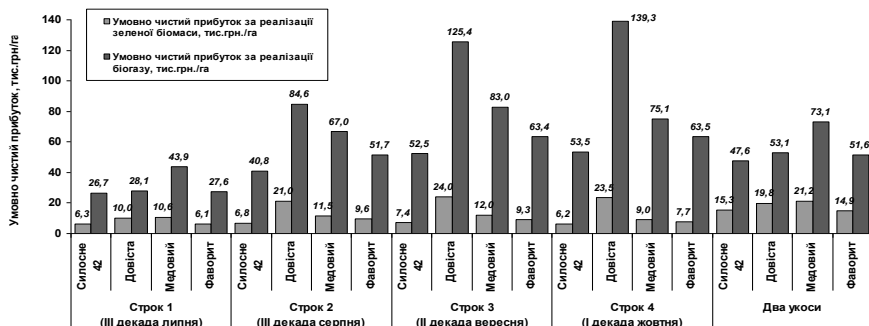


Рис. 10.1. Залежність умовно чистого прибутку від сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового (I ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Розрахунок показників економічної ефективності, проведений для зони недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України (рис. 10.2) свідчить, що найбільший умовно чистий прибуток для даної зони від реалізації зеленої маси сорго цукрового (41,4 тис. грн /га) можна отримати за вирощування гібрида ‘Довіста’ і збирання його біомаси на початку жовтня, при цьому, у разі переробляння зеленої маси на біогаз, умовно чистий прибуток зростає у 4,2 раза (до 174,7 тис. грн /га). Для зони недостатнього зволоження вирощування гібрида ‘Довіста’ та гібрида ‘Медовий F1’ забезпечувало максимальні показники економічної ефективності.

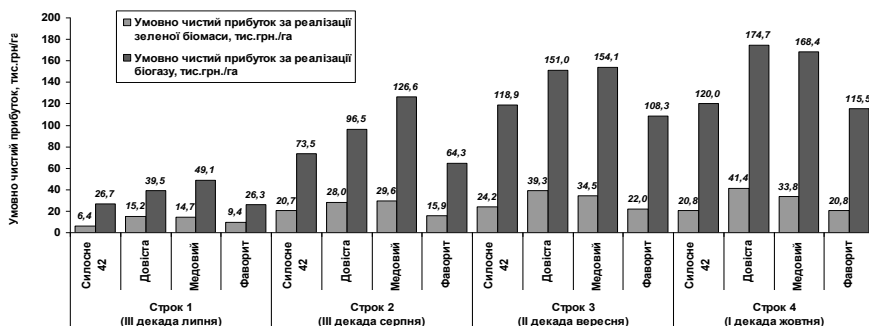


Рис. 10.2 Залежність умовно чистого прибутку від сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового (II ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший умовно чистий прибуток від реалізації зеленої маси (37,4 тис. грн./га) можна отримати за вирощування гібрида ‘Медовий F1’ і збирання його біомаси у два укоси: перший на початку серпня, другий на початку жовтня (рис. 10.3). Це досягається за рахунок швидкого відростання середньо швидкорослого гібрида ‘Медовий F1’ після скошування. В разі перероблення зеленої маси на біогаз, найбільший умовно чистий прибуток (169,8 тис. грн/га) можна отримати з гібрида ‘Довіста’ за збирання його біомаси на початку жовтня. Перероблення на біогаз є надзвичайно економічно привабливим, оскільки при цьому умовно чистий прибуток для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України зростає приблизно у 4,2 раза.

Найменші показники економічної ефективності отримано за вирощування сорго цукрового на малопродуктивних землях у зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (рис. 10.4).

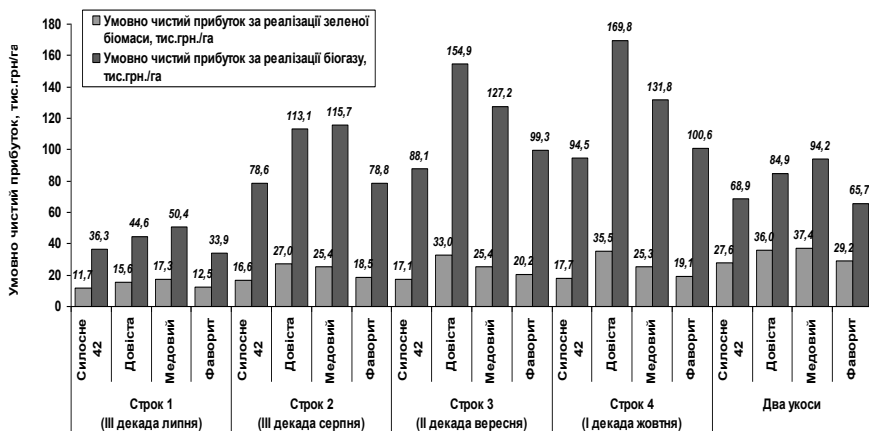


Рис. 10.3 Залежність умовно чистого прибутку від сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового (БЦ ДСС, 2016 - 2020 рр.)

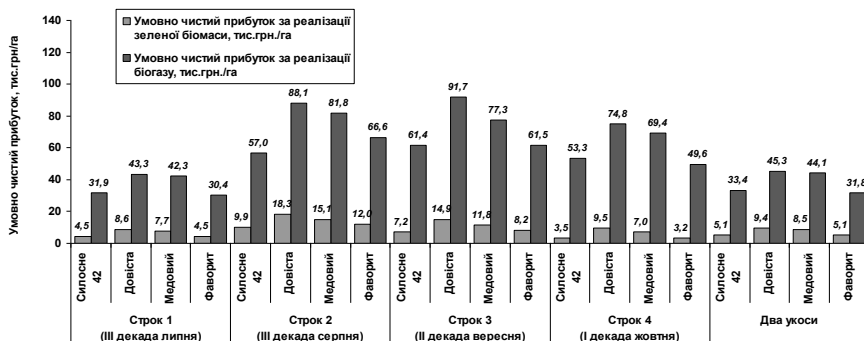


Рис. 10.4. Залежність умовно чистого прибутку від сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового (Я ДСС, 2016 - 2020 рр.)

Це пояснюється меншою врожайністю зеленої маси та вищими питомими затратами на її вирощування. При цьому максимальний умовно чистий прибуток (18,3 тис. грн/га) від реалізації зеленої маси було отримано за вирощування гібрида 'Довіста' та збирання його біомаси в кінці серпня. Якщо ж зелену біомасу переробляти на біогаз, максимальний умовно чистий прибуток (91,7 тис. грн/га) можна досягнути за вирощування гібрида 'Довіста' і збирання його біомаси в середині вересня. У середньому умовно чистий прибуток, отриманий від реалізації біогазу в 6,5 раза перевищував прибуток, отриманий від реалізації зеленої маси.

10.3. Енергетична та економічна ефективність вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі

Оцінку енергетичних та економічних показників ефективності вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі проводили за цінами станом на кінець 2021 року.

За результатами досліджень, проведених у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України встановлено, що зі збільшенням дози мінеральних добрив собівартість вирощування буряків цукрових зростає, а прибуток від реалізації коренеплодів в розрахунку на 1 гектар та рентабельність виробництва зменшувались (табл. 10.5). Так, за вирощування на неудобреному фоні рівень рентабельності гібридів 'Ворскла' та 'Булава' становив відповідно 51 та 58 %, за внесення дози

добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$ рентабельність знизилась відповідно до 40 та 49 %, подальше збільшення дози добрив до $N_{150}P_{100}K_{100}$ вело до зменшення рівня рентабельності до 26 та 36 % відповідно. Зі збільшенням дози добрив собівартість біоетанолу та біогазу, виготовлених з біомаси обох досліджуваних гібридів зростала.

Таблиця 10.5

Показники економічної та енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових для виробництва біопалива в зоні недостатнього зволоження (ВП ДСС, 2013 - 2015 рр.)

Показники	‘Ворскла’			‘Булава’		
	Без добрив	$N_{75}P_{50}K_{50}$	$N_{150}P_{100}K_{100}$	Без добрив	$N_{75}P_{50}K_{50}$	$N_{150}P_{100}K_{100}$
Урожайність коренепл., т/га	44,8	46,9	47,2	47,1	50,3	51,2
Цукристість коренеплодів, %	18,2	18,5	18,3	18,2	18,5	18,6
Урожайність гички, т/га	19,7	19,6	19,2	19,1	17,8	18,1
Затрати на вирощ., грн /га	38480	43690	48717	38706	44031	49123
Собівартість, грн /т	858,9	931,6	1032,7	822,4	875,2	958,9
Виручка від реалізації, грн /га	58240	60970	61326	61182	65400	66599
Прибуток, грн /га	19760	17280	12609	22476	21369	17476
Рівень рентабельності, %	51	40	26	58	49	36
Затрати енергії, ГДж/га	31,7	44	56,4	31,7	44	56,4
Вихід біоетанолу, т/га	3,74	3,99	3,96	3,92	4,28	4,37
Енергетичний ефект, ГДж/га	61,81	55,70	42,61	66,36	62,93	52,84
Коеф. енерг. ефективності	2,95	2,27	1,76	3,09	2,43	1,94
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	8,28	8,57	8,56	8,54	8,86	9,02
Енергетичний ефект, ГДж/га	148,9	142,8	130,3	154,5	149,1	140,2
Коеф. енерг. ефективності	5,70	4,25	3,31	5,87	4,39	3,49
Собіварт. біоетанолу, грн /кг	10,3	11,0	12,3	9,9	10,3	11,2
Собіварт. біометану, грн/1000 м ³	7743	8498	9481	7553	8286	9076

Аналіз ефективності вирощування буряків цукрових для біопалива вираженої у енергетичних одиницях свідчить, що в зоні недостатнього зволоження внесення мінеральних добрив призводило до зменшення енергетичної ефективності, тобто затрати енергії, пов’язані з внесенням добрив не компенсувались збільшенням врожайності буряків цукрових, і як наслідок зменшувався коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ). Так, за вирощування буряків цукрових гібридів ‘Ворскла’ та ‘Булава’ на неудобреному фоні КЕЕ становив відповідно 5,70 та 5,87, за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{75}P_{50}K_{50}$ КЕЕ зменшувався відповідно до 4,25 та 4,39, зі збільшенням дози добрив до $N_{150}P_{100}K_{100}$ КЕЕ зменшувався до 3,31 та 3,49.

На землях з низьким рівнем родючості у зоні нестійкого зволоження Лісостепу України вирощування буряків цукрових гібрида ‘Шевченківський’ без застосування добрив виявилось не рентабельним (-22 %), а вирощування гібрида ‘Булава’ – характеризувалось найнижчим рівнем рентабельності (16 %) (табл. 10.6). З внесенням добрив у дозі $N_{75}P_{50}K_{50}$ рентабельність вирощування буряків цукрових гібридів ‘Шевченківський’ та ‘Булава’ зростала до 28 та 42 % відповідно, подальше підвищення дози добрив до $N_{150}P_{100}K_{100}$ сприяло підвищенню рівня рентабельності відповідно до 57 та 54 %.

Особливістю вирощування біряків цукрових на малопродуктивних землях є те, що із внесенням мінеральних добрив зростає коефіцієнт енергетичної ефективності, а собівартість отриманого біоетанолу та біогазу – зменшується.

За вирощування буряків цукрових у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України внесення мінеральних добрив забезпечило збільшення виручки від реалізації продукції, проте чистий прибуток і рівень рентабельності зменшувався (табл. 10.7).

Таблиця 10.6

**Показники економічної та енергетичної ефективності
вирощування буряків цукрових для виробництва біопалива на
малопродуктивних землях Лісостепу України
(Я ДСС, 2013 - 2015 рр.)**

Показники	‘Шевченківський’			‘Булава’		
	Без добрив	$N_{75}P_{50}K_{50}$	$N_{150}P_{100}K_{100}$	Без добрив	$N_{75}P_{50}K_{50}$	$N_{150}P_{100}K_{100}$
Урожайність коренепл., т/га	21,8	42,7	60,4	33,4	47,9	59,0
Цукристість коренеплодів, %	18,5	18,0	17,5	17,6	17,7	17,6
Урожайність гички, т/га	14,6	31,7	46,8	23,9	36,3	44,7
Затрати на вирощ., грн /га	36181	43269	50041	37341	43786	49898
Собівартість, грн /т	1659	1014	828	1118	915	846
Виручка від реалізації, грн /га	28354	55496	78534	43434	62212	76671
Прибуток, грн /га	-7827	12227	28493	6093	18427	26773
Рівень рентабельності, %	-22	28	57	16	42	54
Затрати енергії, ГДж/га	31,7	44	56,4	31,7	44	56,4
Вихід біоетанолу, т/га	1,85	3,52	4,86	2,70	3,88	4,76
Енергетичний ефект, ГДж/га	14,57	44,12	65,07	35,69	53,02	62,56
Коеф. енерг. ефективності	1,46	2,00	2,15	2,13	2,20	2,11
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	4,55	9,21	13,23	7,11	10,40	12,81
Енергетичний ефект, ГДж/га	67,4	156,8	231,9	123,4	182,7	222,9
Коеф. енерг. ефективності	3,13	4,56	5,11	4,89	5,15	4,95
Собіварт. біоетанолу, грн /кг	19,5	12,3	10,3	13,9	11,3	10,5
Собіварт. біометану, грн/1000 м ³	13261	7828	6306	8748	7018	6491

Таблиця 10.7

**Показники економічної та енергетичної ефективності
вироснування буряків цукрових для виробництва біопалива у зоні
нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (І ДСС,
2013 - 2015 рр.)**

Показники	‘Шевченківський’			‘Булава’		
	Без добрих	N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	Без добрих	N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
Урожайність коренепл., т/га	52,6	55,5	58,2	49,4	53,1	56,3
Цукристість коренеплодів, %	20,0	19,5	18,8	20,7	20,3	19,3
Урожайність гички, т/га	35,9	36,9	39,3	36,3	37,4	39,9
Затрати на вирощ., грн /га	39263	44547	49821	38942	44311	49626
Собівартість, грн /т	746,0	803,1	855,9	787,9	834,3	882,1
Виручка від реалізації, грн /га	68423	72107	75674	64249	69044	73132
Прибуток, грн /га	29160	27560	25853	25307	24733	23507
Рівень рентабельності, %	74	62	52	65	56	47
Затрати енергії, ГДж/га	31,7	44	56,4	31,7	44	56,4
Вихід біоетанолу, т/га	4,84	4,95	5,03	4,71	4,94	4,99
Енергетичний ефект, ГДж/га	89,36	79,83	69,40	85,95	79,45	68,26
Коеф. енерг. ефективності	3,82	2,81	2,23	3,71	2,81	2,21
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	11,03	11,53	12,16	10,62	11,25	11,95
Енергетичний ефект, ГДж/га	208,7	207,3	208,6	199,8	201,3	204,0
Коеф. енерг. ефективності	7,58	5,71	4,70	7,30	5,58	4,62
Собіварт. біоетанолу, грн /кг	8,1	9,0	9,9	8,3	9,0	10,0
Собіварт. біометану, грн/1000 м ³	5933	6441	6830	6112	6563	6924

Так, за вирощування гібридів ‘ЦБ 0801’ та ‘Булава’ на неудобреному фоні рівень рентабельності становив відповідно 74 та 65 %, із внесенням дози добрив N₇₅P₅₀K₅₀ рентабельність зменшувалась відповідно до 62 та 56 %, подальше збільшення дози добрив до N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀ вело до зменшення рівня рентабельності до 52 та 47 %. Показники енергетичної ефективності із внесенням мінеральних добрив також погіршувались. Так КЕЕ зі збільшенням дози добрив зменшувався для гібрида ‘ЦБ 0801’ з 7,58 до 4,70; для гібрида ‘Булава’ – з 7,30 до 4,62.

Таким чином, застосування добрив під час вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива веде до зменшення показників економічної та енергетичної ефективності для більшості зон, в яких виконувались дослідження. Лише за вирощування буряків цукрових на малопродуктивних (маргінальних) землях внесення добрив позитивно впливало на рівень рентабельності та коефіцієнт енергетичної ефективності.

Висновки до розділу

1. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ під час вирощування сорго цукрового для біопалива у різних ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу України сприяло позитивному енергетичному балансу, тобто кількість енергії, яка додатково надходить у результаті збільшення продуктивності сорго цукрового перевищує кількість енергії, яка міститься у добривах і витрачається на їх внесення.

2. Додаткові енергозатрати, які мали місце за внесення подвійної дози мінеральних добрив ($N_{160}P_{160}K_{160}$) на БЦ ДСС, ВП ДСС та І ДСС не покривались додатковим виходом енергії, отриманої від зростання продуктивності сорго цукрового. Лише за вирощування сорго цукрового на малопродуктивних ґрунтах (Я ДСС) подвійна доза добрив давала позитивний енергетичний ефект.

3. У зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший умовно чистий прибуток від реалізації зеленої маси сорго цукрового (24 тис. грн/га) можна отримати за вирощування гібрида 'Довіста' і збирання його біомаси в середині вересня.

4. Для зони недостатнього зволоження вирощування гібрида 'Довіста' (39,3 тис. грн/га) та гібрида 'Медовий F1' (34,5 тис. грн/га) забезпечувало максимальні показники економічної ефективності.

5. Для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший умовно чистий прибуток (37,4 тис. грн/га) від реалізації зеленої маси сорго цукрового можна отримати за вирощування гібрида 'Медовий F1' і збирання його біомаси у два укуси: перший на початку серпня, другий на початку жовтня.

6. Максимальний умовно чистий прибуток (18,3 тис. грн/га), який можна отримати від реалізації зеленої маси, вирощеної на малопродуктивних ґрунтах досягається за вирощування гібрида 'Довіста' та збирання його біомаси в кінці серпня.

7. У разі переробляння зеленої маси на біогаз та реалізації біогазу за ціною природного газу (з врахуванням частки біометану), умовно чистий прибуток зростає у 3,9 - 6,5 раза.

8. Застосування мінеральних добрив під час вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива веде до зменшення показників економічної та енергетичної ефективності для більшості зон, в яких виконувались дослідження. Лише за вирощування буряків цукрових на малопродуктивних (маргінальних) землях внесення добрив позитивно впливало на рівень рентабельності та коефіцієнт енергетичної ефективності.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

У монографії наведено теоретичне обґрунтування і практичне вирішення важливої наукової проблеми – підвищення продуктивності цукроносних культур як сировини для виробництва різних видів біопалива залежно від тривалості періоду вегетації, доз мінеральних добрив, густоти стояння рослин та строків збирання цукромісткої біомаси у Лісостепу України.

1. Для збільшення обсягів виробництва і використання біопалива в Україні доцільно створити стабільну сировинну базу на основі розширення площ посівів цукроносних культур. В умовах України найперспективнішими культурами для виробництва рідкого, газоподібного і твердого біопалива визнано буряки цукрові та сорго цукрове. Однак відсутність теоретичних і агробіологічних основ формування продуктивності цукроносних культур не дозволяє у повній мірі реалізувати їх біологічний потенціал.

2. Розроблено методичні основи оцінки енергетичного потенціалу різних сортів і гібридів сорго цукрового та буряків цукрових і технологій їх вирощування шляхом розрахунку виходу біопалива та енергії з одиниці площі посівів.

3. Розроблено методику визначення площі листової поверхні цукроносних культур, яка полягає у скануванні листової пластини планшетним сканером та опрацюванні графічних файлів за допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє виміряти площу листка з точністю до 0,25 мм².

4. Для рослин сорго цукрового встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r=0,976 - 0,995$) між площею листової поверхні та добутком довжини на ширину листка. Уточнено перевідні коефіцієнти для визначення площі листової поверхні розрахунковим методом, які становлять: для гібридів 'Медовий F1' – $b=0,736\pm0,016$; 'Бізон' – $b=0,751\pm0,015$; 'Зубр' – $b=0,755\pm0,008$; 'Мамонт' – $b=0,760\pm0,012$; для сортів 'Фаворит' – $b=0,753\pm0,012$; 'Силосне 42' – $b=0,749\pm0,016,015$; 'Нектарний' – $b=0,738\pm0,013$.

5. Розроблено методику розрахунку середнього діаметра коренеплодів буряків цукрових і прогнозування їх фракційного складу на

основі біологічної врожайності та густоти стояння рослин, що дозволяє керувати процесом формування енергетичної продуктивності.

6. У центральній частині Лісостепу України вихід біоетанолу із сорго цукрового найбільшою мірою залежить від погодних умов (39,0 %) і доз мінеральних добрив (28,5 %). Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ дозволило збільшити врожайність зеленої маси сорго цукрового на 24,9 т/га, цукристість соку на 1,5 % та вихід біоетанолу на 1,13 т/га. За вирощування сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ урожайність зеленої маси збільшується на 6,6 т/га, цукристість соку – на 1,3 %, вихід біоетанолу – на 0,5 т/га порівняно із сортом ‘Силосне 42’. За сівби насіння сорго цукрового у третій декаді квітня зменшуються врожайність зеленої маси на 6,6 т/га, цукристість соку – на 0,5 % та вихід біоетанолу – на 0,34 т/га порівняно з оптимальними строками (I - II декади травня).

7 У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України врожайність зеленої маси сорго цукрового залежить від сортових особливостей (36,5 %), строків сівби насіння (12,1 %) та строків збирання врожаю (12,2 %). Найзначніше на цукристість соку впливали строки збирання біомаси (68,1 %). Збирання сорго цукрового у фазі воскової стиглості (ВВСН 72 - 77) забезпечило в 1,8 раза вищу цукристість соку порівняно із фазою викидання волоті (ВВНС 62 - 67). Подовження періоду вегетації рослин сорго цукрового за рахунок пізнішого збирання врожаю дозволяє збільшити суху речовину та зменшити вміст зольних елементів у біомасі. Сорго цукрове гібрида ‘Мамонт’ за врожайністю зеленої маси (91,5 т/га), цукристістю соку (12,7 %) та вмістом сухої речовини (24,6 %) перевищувало сорт ‘Силосне 42’, відповідні показники якого становили 70,8 т/га, 12 % та 24 відсотки.

8. У зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України, залежно від строків сівби насіння, вихід біоетанолу з рослин сорго цукрового гібрида ‘Фаворит’ варіював в межах 2,12 - 2,22 т/га, біогазу – 11,1 - 11,9 тис. m^3 /га, твердого біопалива – 17,5 - 18,6 т/га та енергії – 335 - 351 ГДж/га. За внесення дози добрив $N_{80}P_{80}K_{80}$ вихід біоетанолу з 1 га посівів сорту ‘Силосне 42’ і гібрида ‘Фаворит’ зростав на 0,1 та 0,4 т/га, біогазу на 0,5 та 1,9 тис. m^3 /га, твердого біопалива на 0,8 та 3,0 т/га відповідно. Найбільшою мірою на вихід енергії впливали

погодні умови (49,6 %), дози добрив (16,1 %) та особливості сорту і гібрида (15,4 %).

9. На малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження найбільший вихід біоетанолу (1,75 т/га), біогазу (8,6 тис. м³/га) та твердого біопалива (18,5 т/га) досягається за сівби насіння сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ у другій декаді травня. За внесення дози добрив N₈₀P₈₀K₈₀ вихід біоетанолу з 1 га посівів зростає на 0,5 і 0,6 т/га, біогазу на 2,7 та 3,1 тис. м³/га, твердого біопалива на 4,2 і 4,8 т/га для сорту ‘Силосне 42’ та гібрида ‘Медовий F1’ відповідно.

10. Для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України максимальна врожайність коренеплодів буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ і гібрида ‘Олександрія’ досягається за внесення дози добрив N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀ та густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Найвищої цукристості досягнуто на варіанті без внесення добрив та найбільшій густоті стояння рослин (150 тис. шт./га). Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу, біогазу та енергії отримано за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Збирання біомаси буряків цукрових для виробництва біогазу у згаданій зоні доцільно розпочинати у кінці серпня, для отримання максимального виходу біоетанолу та енергії – у кінці вересня.

11. У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України найвищу врожайність коренеплодів і гички буряків цукрових гібрида ‘Ворскла’ (51,8 та 24,7 т/га відповідно) отримано за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га та дози добрив N₇₅P₅₀K₅₀. Максимальної у досліді врожайності коренеплодів гібрида ‘Булава’ (53,8 т/га) досягнуто за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га на фоні внесення підвищеної дози добрив – N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀. Найвищу цукристість коренеплодів гібрида ‘Ворскла’ (19,0 %) отримано за дози добрив N₇₅P₅₀K₅₀, гібрида ‘Булава’ (18,8 %) за дози добрив N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀ та густоти стояння рослин 100 тис. шт./га.

12. Найбільшу врожайність коренеплодів буряків цукрових гібридів ‘ЩБ 0801’ (63,2 т/га) та ‘Булава’ (61,3 т/га) у зоні нестійкого зволоження східного Лісостепу України відмічено за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га та дози добрив N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀. Найвищі значення цукристості спостерігали на варіанті без внесення добрив за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га.

13. На малопродуктивних ґрунтах Лісостепу України максимальної врожайності буряків цукрових гібридів ‘Шевченківський’ та ‘Булава’ досягнуто за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га та внесення добрив $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу з гібридів ‘Шевченківський’ (3,50 т/га) та ‘Булава’ (3,97 т/га) отримано за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га. Найзначніше на варіювання врожайності коренеплодів впливало застосування добрив (59,1 %), дещо меншим був вплив погодних умов (16,6 %). Для отримання максимального врожаю біомаси буряків цукрових, а відтак і виходу біоетанолу з коренеплодів та енергії з біопалива урожай треба збирати на початку жовтня.

14. Найбільша врожайність зеленої маси та вихід енергії в зоні недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України досягається за вирощування сорго цукрового гібрида ‘Довіста’ (152,5 т/га та 815,8 ГДж/га) і гібрида ‘Медовий F1’ (132,9 т/га та 732,5 ГДж/га) за умови збирання біомаси у фазі повної стиглості (ВВСН 84 - 87). Попри високий рівень пластичності, сорт ‘Фаворит’ поступається перед гібридами за врожайністю зеленої маси (до 97,1 т/га) та за загальним виходом енергії (523,0 ГДж/га). Сорт ‘Силосне 42’ вирізняється найменшим показником екологічної пластичності за врожайністю зеленої маси ($b=0,79$), проте він найстабільніший.

15. Для зони нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 646 ГДж/га) зафіксовано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’, у якого також встановлено найвищий рівень екологічної пластичності ($b=1,6$).

16. У зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії отримано з біомаси сорго цукрового гібрида ‘Довіста’ (до 791,8 ГДж/га). Проте найбільш екологічно пластичним за показником врожайності зеленої маси виявився гібрид ‘Медовий F1’ ($b=1,62$).

17. На малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 441,5 ГДж/га) відзначено із сорго цукрового гібрида ‘Довіста’ за збирання його біомаси з кінця серпня до середини вересня, рівень екологічної пластичності для даного сорту був найвищим і становив $b=1,29$.

18. У рослин сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ збирання зеленої маси в кінці серпня дозволяє досягти максимального виходу енергії (479 ГДж/га), енергетичний потенціал сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ реалізується за їх збирання починаючи від середини вересня, а гібрида ‘Довіста’ – в кінці вересня - на початку жовтня, що забезпечує найвищий вихід енергії з одиниці площі (655 ГДж/га).

19. Застосування інтенсивного подрібнення стебел сорго цукрового (до часток розміром менше 0,1 мм) сприяло збільшенню виходу соку в 1,4 - 1,9 раза. Фаза розвитку рослин несуттєво впливала на вихід соку, водночас цукристість останнього залежала від фаз розвитку рослин і сортових особливостей та варіювала в межах 7,5 - 16 % (фаза цвітіння, ВВСН 63 - 67) і 13,1 - 19,0 % (фаза повної стиглості ВВСН 85 - 88).

20. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ для різних ґрунтово-кліматичних умов сприяло позитивному енергетичному балансу, за якого додаткова кількість енергії від підвищення продуктивності рослин сорго цукрового перевершує додаткові енергозатрати. Затрати енергії, пов’язані з внесенням дози добрив $N_{160}P_{160}K_{160}$ не покривалися додатковим виходом енергії, отриманої від зростання продуктивності рослин сорго цукрового. Застосування мінеральних добрив під час вирощування сорго цукрового призводило до підвищення собівартості біопалива.

21. Застосування мінеральних добрив під час вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива призводить до зменшення показників економічної та енергетичної ефективності для більшості зон, в яких виконувалися дослідження. За вирощування буряків цукрових на малопродуктивних (маргінальних) землях внесення добрив позитивно впливало на рівень рентабельності та коефіцієнт енергетичної ефективності.

22. Найбільший умовно чистий прибуток від реалізації зеленої маси сорго цукрового досягався за вирощування гібрида ‘Довіста’ і варіювала в межах від 18,3 до 39,3 тис. грн /га залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування. У разі перероблення зеленої маси на біогаз, умовно чистий прибуток зростає у 3,9 - 6,5 раза.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для навчальних та науково-дослідних установ рекомендується:
 - використовувати розроблені методичні рекомендації з визначення площі листової поверхні рослин сорго цукрового, що дозволить підвищити точність і продуктивність досліджень з визначення фотосинтетичного потенціалу;
 - для розрахунку енергетичної продуктивності вирощування цукроносних культур використовувати методичні рекомендації з розрахунку виходу біопалива та енергії з одиниці площі посівів.
2. Для сільськогосподарського виробництва рекомендується:
 - під час вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу, біогазу і твердого біопалива використовувати сучасні вітчизняні високоврожайні сорти ('Силосне 42' і 'Фаворит') і гібриди ('Довіста', 'Медовий F1', 'Зубр' та 'Мамонт') які характеризуються високим вмістом цукрів та сухої речовини;
 - для забезпечення максимальної енергетичної та економічної ефективності під час вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі вносити мінеральні добрива у дозі більше ніж $N_{80}P_{80}K_{80}$ недоцільно;
 - у разі вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу і твердого біопалива врожай найприйнятніше збирати у фазу повної стиглості зерен, коли відбувається максимальне накопичення цукрів та сухої речовини у стеблах;
 - за вирощування сорго цукрового для виробництва біогазу збирання біомаси треба розпочинати у фазу цвітіння, коли формується максимальна врожайність біомаси;
 - для отримання максимального виходу зеленої маси та енергії із сорго цукрового у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України економічно виправдано вирощувати гібриди 'Довіста' та 'Медовий F1', а вирощену біомасу збирати не раніше середини вересня. На енергетичні цілі доцільно вирощувати буяки

цукрові гібридів ‘Ворскла’ і ‘Булава’ за дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$ та густоти стояння рослин 100 тис. шт. /га;

- у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України ефективно вирощування гібрида ‘Довіста’ із збиранням його біомаси на початку вересня. Для гібридів буряків цукрових ‘ЩБ 0801’ і ‘Булава’ найприйнятніша густота стояння рослин 70 тис. шт. /га і доза добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$;
- у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України варто вирощувати сорго цукрове гібрида ‘Довіста’ і гібрида ‘Медовий F1’, водночас біомасу середньопізннього гібрида ‘Довіста’ збирати починаючи з середини вересня, а біомасу середньораннього гібрида ‘Медовий F1’ збирати двічі: в кінці липня та на початку жовтня. Буряки цукрові гібрида ‘Константа’ як сировину для виробництва біоетанолу доцільно вирощувати за густоти стояння рослин 100 тис. шт. /га. за енергетично обґрунтованої дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$;
- на малопродуктивних грантах у зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України найефективніше вирощувати сорго цукрове гібрида ‘Довіста’ та збирати його біомасу з кінця серпня до середини вересня. За вирощування буряків цукрових економічно й енергетично обґрунтованою дозою добрив визнано $N_{150}P_{100}K_{100}$ та густота стояння рослин 130 тис. шт. /га;
- для отримання максимального виходу біоетанолу буряки цукрові треба збирати починаючи з першої декади жовтня, для біогазу – починаючи з першої декади вересня.

3. Для переробної промисловості рекомендується:

- з метою збільшення виходу соку – проводити попереднє інтенсивне подрібнення стебел сорго цукрового на часточки розміром до 0,1 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aboudi K., Alvarez-Gallego C., Romero-Garcia L. Semi-continuous anaerobic co-digestion of sugar beet byproduct and pig manure: Effect of the organic loading rate (OLR) on process performance. *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 194 P. 283-290. DOI:10.1016/j.biortech.2015.07.031
2. Abyaneh H.Z., Jovzi M., Albaji M. Effect of regulated deficit irrigation, partial root drying and N-fertilizer levels on sugar beet crop (*Beta vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 194. P. 13-23. doi: 10.1016/j.agwe.2017.08.016
3. Adedoyin F.F., Alola A.A., Bekun F.V. An assessment of environmental sustainability corridor: The role of economic expansion and research and development in EU countries. *Science Of The Total Environment*. 2020. Vol. 713. N136726. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.136726
4. Adoption of the paris agreement. Approved 12.12.2015. Режим доступу: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
5. Ahmad T., Zhang D.D. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Reports*. 2020. Vol. 6. P. 1973-1991. DOI: 10.1016/j.egyr.2020.07.020
6. Ahmad M., Ahmed Z., Majeed A., Huang. B. An environmental impact assessment of economic complexity and energy consumption: Does institutional quality make a difference? *Environmental Impact Assessment Review*. 2021. Vol. 89. N106603. doi:10.1016/j.eiar.2021.106603
7. Alavijeh M., Yaghmaei S. Biochemical production of bioenergy from agricultural crops and residue in Iran. *Waste Management*. 2016. Vol. 52. P. 375-394. DOI:10.1016/j.wasman.2016.03.025
8. Alhajturki D., Aljamali M., Kanbar A., Azmah F., Potential of Some Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes Under Two Water Regimes for Sugar and Bio-ethanol Production. *Sugar Tech*. 2012. Vol. 14. Iss. 4. P. 376-382. doi: 10.1007/s12355-012-0181-x
9. Alkaya E., Demirer G. Anaerobic acidification of sugar-beet processing wastes: Effect of operational parameters. *Biomass & Bioenergy*. 2010. Vol. 35. Iss. 1. P. 32-39. DOI:10.1016/j.biombioe.2010.08.002
10. Almodares A., Hadi M.R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 2009. Vol. 4. Issue 9. P. 772-780.

11. Alonso R., del Rio R., Garcia M. Thermophilic and mesophilic temperature phase anaerobic co-digestion (TPAcD) compared with single-stage co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation. *Biomass & Bioenergy*. 2016. Vol. 93. P. 107-115. DOI:10.1016/j.biombioe.2016.05.028
12. Ambuchi J., Zhang Z., Shan L., Liang D., et al. Response of anaerobic granular sludge to iron oxide nanoparticles and multi-wall carbon nanotubes during beet sugar industrial wastewater treatment. *Water Research*. 2017. Vol. 117. P. 87-94. DOI:10.1016/j.watres.2017.03.050
13. Antonopoulou G., Gavala H.N., Skiadas I.V., Angelopoulos K., Lyberatos G. Biofuels generation from sweet sorghum: Fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, Issue 1. P. 110-119. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.11.048.
14. Antonopoulou G., Gavala H.N., Skiadas I.V., Lyberatos G. ADM1-based modeling of methane production from acidified sweet sorghum extract in a two stage process. *Bioresource Technology*. 2012. Vol. 106. P. 10-19. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.11.088.
15. Appiah-Nkansah N.B., Li J., Rooney W., Wang D.H. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 143. P. 1121-1132. DOI: 10.1016/j.renene.2019.05.066
16. Artyszak A., Gozdowski D. The Effect of Growth Activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on the Soil Properties, Root Yield, and Technological Quality of Sugar Beet. *Agronomy-Basel*. 2020. Vol. 10. Iss. 9. Article 1262. doi: 10.3390/agronomy10091262
17. Atis I., Konuskan O., Duru M., Gozubenli H., Yilmaz S. Effect of Harvesting Time on Yield, Composition and Forage Quality of Some Forage Sorghum Cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2012. Vol. 14, Issue 6. P. 879-886. doi: 12-208/AWB/2012/14-6-879-886
18. Ayodele B.V., Alsaffar M.A., Mustapa S.I. An overview of integration opportunities for sustainable bioethanol production from first- and second-generation sugar-based feedstocks. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. N 118857. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118857
19. Barmaki S., Alamouti A.A., Khadem A.A., Afzalzadeh A. Effectiveness of chopped lucerne hay as a moisture absorbent for low dry-matter maize silage: Effluent reduction, fermentation quality and intake by sheep. *Grass and Forage Science*. 2018. Vol. 73. Iss. 2. P. 406-412. doi: 10.1111/gfs.12343

20. Baryga A., Polec B., Malczak E. Technological value of raw materials from sugar beet growing area fertilized with digestate from sugar beet pulp biogas plant. *Plant Soil and Environment*. 2017. Vol. 63. Iss. 5. P. 207-212. doi: 10.17221/36/2017-PSE

21. Bauer N., Rose S.K., Fujimori S., van Vuuren D.P., Weyant J. et al. Global energy sector emission reductions and bioenergy use: overview of the bioenergy demand phase of the EMF-33 model comparison. *Climatic Change*. 2020. Vol. 163. Iss. 3. P. 1553-1568. DOI: 10.1007/s10584-018-2226-y

22. Baumgarten W., Ivanina V., Hanzhenko O. Biomass production on marginal lands – catalogue of bioenergy crops. *Geophysical Research Abstracts*. 2017. Vol. 19, EGU2017-7904-1 EGU General Assembly 2017. Режим

доступу: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-7904-1.pdf>

23. Bentini M., Caprara C., Rondelli V. Mechanical properties of sugar beet roots. *Transactions Of The Asae*. 2005. Vol. 48. Iss. 4. P. 1429-1439.

24. Berlowska J., Balcerek M., Dziugan P., Dziekonska-Kubczak U., Pielech-Przybylska K., Patelski P., Robak K. Use of saccharose and structural polysaccharides from sugar beet biomass for bioethanol production. *International Agrophysics*. 2020. Vol. 34. Iss. 2. P. 151-159. doi: 10.31545/intagr/116572

25. Bertoldi P., Kona A., Rivas S., Dallemand J.F. Towards a global comprehensive and transparent framework for cities and local governments enabling an effective contribution to the Paris climate agreement. *Current Opinion In Environmental Sustainability*. 2018. Vol. 30. P. 67-74. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.03.009

26. Boonchoo S., Fukai S., Hetherington S. Barley yield and grain protein concentration as affected by assimilate and nitrogen availability. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1998. Vol. 49. Iss. 4. P. 695-706.

27. Bremond U., Bertrandias A., Steyer J.P., Bernet N., Carrere H. A vision of European biogas sector development towards 2030: Trends and challenges. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 287. N125065. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125065

28. Brodny J., Tutak M. The analysis of similarities between the European Union countries in terms of the level and structure of the emissions of selected gases and air pollutants into the atmosphere. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 279. N123641. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123641

29. Bu H., Sharma L.K., Denton A., Franzen D.W. Comparison of Satellite Imagery and Ground-Based Active Optical Sensors as Yield Predictors in Sugar Beet, Spring Wheat, Corn, and Sunflower. *Agronomy*

Journal. 2017. Vol. 109. Iss. 1. P. 299-308. doi: 10.2134/agronj2016.03.0150

30. Bulgari R., Baldi A., Ferrante A., Lenzi A. Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2017. Vol. 45. Iss. 2. P. 119-129. doi: 10.1080/01140671.2016.1259642

31. Burcky K., Winner C. The effect of plant-population on yield and quality of sugar-beet at different harvesting date. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1986. Vol. 157. Iss. 4. P. 264-272. doi: 10.1111/j.1439-037X.1986.tb00075.x

32. Byrt C.S., Grof, C.P.L., Furbank, R.T. C-4 Plants as Biofuel Feedstocks: Optimising Biomass Production and Feedstock Quality from a Lignocellulosic Perspective. *Journal of integrative plant biology*. 2011. Vol. 53, Issue 2, P. 120-135. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01023.x

33. Cai H., Dunn J.B., Wang Z.C., et al. Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnology for biofuels*. 2013, Vol. 6, Article number: 141. doi: 10.1186/1754-6834-6-141

34. Campi P., Navarro A., Palumbo A.D., Mastrangelo M., Lonigro A., Mastroianni M. Bioenergy productivity of sugar beet irrigated with reclaimed wastewaters. *Italian Journal Of Agronomy*. 2015. Vol. 10. Iss. 3. P. 155-159. doi: 10.4081/ija.2015.652

35. Cao J., Hesketh J.D., Zur B., Reid J.F. Leaf area development in maize and soybean plants. *Biotronics*. 1988. Vol. 17 P. 9-15.

36. Cao W.X., Sun C., Liu R.H., Yin R.Z., Wu X.W. Comparison of the effects of five pretreatment methods on enhancing the enzymatic digestibility and ethanol production from sweet sorghum bagasse. *Bioresource Technology*. 2012. Vol. 111. P. 215-221. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.034.

37. Chiaramonti D., Talluri G., Scarlat N., Prussi M. The challenge of forecasting the role of biofuel in EU transport decarbonisation at 2050: A meta-analysis review of published scenarios. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 139. N110715. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110715

38. Chojnacka A., Szczesny P., Blaszczyk M., Zielenkiewicz U., et al. Noteworthy Facts about a Methane-Producing Microbial Community Processing Acidic Effluent from Sugar Beet Molasses Fermentation. *Plos One*. 2015. Vol. 10. Iss. 5. DOI:10.1371/journal.pone.0128008

39. Christoph N., Hermann A., Wachter H. 25 Years authentication of wine with stable isotope analysis in the European Union - Review and outlook. *38th World Congress Of Vine And Wine (part 1)*. 2015. Vol. 5. doi: 10.1051/bioconf/20150502020

40. Ciric M., Curcic I., Miroslavljevic M., Jeromela A.M., Jacimovic G., Prodanovic S., Zivanovic T. Assessment of sugar beet root yield by ammi analysis. *Genetika-Belgrade*. 2017. Vol. 49. Iss. 2. P. 663-675. doi: 10.2298/GENSR1702663C

41. CO₂ emissions. *Our World in Data*. 2021. <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

42. Dahlberg J. The Role of Sorghum in Renewables and Biofuels. *Sorghum: Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology*. 2019. Vol. 1931. P. 269-277. DOI: 10.1007/978-1-4939-9039-9_19

43. Dar R.A., Dar E.A., Kaur A., Phutela U.G. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 4070-4090. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.066.

44. De la Rubia M., Villamil J., Rodriguez J., Mohedano A. Effect of inoculum source and initial concentration on the anaerobic digestion of the liquid fraction from hydrothermal carbonisation of sewage sludge. *Renewable Energy*. 2018. Vol. 127. P. 697-704. DOI:10.1016/j.renene.2018.05.002

45. De Laporte A.V., Ripplinger D.G. Economic viability of energy beets (*Beta vulgaris*) as advanced biofuel feedstocks. *Industrial Crops and Products*. 2018. Vol. 111. P. 254-260. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.09.067

46. Dekovets V. O., Rozhko I. I., Kulyk M. I. Analysis of the assortment of energy crops for growing under the conditions of Ukraine. *The 4 th International scientific and practical conference – «Modern science: problems and innovations» (June 28-30, 2020) SSPG Publish, Stockholm, Sweden*. 2020 : 11-16.

47. Demirbas A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*. 2008. Vol. 49. Iss. 8. P. 2106-2116. doi: 10.1016/j.enconman.2008.02.020

48. Demirel B., Scherer P. Bio-methanization of energy crops through mono-digestion for continuous production of renewable biogas. *Renewable Energy*. 2009. Vol. 34. Iss. 12. P. 2940-2945. DOI:10.1016/j.renene.2009.05.013

49. Demirel B., Scherer R. Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process.

Biomass & Bioenergy. 2007. Vol. 32. Iss. 3. P. 203-209. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.09.011

50. Ding Q., Khattak S.I., Ahmad M. Towards sustainable production and consumption: Assessing the impact of energy productivity and eco-innovation on consumption-based carbon dioxide emissions (CCO₂) in G-7 nations. *Sustainable Production And Consumption*. 2021. Vol. 27. P. 254-268. DOI:10.1016/j.spc.2020.11.004

51. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG

52. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

53. Dodic S., Popov S., Dodic J., Rankovic J., et al. An overview of biomass energy utilization in Vojvodina. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol. 14. Iss. 1. P. 550-553. DOI:10.1016/j.rser.2009.07.010

54. Dogaris I., Karapati S., Mamma D., Kalogeris E., Kekos D. Hydrothermal processing and enzymatic hydrolysis of sorghum bagasse for fermentable carbohydrates production. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, Issue 24. P. 6543-6549. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.07.046.

55. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci*. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36-40. doi: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X

56. EN ISO 17225-1:2014 Solid biofuels -- Fuel specifications and classes -- Part 1: General requirements.

57. Energy mix: what sources do we get our energy from? *Statistical Review of World Energy*. 2021. <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=#energy-mix-what-sources-do-we-get-our-energy-from>

58. EU Green Deal (carbon border adjustment mechanism). *Proposal for a Directive*. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism>

59. Fachagentur nachwachsende rohstoffe e.v.: Basisdaten bioenergie deutschland (станом на серпень 2013 року).

60. Fang C., Boe K., Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. *Water Research*. 2011. Vol. 45. Iss. 11. P. 3473-3480. DOI:10.1016/j.watres.2011.04.008
61. Fang C., Zhang T., Li P., Jiang R., et al. Phosphorus recovery from biogas fermentation liquid by Ca-Mg loaded biochar. *Journal Of Environmental Sciences*. 2014. Vol. 29. P. 106-114. DOI: 10.1016/j.jes.2014.08.019
62. Faraji M., Chakan A.A., Jafarizadeh M., Behbahani A.M. Soil and nutrient losses due to root crops harvesting: a case study from southwestern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2017. Vol. 63. Iss. 11. P. 1523-1534. doi: 10.1080/03650340.2017.1296133
63. Fasahat P., Aghaezadeh M., Jabbari L., Hemayati S.S., Townson P. Sucrose Accumulation in Sugar Beet: From Fodder Beet Selection to Genomic Selection. *Sugar Tech*. 2018. Vol. 20. Iss. 6. P. 635-644. doi: 10.1007/s12355-018-0617-z
64. Ferreira O. E., da Silva A. F., Costa G. H. G. et al. Ethanolic Fermentation of Sweet Sorghum Broth: Effects of Genotypes, Harvest System and Enzymatic Treatment. *Sugar Tech*. 2021. Vol. 23, Iss. 3. P. 634-642. doi: 10.1007/s12355-020-00816-z
65. Franco R., Buffiere P. Bayard R. Ensiling for biogas production: Critical parameters. A review. *Biomass & Bioenergy*. 2016. Vol. 94. P. 94-104. DOI:10.1016/j.biombioe.2016.08.014
66. Gabriels D., Ghekiere G., Schiettecatte W. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. *Soil & Tillage Research*. 2003. Vol. 74. Iss. 1. P. 47-53. doi: 10.1016/S0167-1987(03)00092-8
67. Gao C.F., Zhai Y., Ding Y., Wu Q.Y. Application of sweet sorghum for biodiesel production by heterotrophic microalga *Chlorella protothecoides*. *Applied Energy*. 2010. Vol. 87, Issue 3. P. 756-761. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.09.006.
68. Garuti M., Mantovi P., Soldano M., Immovilli A., Ruozzi F., Feroso F.G., Rodriguez A.J., Fabbri C. Towards sustainable energy-crop cultivation: feasibility of biomethane production using a double-cropping system with various sorghum phenotypes. *Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofrpr*. 2020. Vol. 14, Issue 3. P. 553-565. DOI: 10.1002/bbb.2099.
69. Gissen C., Prade T., Kreuger E., Nges I., et al. Comparing energy crops for biogas production Yields, energy input and costs in cultivation

using digestate and mineral fertilisation. *Biomass & Bioenergy*. 2014. Vol. 64. P. 199-210. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.03.061

70. Glab L., Sowinski J., Chmielewska J., Prask H., Fugol M., Szlachta J. Comparison of the energy efficiency of methane and ethanol production from sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) with a variety of feedstock management technologies. *Biomass & Bioenergy*. 2019. Vol. 129. Article #105332. DOI: 10.1016/j.biombioe.2019.105332.

71. Gnansounou E., Dauriat A., Wyman C.E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresour. Technol.* 2005. Vol. 96, Issue 9. P. 985-1002. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.09.015.

72. Goglio P., Williams A.G., Balta-Ozkan N., Harris N.R.P., et al. Advances and challenges of life cycle assessment (LCA) of greenhouse gas removal technologies to fight climate changes. *Journal Of Cleaner Production*. 2020. Vol. 244. № 118896. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118896

73. Gossling S., Scott D. The decarbonisation impasse: global tourism leaders' views on climate change mitigation. *Jornal Of Sustainable Tourism*. 2018. Vol. 26. Iss. 12. P. 2071-2086. DOI: 10.1080/09669582.2018.1529770

74. Goux X., Calusinska M., Lemaigre S., Marynowska M., et al. Microbial community dynamics in replicate anaerobic digesters exposed sequentially to increasing organic loading rate, acidosis, and process recovery. *Biotechnology For Biofuels*. 2015. Vol. 8. Iss. 122. DOI: 10.1186/s13068-015-0309-9

75. Grabovskyi M., Lozinskyi M., Grabovska T., Roubik H. Green mass to biogas in Ukraine—bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021. P. 1-9.

76. Haas T., Sander H. Decarbonizing Transport in the European Union: Emission Performance Standards and the Perspectives for a European Green Deal. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 20. № 8381. DOI: 10.3390/su12208381

77. Han X., Wei C. Household energy consumption: state of the art, research gaps, and future prospects. *Environment Development And Sustainability*. 2021. Vol. 23. Iss. 8. P. 12479-12504. DOI: 10.1007/s10668-020-01179-x

78. Han K.J., Pitman W.D., Alison M.W., et al. Agronomic Considerations for Sweet Sorghum Biofuel Production in the South-Central USA. *Bioenergy research*. 2012. Vol. 5, Issue 3, P 748-758. doi: 10.1007/s12155-012-9185-3

79. Hanzhenko O., Roik, M. & Ivanina V. (2016). Catalogue for bioenergy crops and their suitability in the categories of MagLs (D2.2) In: *SEEMLA project reports, supported by the EU's Horizon 2020 programme under GA No. 691874*, Institute for Bioenergy Crops & Sugar Beet of the National Academy of Agricultural Science (IBC&SB). 91 p.

80. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., Chattha M.B., Mahmood A., Khan I., Nawaz M. Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 84-91. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019

81. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., Mahmood A., Chattha M.B., Khan I., Mirza S., Aziz S.A., Nawaz M., Aamer M. Cultivar and seeding time role in sorghum to optimize biomass and methane yield under warm dry climate. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 145, Article ID 111983. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111983

82. Hector D., Fukai S., Yoyne P. Adapting a barley growth model to predict grain protein concentration for different water and nitrogen availabilities. *Australian Society of Agronomy Inc.; Toowoomba, Australia*. 1997. P. 117-121.

83. Heno S., Viou L., Khan M.F.R. Sugar Beet Production in France. *Sugar Tech*. Vo. 20. Iss. 4. P. 392-395. doi: 10.1007/s12355-017-0575-x

84. Holmes M.R.J., Devine J.R., Dunnett F.W. Nitrogen requirements of sugar-beet in relation to harvesting date. *Journal of Agricultural Science*. 1976. Vol. 86. Iss. APR. P. 373-377. doi: 10.1017/S0021859600054848

85. Holou R.A.Y., Stevens G. Juice, sugar, and bagasse response of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. M81E) to N fertilization and soil type. *Global change biology bioenergy*. 2012. Vol. 4, Issue 3, P. 302-310. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01126.x

86. Hull R., Webb D.J. Effect of sowing date and harvesting date on yield of sugar beet. *Journal Of Agricultural Science*. 1970. Vol. 75. 223 p. doi: 10.1017/S0021859600016889

87. Husniev I., Romanenkov V., Minakova O., Krasilnikov P. Modelling and Prediction of Organic Carbon Dynamics in Arable Soils Based on a 62-Year Field Experiment in the Voronezh Region, European Russia. *Agronomy-Basel*. 2020. Vol. 10. Iss. 10. Article 1607. doi: 10.3390/agronomy10101607

88. Jacobs A., Koch H.J., Marlander B. Preceding crops influence agronomic efficiency in sugar beet cultivation. *Agronomy for Sustainable Development*. 2018. Vol. 38. Iss. 1. Article 5. doi: 10.1007/s13593-017-0469-z

89. Jankowski K.J., Dubis B., Budzynski W.S., Borawski P., Bulkowska K. Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. *Energy*. 2016. Vol. 109. P. 277-286. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.087.

90. Jankowski K.J., Dubis B., Sokolski M.M., Zaluski D., Borawski P., Szemplinski W. Productivity and energy balance of maize and sorghum grown for biogas in a large-area farm in Poland: An 11-year field experiment. *Industrial Crops And Products*. 2020. Vol. 148. Article #112326. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112326.

91. Julius B.T., Leach K.A., Tran T.M., Mertz R.A., Braun D.M. Sugar Transporters in Plants: New Insights and Discoveries. *Plant And Cell Physiology*. 2017. Vol. 58. Iss. 9. P. 1442-1460. DOI: 10.1093/pcp/pcx090

92. Kandil E.E., Abdelsalam N.R., Abd El Aziz A.A., Ali H.M., Siddiqui M.H. Efficacy of Nanofertilizer, Fulvic Acid and Boron Fertilizer on Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Yield and Quality. *Sugar Tech*. 2020. Vol. 22. Iss. 5. P. 782-791. doi: 10.1007/s12355-020-00837-8

93. Kang S.M., Yu J. Maintenance of a Highly Active Solid Acid Catalyst in Sugar Beet Molasses for Levulinic Acid Production. *Sugar Tech*. 2018. Vol. 20. Iss.2. P. 182-193. doi: 10.1007/s12355-017-0543-5

94. Kardung M., Cingiz K., Costenoble O., Delahaye R. et al. Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 1. № 413. DOI: 10.3390/su13010413

95. Khakbazan M., Larney F.J., Huang J.Z., Mohr R.M., Pearson D.C., Blackshaw R.E. Economics of Conventional and Conservation Practices for Irrigated Dry Bean Rotations in Southern Alberta. *Agronomy Journal*. 2017. Vol. 109. Iss. 2. P. 576-587. doi: 10.2134/agronj2016.08.0480

96. Khan Z., Ali S., Umar M., Kirikkaleli D., Jiao Z.L. Consumption-based carbon emissions and International trade in G7 countries: The role of Environmental innovation and Renewable energy. *Science Of The Total Environment*. 2020. Vol. 730. № 138945. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138945

97. Klang J., Theuerl S., Szewzyk U., Huth M., et al. Dynamic variation of the microbial community structure during the long-time mono-fermentation of maize and sugar beet silage. *Microbial Biotechnology*. Vol. 8. Iss. 5. P. 764-775. DOI:10.1111/1751-7915.12263

98. Klimiuk E., Pokoj T., Budzynski W., Dubis B. Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101, Issue 24. P. 9527-9535. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.06.130.

99. Kober T., Schiffer H.W., Densing M., Panos E. Global energy perspectives to 2060-WEC's World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*. 2020. Vol. 31. № 100523. DOI: 10.1016/j.esr.2020.100523
100. Kocar G., Civas N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 28. P. 900-916. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.022
101. Koga N., Kajiyama T., Senda K., Iketani S., Tamiya S., Tsuda S. Energy efficiency of potato production practices for bioethanol feedstock in northern Japan. *European Journal of Agronomy*. 2013. Vol. 44. P. 1-8. doi: 10.1016/j.eja.2012.07.001
102. Koppa A., Pullammanappallil P. Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 99. Iss. 8. P. 2831-2839. DOI:10.1016/j.biortech.2007.06.051
103. Kreuger E., Nges I., Bjornsson L. Ensiling of crops for biogas production: effects on methane yield and total solids determination. *Biotechnology For Biofuels*. 2011. Vol. 4. Iss. 44. DOI: 10.1186/1754-6834-4-44
104. Kryvoruchko V., Machmuller A., Bodiroza V., Amon B., Amon T. Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing. *Biomass & Bioenergy*. 2008. Vol. 33. P. 620-627. DOI:10.1016/j.biombioe.2008.10.003
105. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska M. A. Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects. *Monograf*. 2019. 119 p.
106. Lancashire P.D., Bleiholder H., Vandenboom T., Langeluddeke P. et al. A uniform decimal code for growth-stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*. Vol. 119, Iss. 3. P. 561-601. DOI:10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x
107. Laopaiboon L., Nuanpeng S., Srinophakun P., Klanrit P., Laopaiboon P. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, Issue 18. P. 4176-4182. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.03.046.
108. Laufer D., Koch H.J. Growth and yield formation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under strip tillage compared to full width tillage on silt loam soil in Central Europe. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 82. P. 182-189. Part A. doi: 10.1016/j.eja.2016.10.017
109. Leaders Summit Showcases Clean Energy Commitments to Tackle Global Climate Crisis. *SDG knowledge hub. International Institute for*

Sustainable development. Retrieved 2 May 2021. <https://sdg.iisd.org/news/leaders-summit-showcases-clean-energy-commitments-to-tackle-global-climate-crisis/>

110. Li B.Z., Balan V., Yuan Y.J., Dale B.E. Process optimization to convert forage and sweet sorghum bagasse to ethanol based on ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101, Issue 4. P. 1285-1292. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.09.044.

111. Li G.H., Zhang Y., Zhao C., Xue H.T., Yuan L. Chemical variation in cell wall of sugar beet pulp caused by aqueous ammonia pretreatment influence enzymatic digestibility of cellulose. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 155. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112786

112. Li S.Z., Chan-Halbrendt C. Ethanol production in (the) People's Republic of China: Potential and technologies. *Applied Energy*. 2009. Vol. 86. P. S162-S169. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.04.047.

113. Lindner J., Zielonka S., Oechsner H., Lemmer A. Is the continuous two-stage anaerobic digestion process well suited for all substrates? *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 200. P. 470-476. DOI:10.1016/j.biortech.2015.10.052

114. Lueschen W.E., Putnam D.H., Kanne B.K., Hoverstad T.R. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of production agriculture*. 1991. Vol. 4, Issue 4. P. 619 - 625. doi: 10.2134/jpa1991.0619

115. Mahmoud E.A., Hassanin M.A., Borham T.I., Emara E.I.R. Tolerance of some sugar beet varieties to water stress. *Agricultural Water Management*. 2018. Vol. 201. P. 144-151. doi: 10.1016/j.agwat.2018.01.024

116. Mall A.K., Misra V., Santeshwari, Pathak A.D., Srivastava S. Sugar Beet Cultivation in India: Prospects for Bio-Ethanol Production and Value-Added Co-Products. *Sugar Tech*. 2021. doi: 10.1007/s12355-021-01007-0

117. Manevski K., Laerke P.E., Jiao X.R., Santhome S., Jorgensen U. Biomass productivity and radiation utilisation of innovative cropping systems for biorefinery. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017. Vol. 233. P. 250-264. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.11.245

118. Manochio C., Andrade B., Rodriguez R., Moraes B. Ethanol from biomass: A comparative overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 80. P. 743-755. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.063

119. Maravic N., Seres Z., Vidovic S., Misan A., Milovanovic I., Radosavljevic R., Pavlic B. Subcritical water hydrolysis of sugar beet pulp

towards production of monosaccharide fraction. *Industrial Crops and Products*. 2018. Vol. 115. P. 32-39. doi:10.1016/j.indcrop.2018.02.014

120. Marlander B. High-yield and high-quality - a contradiction in sugar-beet growing. *Zuckerindustrie*. 1992. Vol. 117. Iss. 11. P. 908-912.

121. Märkländer, B. Zuckerrüben. Optimierung von Anbauverfahren. Züchtungsfortschritt. Sortenwahl. *Ute Bernard-Pätzold Druckerei & Verlag*. 1991. 138 p.

122. Marzo C., Diaz A.B., Caro I., Blandino A. Status and Perspectives in Bioethanol Production From Sugar Beet. Bioethanol Production From Food Crops: Sustainable Sources, *Interventions and Challenges*. 2019. P. 61-79. doi: 10.1016/B978-0-12-813766-6.00004-7

123. Mathias Schindler. Verdrengt die rebe bald den mais? // *Zuckerrebe*. - 2014, -No. 1, - P.36-39.

124. Mathur S., Umakanth A.V., Tonapi V.A., Sharma R., Sharma M.K. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. *Biotechnology For Biofuels*. 2017. Vol. 10. N 146. DOI: 10.1186/s13068-017-0834-9

125. Mauky E., Jacobi H., Liebetrau J., Nelles M. Flexible biogas production for demand-driven energy supply - Feeding strategies and types of substrates. *Bioresource Technology*. Vol. 178. P. 262-269. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.08.123

126. Mauky E., Weinrich S., Jacobi H., Nagele H., et al. Demand-driven biogas production by flexible feeding in full-scale - Process stability and flexibility potentials. *Anaerobe*. 2017. Vol. 46. P. 86-95. DOI:10.1016/j.anaerobe.2017.03.010

127. Maw M.J.W., Houx J.H., Fritschi F.B. Nitrogen Content and Use Efficiency of Sweet Sorghum Grown in the Lower Midwest. *Agronomy journal*. 2019. Vol. 111, № 6, P. 2920-2928. doi: 10.2134/agronj2018.08.0489

128. Mehmood M.A., Ibrahim M., Rashid U. et al. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*. 2017. Vol. 9. P. 3-21. DOI: 10.1016/j.spc.2016.08.003

129. Milford Y.F.J., Armstrong M.J., Jarvis P.J. Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium take off by sugar beet crops on soils of different potassium status. *Agr. Sci*. 2000. Vol. 1. P 1-10.

130. Moeller L., Lehnig M., Schenk J., Zehnsdorf A. Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 178. P. 270-277. DOI:10.1016/j.biortech.2014.09.098

131. Montanes R., Perez M., Solera R. Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of pH control. *Chemical Engineering Journal*. 2014. Vol. 255. P. 492-499. DOI:10.1016/j.cej.2014.06.074

132. Montero F.J., de Juan J.A., Cuesta A., Brasa A. Nondestructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera* L. *HortScience*. 2000. Vol. 35. Iss. 4. P. 696-698.

133. Moraes B., Triolo J., Lecona V., Zaiat M., Sommer S. Biogas production within the bioethanol production chain: Use of co-substrates for anaerobic digestion of sugar beet vinasse. *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 190. P. 227-234. DOI:10.1016/j.biortech.2015.04.089

134. Mundaca L., Urge-Vorsatz D., Wilson C. Demand-side approaches for limiting global warming to 1.5 degrees C. *Energy Efficiency*. Vol. 2019. Vol. 12. Iss. 2. P. 343-362. DOI: 10.1007/s12053-018-9722-9

135. Murphy J.D., Power N. Technical and economic analysis of biogas production in Ireland utilising three different crop rotations. *Applied Energy*. 2009. Vol. 86. Iss. 1. P. 25-36. DOI:10.1016/j.apenergy.2008.03.015

136. Mzibra A., Zehauf M., Douira A. Effect of length-growing season of the culture on the quantitative and qualitative yield of sugar beet in the region of Gharb (Morocco). *Biotechnologie Agronomie Societe Et Environnement*. 2008. Vol. 12. Iss. 2. P. 139-146.

137. Nationally determined contributions under the Paris Agreement. *Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement*. Third session Glasgow, 31 October to 12 November 2021. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08_adv_1.pdf

138. Neves A., Godina R., Azevedo S.G., Matias J.C.O. A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal Of Cleaner Production*. 2019. Vol. 247. N119113. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.119113

139. New momentum reduces emissions gap, but huge gap remains – analysis. *Press release*. 2021. <https://climateactiontracker.org/press/new-momentum-reduces-emissions-gap-but-huge-gap-remains-analysis/>

140. Newburger E. Here's what countries pledged on climate change at Biden's global summit. *CNBC*. Retrieved 29 April 2021. <https://www.cnn.com/2021/04/22/biden-climate-summit-2021-what-brazil-japan-canada-others-pledged.html>

141. Nges I., Bjornsson L. High methane yields and stable operation during anaerobic digestion of nutrient-supplemented energy crop mixtures. *Biomass & Bioenergy*. 2012. Vol. 47. P. 62-70. DOI:10.1016/j.biombioe.2012.10.002

142. Ntaikou I., Gavala H.N., Kornaros M., Lyberatos G. Hydrogen production from sugars and sweet sorghum biomass using *Ruminococcus albus*. *International Journal Of Hydrogen Energy*. 2008. Vol. 33, Issue 4. P. 1153-1163. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2007.10.053.

143. Nur A., Santoso S. B., Syahrudin K. et al. Study of interaction between genetic source, harvest time and storage time in some mutant varieties of sweet sorghum to support future bioindustry development. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 250. 012068. doi: 10.1088/1755-1315/250/1/012068

144. Okudoh V., Trois C., Workneh T., Schmidt S. The potential of cassava biomass and applicable technologies for sustainable biogas production in South Africa: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 39. P. 1035-1052. DOI:10.1016/j.rser.2014.07.142

145. Ossewaarde M, Ossewaarde-Lowtoo R. The EU's Green Deal: A Third Alternative to Green Growth and Degrowth? *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 23. N9825. DOI: 10.3390/su12239825

146. Oyier M.O., Owuoche J.O., Oyoo M.E., Cheruiyot E., Mulianga B., Rono J. Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*. 2017. Vol. 2017, Article ID: 8249532. 10 pages. doi.org/10.1155/2017/8249532

147. Pakarinen O.M., Kaparaju P.L.N., Rintala J.A. Hydrogen and methane yields of untreated, water-extracted and acid (HCl) treated maize in one- and two-stage batch assays. *International Journal Of Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36, Issue 22. P. 14401-14407. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.08.028.

148. Pakarinen A., Maijala P., Jaakkola S., Stoddard F., et al. Evaluation of preservation methods for improving biogas production and enzymatic conversion yields of annual crops. *Biotechnology For Biofuels*. 2011. Vol. 4. Iss. 20. DOI: 10.1186/1754-6834-4-20

149. Pakarinen A., Maijala P., Stoddard F., Santanen A. et al. Evaluation of annual bioenergy crops in the boreal zone for biogas and ethanol production. *Biomass & Bioenergy*. 2011. Vol. 35. Iss. 7. P. 3071-3078. DOI:10.1016/j.biombioe.2011.04.022

150. Palumbo A.D., Vonella A.V., Garofalo P., D'Andrea L., Rinaldi M. Response of a two-year sugar beet-sweet sorghum rotation to an agronomic management approach diversified by soil tillage and nitrogen fertilisation. *Italian Journal Of Agronomy*. 2014. Vol. 9. Iss.3. P. 109-114. doi: 10.4081/ija.2014.568

151. Panella L. Sugar Beet as an Energy Crop. *Sugar Tech.* 2010. Vol.12. Iss. 3-4. P. 288-293. DOI: 10.1007/s12355-010-0041-5
152. Parawira W., Read J., Mattiasson B., Bjornsson L. Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass & Bioenergy.* 2007. Vol. 32. Iss. 1. P. 44-50. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.06.003
153. Pastor-Bueis R., Mulas R., Gomez X., Gonzalez-Andres F. Innovative liquid formulation of digestates for producing a biofertilizer based on *Bacillus siamensis*: Field testing on sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 2017. Vol. 180. Iss. 6. P. 748-758. doi: 10.1002/jpln.201700200
154. Pathak A. D., Kapur R., Solomon S., Kumar R., Srivastava S., Singh P.R. Sugar Beet: A Historical Perspective in Indian Context. *Sugar Tech.* 2014. Vol. 16. Iss. 2. P. 125-132. doi:10.1007/s12355-014-0304-7
155. Pittau F., Lumia G., Heeren N., Iannaccone G., Habert G. Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal Of Cleaner Production.* 2019. Vol. 214. P. 365-376. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.12.304
156. Pothula A.K., Igathinathane C., Shen J.C., Nichols K., Archer D. Milled industrial beet color kinetics and total soluble solid contents by image analysis. *Industrial Crops and Products.* 2015. Vol. 65. P. 159-169. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.12.001
157. Pouech P., Fruteau H., Bewa H. Agricultural crops for biogas production on anaerobic digestion plants. *Biomass For Energy And Industry.* 1998. P. 163-165.
158. Power N., Murphy J. Which is the preferable transport fuel on a greenhouse gas basis; biomethane or ethanol? *Biomass & Bioenergy.* 2009. Vol. 33. Iss. 10. P. 1403-1412. DOI:10.1016/j.biombioe.2009.06.004
159. Prade T., Svensson S.E., Andersson A. Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. *Biomass & Bioenergy.* 2011. Vol. 35. Iss. 7. P. 3040-3049. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.04.006
160. Prade T., Svensson S., Mattsson J. Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp. *Biomass & Bioenergy.* 2012. Vol. 40. P. 36-52. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.01.045
161. Prasad S., Kumar A., Muralikrishna K.S. Assessment of ethanol yield associated characters in sweet sorghum. *Maydica.* 2013. Vol. 58. Iss. 1-4. P. 299-303

162. Prasad S., Singh A., Jain N., Joshi H.C. Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energy Fuels*. 2007. Vol. 21, Issue 4. P. 2415-2420. doi: 10.1021/ef060328z

163. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulation (EU) 2018/1999 (European Climate Law). COM(2020) 80, Brussels, 4.3.2020. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-proposal-regulation-european-climate-law-march-2020_en.pdf

164. Ratnavathi C., Kumar S., Kumar B., Krishna D., Patil J. Effect of Time of Planting on Cane Yield and Quality Characters in Sweet Sorghum. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2012. Vol. 2, Issue 1. P. 1-9. doi: 10.4236/jsbs.2012.21001

165. Ravella S., Quinones T., Retter A., Heiermann M. et al. Extracellular polysaccharide (EPS) production by a novel strain of yeast-like fungus *Aureobasidium pullulans*. *Carbohydrate Polymers*. 2010. Vol. 82. Iss. 3. P. 728-732. DOI:10.1016/j.carbpol.2010.05.039

166. Reddy B.V., Ramesh S., Reddy P.S., Ramaiah B., Salimath M., Kachapur R. Sweet sorghum – a potential alternate raw material for bioethanol and bioenergy. *International Sorghum and Millets Newsletter*. 2005. Vol. 46. P. 79-86.

167. Revealing Bioenergy Potentials: Mapping Marginal Lands in Europe - The Seemla Approach / Galatsidas, S., Gounaris, N., Vlachaki, D., Dimitriadis, E., Kiourtsis, F., Keramitzis, D., Gerwin, W., Repmann, F., Rettenmaier, N., Reinhardt, G., Ivanina, V., Hanzhenko, O., Gnap, I., Bogatov, K., Barbera, F., Mattioli, D., Volkmann, C., Baumgarten, W. // *26th European Biomass Conference and Exhibition* / ISBN: 978-88-89407-18-9; Paper DOI: 10.5071/26thEUBCE2018-1AO.4.1; Session: 1AO.4.1; Pages: 31-37.

168. Ritchie H., Roser M. Emissions by sector. *Our World in Data*. 2021. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

169. Ronzon T., Piotrowski S., Tamosiunas S., Dammer L., et al. Developments of Economic Growth and Employment in Bioeconomy Sectors across the EU. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 11. № 4507. DOI: 10.3390/su12114507

170. Rooney W.L., Blumenthal J., Bean B, Mullet J.E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofrpr*. 2007. Vol. 1, Issue 2. P. 147-157. DOI: 10.1002/bbb.15

171. Rowan F. Sage and Russell K. Monson. *C4 Plant Biology*. 1st Edition -Academic Press – University of Toronto. Ontario. Canada. 1999. – 596 p.

172. Rueda-Ayala V., Ahrends H.E., Siebert S., Gaiser T., Hugging H., Ewert F. Impact of nutrient supply on the expression of genetic improvements of cereals and row crops - A case study using data from a long-term fertilization experiment in Germany. *European Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 96. P. 34-46. doi: 10.1016/j.eja.2018.03.002

173. Russell E.W. Soil conditions and plant growth. *London: Longmans*. 1961. C. 240-255.

174. Saborio Viquez C. Assessment of biogas production of certain varieties of Pennisetum purpureum, Zea mays and Sorghum saccharatum. *Agrolife Scientific Journal*. 2015. Vol. 4, Issue 2. P. 98-105.

175. Sanchez-Sastre L.F., Martin-Ramos P., Navas-Gracia L.M., Hernandez-Navarro S., Martin-Gil J. Impact of Climatic Variables on Carbon Content in Sugar Beet Root. *Agronomy-Basel*. 2018. Vol. 8. Iss. 8. Article 147. doi: 10.3390/agronomy8080147

176. Santos T., Dutra E., do Prado A., Leite F., et al. Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas production in dry areas. *Biomass & Bioenergy*. 2016. Vol. 85. P. 215-222. DOI:10.1016/j.biombioe.2015.12.005

177. Saric B., Nenadic N. Effect of crop density and of harvesting date on the yield and quality of sugar-beet. *Arhiv za Poljoprivredne Nauke*. 1983. Vol. 44. Iss. 153. P. 79-96.

178. Sarris D., Matsakas L., Aggelis G., Koutinas A.A., Papanikolaou S. Aerated vs non-aerated conversions of molasses and olive mill wastewaters blends into bioethanol by *Saccharomyces cerevisiae* under non-aseptic conditions. *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 56. P. 83-93. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.02.040

179. Satari B., Karimi K., Kumar R. Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review. *Sustainable Energy & Fuels*. 2019. Vol. 3. Iss. 1. P. 11-62. DOI: 10.1039/c8se00287h

180. Scherer P., Lehmann K., Schmidt O., Demirel B. Application of a Fuzzy Logic Control System for Continuous Anaerobic Digestion of Low Buffered, Acidic Energy Crops as Mono-Substrate. *Biotechnology and Bioengineering*. 2009. Vol. 102. Iss. 3. P. 736-748. DOI:10.1002/bit.22108

181. Schneeberger W., Bar F.J. Influence of timeliness costs on the optimal length of the sugar-beet harvesting period from the viewpoint of cooperating farmers. *Bodenkultur*. 1997. Vol. 48. Iss. 2. P. 137-143.

182. Scown M.W., Brady M.V., Nicholas K.A. Billions in Misspent EU Agricultural Subsidies Could Support the Sustainable Development Goals.

One Earth. 2020. Vol. 3. Iss. 2. P. 237-250. DOI: 10.1016/j.oneear.2020.07.011

183. Seppala M., Paavola T., Lehtomaki A., Pakarinen O., Rintala J. Biogas from energy crops-optimal pre-treatments and storage, co-digestion and energy balance in boreal conditions. *Water Science and Technology*. 2008. Vol. 58. Iss. 9. P. 1857-1863. DOI:10.2166/wst.2008.503

184. Share of energy from renewable sources. *Eurostat*. Last update: 19-04-2022.

http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_ren&lang=en

185. Sharma L.K., Bali S.K., Zaeen A.A. A Case Study of Potential Reasons of Increased Soil Phosphorus Levels in the Northeast United States. *Agronomy-Basel*. 2017. Vol. 7. Iss. 4. Article 85. doi: 10.3390/agronomy7040085

186. Sharpley A.N. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. *Soil Science*. 1990. Vol. 49. P. 44-51.

187. Sjoblom M., Matsakas L., Christakopoulos P., Rova U. Production of butyric acid by *Clostridium tyrobutyricum* (ATCC25755) using sweet sorghum stalks and beet molasses. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 74. P. 535-544. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.05.041

188. Skovsgaard L., Jacobsen H. Economies of scale in biogas production and the significance of flexible regulation. *Energy Policy*. 2017. Vol. 101. P. 77-89. DOI:10.1016/j.enpol.2016.11.021

189. Smol M., Marcinek P., Duda J., Szoldrowska D. Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and the European Green Deal Strategy. *Resources-Basel*. 2020. Vol. 9. Iss. 5. № 55. DOI: 10.3390/resources9050055

190. Solarin. S.A. An environmental impact assessment of fossil fuel subsidies in emerging and developing economies. *Environmental Impact Assessment Review*. 2020. Vol. 85. № 106443. doi:10.1016/j.eiar.2020.106443

191. Solati Z., Manevski K., Jorgensen U., Labouriau R., Shahbazi S., Laerke P.E. Crude protein yield and theoretical extractable true protein of potential biorefinery feedstocks. *Industrial Crops and Products*. 2018. Vol. 115. P. 214-226. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.010

192. Soltani A., Almodares A. Evaluation of the investments in sugar beet and sweet sorghum production. National Convention of Sugar Production from Agriculture Products. 13-16 March 1994. Shahid Chamran University. Ahwaz, Iran.

193. Stamenkovic O.S., Siliveru K., Veljkovic V.B., Bankovic-Ilic I.B., Tasic M.B., Ciampitti I.A., Dalovic I.G., Mitrovic P.M., Sikora V.S., Prasad, P.V.V. Production of biofuels from sorghum. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 124. Article #109769. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109769.

194. Stanacev S., Stefanovic D., Subotic B. Effect of growing area and harvesting date on yield of sugar-beet and refined sugar of some sugar-beet varieties. *Arhiv Za Poljoprivredne Nauke*. 1977. Vol. 30. Iss. 112. P.35-52.

195. Stickler F., Wearden S., Pauli A. Leaf area determination in grain Sorghum. *Agron. J.* 1961. No53. P. 187-188.

196. Stoms D.M., Davis F.W., Jenner M.W., Nogeire T.M., Kaffka S.R. Modeling wildlife and other trade-offs with biofuel crop production. *Global Change Biology Bioenergy*. 2012. Vol. 4. Iss. 3. P. 330-341. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01130.x

197. Strapasson A., Falcao J., Rossberg T., Buss G., Woods J., Peterson S. Land Use Change and the European Biofuels Policy: The expansion of oilseed feedstocks on lands with high carbon stocks. *Ocl-Oilseeds And Fats Crops And Lipids*. 2019. Vol. 26. doi: 10.1051/ocl/2019034

198. Suhartini S., Heaven S., Banks. C. Comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sugar beet pulp: Performance, dewaterability and foam control. *Bioresource Technology*. 2013. Vol. 152. P. 202-211. DOI:10.1016/j.biortech.2013.11.010

199. Teetor V.H., Duclos D.V., Wittenberg E.T., et al. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Industrial Crops and Products*. 2011. Vol. 34, Issue 2. P 1293-1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010

200. Teixeira T. P. M., Pimentel L. D., Dias L. A. D. et al. Redefinition of sweet sorghum harvest time: New approach for sampling and decision-making in field. *Ind. Crops Prod.* 2017. Vol. 109. P. 579-586. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.09.002

201. Teske S., Pregarer T. Achieving the Paris Climate Agreement Goals Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-energy GHG Pathways for +1.5 degrees C and +2 degrees C Introduction. *Achieving The Paris Climate Agreement Goals: Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-Energy Ghg Pathways for +1.5(Degree)C and +2(Degree)C*. P. 1-4. DOI: 10.1007/978-3-030-05843-2_1

202. Theuretzbacher F., Bauer A., Lizasoain J., Becker M., Rosenau T., Potthast A., Friedl A., Piringer G., Gronauer A. Potential of different Sorghum bicolor (L. moench) varieties for combined ethanol and biogas

production in the Pannonian climate of Austria. *Energy*. 2013. Vol. 55. P. 107-113. DOI: 10.1016/j.energy.2013.04.020.

203. Thivierge M.N., Chantigny M.H., Belanger G., et al. Response to Nitrogen of Sweet Pearl Millet and Sweet Sorghum Grown for Ethanol in Eastern Canada. *Bioenergy research*. 2015. Vol. 8, Issue 2, P. 807-820. doi: 10.1007/s12155-014-9558-x

204. Tomaszewska J., Bielinski D., Binczarski M., Berlowska J., et al. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*. 2018. Vol. 8. Iss. 6. P. 3161-3177. DOI:10.1039/c7ra12782k

205. Torma S., Vilcek J., Losak T., Kuzel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues - an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*. 2018. Vol. 68. Iss. 4. P. 358-366. doi: 10.1080/09064710.2017.1406134

206. Tsakalidis A., Gkoumas K., Pekar F. Digital Transformation Supporting Transport Decarbonisation: Technological Developments in EU-Funded Research and Innovation. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 9. N3762. DOI: 10.3390/su12093762

207. Tsakalidis A., van Balen M., Gkoumas K., Pekar F. Catalyzing Sustainable Transport Innovation through Policy Support and Monitoring: The Case of TRIMIS and the European Green Deal. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 8. N3171. DOI: 10.3390/su12083171

208. Van Dyk J., Gama R., Morrison D., Swart S., Pletschke B. Food processing waste: Problems, current management and prospects for utilisation of the lignocellulose component through enzyme synergistic degradation. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 26. P. 521-531. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.016

209. Vlachos C. E., Pavli O. I., Flemetakis E., Skaracis G. N. Exploiting pre- and post-harvest metabolism in sweet sorghum genotypes to promote sustainable bioenergy production. *Ind. Crops Prod*. 2020. Vol. 155. 112758. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112758

210. Vucurovic V.M., Razmovski R.N., View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate). Sugar beet pulp as support for *Saccharomyces cerevisiae* immobilization in bioethanol production. *Industrial Crops and Products*. 2012. Vol. 39. P. 128-134. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.02.002

211. Wang M.X., Chen Y.H., Xia X.F., et al. Energy efficiency and environmental performance of bioethanol production from sweet sorghum

stem based on life cycle analysis. *Bioresource Technology*. 2014. Vol. 163, P. 74-81. doi: 10.1016/j.biortech.2014.04.014

212. Wannasek L., Ortner M., Amon B., Amon T. Sorghum, a sustainable feedstock for biogas production? Impact of climate, variety and harvesting time on maturity and biomass yield. *Biomass & Bioenergy*. 2017. Vol. 106. P. 137-145. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.08.031.

213. Webster T.M., Grey T.L., Scully B.T., Johnson W.C., Davis R.F., Breneman T.B. Yield Potential Of Spring-Harvested Sugar Beet (*Beta Vulgaris*) Depends On Autumn Planting Time. *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 83. P. 55-60. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.037

214. Weiss L.W. Process modeling using Sugars (TM) - Cane factory. *International Sugar Journal*. 2015. Vol. 117. Iss. 1398. P. 402-407.

215. Whitfield M.B., Chinn M.S., Veal M.W. Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. *Industrial Crops and Products*. 2012. Vol. 37. Iss. 1. P. 362-375. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.12.011

216. Williams L., Martinson T.E. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia Horticulturae*. 2003. Vol. 98. P. 493-498.

217. Wu L., Arakane M., Ike M., Wada M., Takai T., Gau M., Tokuyasu K. Low temperature alkali pretreatment for improving enzymatic digestibility of sweet sorghum bagasse for ethanol production. *Bioresource Technology*. 2011. Vol. 102, Issue 7. P. 4793-4799. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.01.023.

218. Yi H.T., Feiock R.C., Berry F.S. Overcoming collective action barriers to energy sustainability: A longitudinal study of climate protection accord adoption by local governments. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 79. P. 339-346. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.071

219. Yin X.G., Kersebaum K.C., Beaudoin N., Constantin J., Chen F., Louarn G., Manevski K., Hoffmann M., Kollas C., Armas-Herrera C.M. Uncertainties in simulating N uptake, net N mineralization, soil mineral N and N leaching in European crop rotations using process-based models. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 255. Article 107863. doi: 10.1016/j.fcr.2020.107863

220. Zabed H., Sahu J.N., Suelly A., Boyce A.N., Faruq G. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 71. P. 475-501. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.076.

221. Zhuang X.S., Wang W., Yu Q., Qi W., Wang Q., Tan X.S., Zhou G.X., Yuan Z.H. Liquid hot water pretreatment of lignocellulosic biomass for bioethanol production accompanying with high valuable products. *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 199. P. 68-75. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.08.051.

222. Ziemiński K., Kowalska-Wentel M. Effect of enzymatic pretreatment on anaerobic co-digestion of sugar beet pulp silage and vinasse. *Bioresource Technology*. 2014. Vol. 180. P. 8274-280. DOI:10.1016/j.biortech.2014.12.035

223. Ziemiński K., Romanowska I., Kowalska M. Enzymatic pretreatment of lignocellulosic wastes to improve biogas production. *Waste Management*. 2012. Vol. 32. Iss. 6. P. 1131-1137. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.01.016

224. Агафонов М.Н. Влияние системы предпосевной обработки почвы и удобрений на урожай сорго в условиях Одесской области: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. с-х наук. – Одесса. 1974. – 20 с.

225. Агрохімічний аналіз / [М. М. Городній, А. П. Лісовал, А. В. Бикін та ін.]; за ред. М. М. Городнього. – [2-ге вид.]. К. *Арістей*. 2005. 476 с.

226. Алабушев А.В. Уникальные возможности сорго. *Земледелие*. 2000. №3. С. 19.

227. Аналітичний огляд оновленого національно визначеного внеску України до паризької угоди. 2021. 57 с. <https://cutt.ly/qQiyIIA>

228. Архипенко Ф.М., Слюсар С.М. Сорго – перспективи вирощування. *Агроном*. 2006. № 4. С. 82-83.

229. Балахонцев Е.Н. Регуляция роста корнеплода и сахаронакопления у сахарной свеклы режимом минерального питания. *Современные проблемы физиологии и биохимии сахарной свеклы. К.: Наукова думка*. 1981, с.146-150.

230. Балашев Н.Н., Белов А.И. Кукуруза и сорго. *Ташкент. Госиздат УзССР*. 1955. 52 с.

231. Барановський О.В., Трофименко М.М., Вечеров В.І. та ін. Вплив азотних добрив на продуктивність зернового сорго в умовах Луганської області. *Наковий вісник Луганського національного аграрного університету*. 2012. Вип. 36. С. 9-16.

232. Безуглова О.С. Новый справочник по удобрениям и стимуляторам роста. *Ростов н /Д: Феникс*. 2003. 384 с.

233. Белецкий А.С. Удобрения и урожайность сорго. *Химия сельского хозяйства*. 1989. №11. С.60-61.

234. Берсон Г.З., Назарова М.Л. Определение размера ассимиляционного аппарата томата расчетным способом. *Фундаментальные исследования*. 2008. №8. С. 60-61.

235. Большаков А.З. Сорго – базовая культура в кормопроизводстве для всех видов сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы в условиях развития сельских территорий Курской области. *Памятка сорговода*. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат». 2008. 80 с.

236. Большаков А.З., Бондаренко С.М., Кадыров С.В. и др. Время чествовать сорго. *Ростов н/Д: ЗАО «Рос-издат»*. 2008. 60 с.

237. Бондаренко В.П. Влияние минеральных удобрений и густоты стояния растений на продуктивность сахарного сорго. *Бюл. ВНИИ кукурузы*. – Днепропетровск. 1982. Вып 1 (60). С. 59-61.

238. Бондаренко В.П. Продуктивность сахарного сорго на каштановых почвах от влагообеспеченности посевов, густоты растений и минеральных удобрений : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук : 06.01.09 «Растениеводство». К., 1981. 22 с.

239. Бузанов И.Ф., Самойлова Т.М., Ильенко И.И. Влияние доз и соотношений элементов минерального питания на активность ферментов синтеза и гидролиза сахарозы в сахарной свекле. *Сб. науч. тр. по физиологии, анатомии, биохимии и технологии сахарной свеклы*. Киев: ВНИС, 1971. с. 226-241.

240. Валуев Н.В., Федькин С.И., Самохвалов А.И. Выделение сока из листостебельной массы сахарного сорго. *Проблемы и задачи селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР*. *Зерноград*. 1990. С. 87-90.

241. Вербняк А.А., Ганженко О.М., Смірних В.М. Сорго цукрове – перспективна біоенергетична культура в умовах недостатнього зволоження східного лісостепу України. *Цукрові буряки*. 2016. №4. С.9-10.

242. Вирощування біоенергетичних культур: монографія // М.Я. Гументик, Б.М. Радейко, Я.Д. Фучило, В.М. Сінченко, О.М. Ганженко та ін. – К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. – 178 с. (ISBN 978-966-929-779-2) (Розділ 4. Технологія вирощування цукрового сорго. С. 83-102)

243. Володько А.И., Новак А.Г., Цыганков С.П. Изучение возможности использования сахарного сорго в качестве источника сырья для производства биоэтанола. *Відновлювана енергетика*. 2013. № 2. С. 85-91.

244. Галицька М.А., Кулик М.І., Колеснікова Л.А. Інтенсивність асиміляції карбону при вирощуванні енергетичних культур в умовах

Лісостепу України. *Одеський державний екологічний університет – збірник матеріалів*. 2020. С. 124.

245. Ганженко О.М. Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в центральній частині Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2021. № 1. С. 23-31. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-23-31

246. Ганженко О.М., Герасименко Л.А., Іванова О.Г. Вплив елементів технології вирощування цукрового сорго на енергетичну продуктивність. *Цукрові буряки*. 2015. №4. С. 17-19.

247. Ганженко О.М., Гументик М.Я. Теплотворні властивості твердого біопалива *Біоенергетика*. 2016. №1. С. 14-16.

248. Ганженко О.М., Зиков П.Ю., Саганов М.І. Пропозиції щодо удосконалення просапних культиваторів // *Збірник наукових праць ІЦБ*. – Випуск 10. – К.: ІЦБ. – 2008. – С. 376-379.

249. Ганженко О.М., Курило В.Л., Гамандій В.Л., Хіврич О.Б., Зиков П.Ю., Квак В.М., Шевченко І.Л., Шклярук С.М., Дмитрієв В.В., Герасименко Л.А. Методичні рекомендації з визначання площі листової поверхні цукрового сорго. (*Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол №16, від 19.08.2013*). Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 2014. 32 с. (ISBN 978-617-7121-38-0)

250. Ганженко О.М., Курило В.Л., Герасименко Л.А., Зиков П.Ю., Хіврич О.Б., Гончарук Г.С., Смірних В.М., Дубовий Ю.П., Іванова О.Г. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива. (*Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол 22, від 14.12.2015*). К.: ЦП «Компринт». 2017. 24 с. (ISBN 978-966-929-421-0)

251. Ганженко О.М., Правдива Л.А., Фучило Я.Д., Хіврич О.Б., Зиков П.Ю., Гументик М.Я., Гончарук Г.С., Смірних В.М., Дубовий Ю.П., Атаманюк О.М., Іванова О.Г., Гамандій В.Л., Яланський О.В. Методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. (*Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол № 17, від 17.11.2020*). К.: ЦП КОМПРИНТ. 2020. 20 с. (ISBN 978-617-8007-00-3)

252. Ганженко О.М., Хіврич О.Б., Атаманюк О.М., Гументик М.Я., Фучило Я.Д., Квак В.М., Правдива Л.А., Сенчук С.М., Кононюк Н.О., Зиков П.Ю., Дмитрієв В.В. Методичні рекомендації з технології вирощування та перероблення буряків цукрових як сировини для

виробництва біогазу. (Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол № 17, від 17.11.2020). К.: ЦП Компринт. 2021. 16 с.

253. Ганженко А.Н. Влияние сортовых особенностей на количество и качество сока из сахарного сорго. *Сахарная свекла*. 2019. №1. С. 41-44.

254. Ганженко О., Хіврич О., Герасименко Л. Цукрове сорго - на біопаливо. *Пропозиція нова : український журнал з питань агробізнесу: інформаційний щомісячник*. 2015. №5. С.66-71.

255. Ганженко О.М. №1 для біопалива / О.М. Ганженко, Л.А. Герасименко // *The Ukrainian Farmer* – 2017. – №6. – С. 136-138.

256. Ганженко О.М. Визначення площі листової поверхні сільськогосподарських культур методом сканування (Розділ в кн. *Методики проведення досліджень у буряківництві*). К. *ІБКіЦБ*. 2014. С.80-83.

257. Ганженко О.М. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового у Центральному Лісостепу України // *Новітні агротехнології*. 2019. №7. DOI: <https://doi.org/10.21498/na.7.2019.204794>

258. Ганженко О.М. Вплив сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового на продуктивність та вихід біопалива у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України. *Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Новітні агротехнології» 03.06.2021 р. Київ*, С. 18.

259. Ганженко О.М. Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в центральному лісостепу України. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку*. Біла Церква. 2021. С. 174-176.

260. Ганженко О.М. Методика визначання площі листової поверхні цукрового сорго. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2014. №22. С.17-22.

261. Ганженко О.М. Планування експериментів у сільськогосподарських дослідженнях. *Збірник наукових праць ІЦБ*. 2007. Випуск 9. С. 56-60.

262. Ганженко О.М. Прогнозування фракційного складу коренеплідів цукрових буряків. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2012. №14. С.266-270.

263. Ганженко О.М. Продуктивність рослин сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* L.) залежно від елементів технології вирощування на біопаливо в зоні недостатнього зволоження Лісостепу

України. *Plant Varieties Studying and protection*. 2021. Т. 17. № 3. С. 240-247. doi: 10.21498/2518-1017.17.3.2021.242978

264. Ганженко О.М. Продуктивність сорго цукрового залежно від елементів технології його вирощування у зоні недостатнього зволоження Східного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 64-76. http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/28_64-76_0.pdf

265. Ганженко О.М. Цукрове сорго. *The ukrainian Farmer*. 2012. №10. С.42-44.

266. Ганженко О.М., Герасименко Л.А., Дубовий Ю.П. Вплив фону мінерального живлення на енергетичну продуктивність цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2014. №4. С. 14-17.

267. Ганженко О.М., Герасименко Л.А., Іванова О.Г., Копчук К.М. Енергетична продуктивність цукрового сорго залежно від елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*: зб. наук. праць. 2016. Вип. 24. С. 11–18.

268. Ганженко О.М., Григоренко Н.О. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго. *Цукор України*. 2011. №4. С. 27-32.

269. Ганженко О.М., Григоренко Н.О., Хіврич О.Б. Вплив сортових особливостей та мінерального живлення на урожайність і вуглеводний склад цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2011. №5. С.14-15.

270. Ганженко О.М., Зиков П.Ю. Вплив способів отримання соку зі стебел цукрового сорго на його вихід та якість. *Цукрові буряки*. 2014. №5. С. 14-16.

271. Ганженко О.М., Крижко В.М., Зиков П.Ю., Саганов М.І. Удосконалення засобів механізації збирання маточних цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2009. №1. С.15-17.

272. Ганженко О.М., Фучило Я.Д., Квав В.М. Економічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур. *Біоенергетика/Bioenergy*. 2019. №1 (13). С. 4-7.

273. Ганженко О.М., Хіврич О.Б., Дубовий Ю.П., Сенчук С.М., Сасенко П.І., Зиков П.Ю. Строки збирання буряків цукрових – як важливий фактор в технології їх вирощування для виробництва біоетанолу. *Біоенергетика/Bioenergy*. 2019. №2 (14). С. 13-15

274. Герасименко Л.А. Вплив густоти стояння рослин на ріст, розвиток та врожайність сорго цукрового. *Агробіологія. Біла Церква*. 2011. Вип. 6 (86). С. 48-50.

275. Гизбуллин Н.Г. Методика определения площади листьев вегетирующих растений семенников свеклы. *Материалы международной науч.-практич. конференции «Современные проблемы опытного дела»*. С.-Петербург: АФИ. 2000. Том 1. С. 66-68.

276. Гиренко А.П. Влияние удобрений на урожай суданской травы и могара. *Животноводство*. 1954. № 4. С. 57 – 59.

277. Гиренко А.П. К вопросу об эффективности локального удобрения в посевах озимого ячменя. *Почвоведение*. 1978. №2. С. 10-13.

278. Головнъов С. Сировинна економіка. Що купувала і продавала Україна в 2021 році. БізнесЦензор: <https://biz.censor.net/r3310713>

279. Голуб И.А. Продуктивность сорго сахарного в зависимости от густоты растений, ширины междурядий и норм минеральных удобрений. *Корма и кормопроизводство*. 1990. Вып. 30 С.11–13.

280. Голубева Г.С. Достижения в технологии возделывания сорго. – М.: Колос. 1983. 41 с.

281. Горбенко Ю.М., Книш О.С., Ганженко О.М., Сичук Л.В., Пузняк О.М., Мисковець К.В., Поліщук М.О. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. (Розглянуто Вченою Радою Волинської ДСГДС, протокол №11 від 17.10.2018). Рокині. 2018. 18 с.

282. Грабовский Н. Б. Производительность сорго сахарного и выход биогаза в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода. *Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Сэрыя прыродазнаўчых навук*. 2017. Вып. 2. С. 20-28.

283. Грабовский М.Б. Рост и развитие сорго сахарного и кукурузы в совместных посевах. *Электронный периодический рецензируемый научный журнал «SCI-ARTICLE. RU»*. 2018. С. 83.

284. Грабовський М.Б. Обґрунтування строків сівби кукурудзи в сумісних посівах з сорго цукровим. *Білоцерківський національний аграрний університет. Агробіологія*. 2018. Том. 1 (138). С. 67-76

285. Грабовський М. Вплив метеорологічних умов на продуктивність сорго цукрового. *Аграрна наука та освіта в умовах Євроінтеграції*. 2018. С. 83-85.

286. Грабовський М.Б. Регулювання рівня забур'яненості посівів сорго цукрового агротехнічними і хімічними методами. *Карантин і захист рослин*. 2018. №3 (247). С. 33-37.

287. Грабовський М.Б. Формування продуктивності сорго цукрового як біоенергетичної культури залежно від рівня мінерального живлення. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 99. С. 30-39.

288. Грабовський М.Б. Экономическая и биоэнергетическая эффективность выращивания сорго сахарного и кукурузы как биоэнергетических культур при разных уровнях минерального питания. *Зернові культури*. 2018. Том. 2. Вип. 2. С. 294-300.

289. Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Козак Л.А. Формування продуктивності сорго цукрового під впливом строків сівби. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. Том. 7. Вип. 7. С. 500-505.

290. Гринюк І.П. Соргові культури як сировина для виробництва біопалива залежно від удобрення та строку збирання в Правобережному Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.01.09 «Рослинництво» Київ. 2013. 21 с.

291. Демиденко Б.Г. Сорго. М.: Сельхозиздат. 1957. 158 с.

292. Денисов В.А., Урожайность фитомассы растений сахарного сорго на типичном черноземе. *Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы Всерос. науч. – практ. конф., г.Курск, 27–28 января 2009, ч. 4. – Курск: Изд-во КГСХА*. 2009. С.126-131.

293. Державна служба статистики України. Енергетичний баланс України за 2020. Експрес-випуск від 30.11.2021 р.

294. Державний Реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік. *Міністерство агрополітики і продовольства України*.

295. Директива 2009/28/ЕС Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

296. Дідора В.Г., Смаглій О.Ф., Ермантраут Е.Р. та ін. Методика наукових досліджень в агрономії: навч. посіб. К.: «Центр учбової літератури». 2013. 264 с

297. Дмитришак М.Я., Каленська С.М., Шевчук О.Я. та ін. Рослинництво. К.: НАУ. 2005. 512 с.

298. Доронин В.А., Велик Я.В., Марченко С.И. Стимулирование семян сахарной свеклы как метод улучшения их биологических и физических свойств. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2015. Выпуск 51. С. 361-366.

299. Доронін В.А., Белік Я.В., Черіднічок О. І. Вплив стимулювання насіння буряків цукрових на їхню біологію та інтенсивність проростання. *Вісник аграрної науки*. 2014. Випуск 11. С. 28-32.

300. Драненко І., Шепель М. і ін. «Верблюди степу» – сорго. «Маяк» Одеса. 1966. 70 с.

301. Дрейкотт А.П. Удобрение сахарной свеклы. М.: Колос. 1977, 279 с.

302. Дремлюк Г.К., Гамандій В.Л., Гамандій І.В. Основні елементи технології вирощування сорго. *Посібник українського хлібороба*. 2013. Т.1. С. 274-277.

303. ДСТУ 7062:2009 Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання. *Введений 01.01.2010*. 12 с.

304. Дьомін Д.Г., Кулик М.І. Перспективні малопоширені енергетичні культури для отримання біологічної сировини та рекультивації ґрунтів. *Організація діяльності в агропромисловому комплексі та актуальні питання ветеринарії: матеріали I міжнародної спеціалізованої наукової конференції, м.Хмельницький, 5 березня, 2021 р. Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця: Європейська наукова платформа, 2021. С.7-9.*

305. Дьомін Д.Г., Щербак Є.Ю., Кулик М.І. Потенціал біомаси малопоширених енергетичних культур. *Вісник аграрної науки*. 2021. №2. С. 15-20.

306. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». *Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

307. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. *Київ : ПоліграфКонсалтинг*. 2007. 55 с.

308. Ермохин Ю.И., Бобренко И.А. Оптимизация минерального питания сорговых культур: [Монография]. *Омск: Ом ГАУ*. 2000. 118 с.

309. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13 квітня 2017 року № 2019-VIII

310. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році. *Постанова КМУ №975 від 16.06.2021 р.* <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0975874-21#Text>

311. Зиков П.Ю., Хіврич О.Б., Ганженко О.М., Правдива Л.А. Як і чим краще збирати цукрові буряки. *Пропозиція*. №10. 2019. С. 142-145.

312. Зозуля О. Сорго завойовує світ. *Аграрна справа*. 2008. №5 С. 11.

313. Зуев Н.М. Исследование качества работы свеклоуборочных комбайнов в зависимости от агрофизических свойств сахарной свеклы при различных способах формирования насаждения растений. *Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.410 / Харьковский ин.-т мех. и электриф. с.х. – Харьков*. 1971. 33 с.

314. Іваніна В.В., Павук І.А. Альтернативные системы удобрения сахарной свеклы в севообороте. *Сахарная свекла*. 2018. № 1. С. 26-30.

315. Исаков Я.И. Сорго. М., Россельхозиздат. 1975. 184 с.

316. Іваніна В. В., Шаповаленко Р. М., Дубовий Ю. П. Регулятори росту у підвищенні продуктивності буряків цукрових. *Новітні агротехнології*. 2019. №7. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/204810>

317. Іваніна В.В., Олексій Л.М. Ефективність мікродобрив «Реаком» на посівах буряків цукрових. *Наукові доповіді НУБіП України*. № 4 (61). С.1-10. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/issue/view/294>

318. Іваніна В.В., Олексій Л.М. Ефективність мікродобрив «Реаком» у підвищенні продуктивності цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2016. № 3. (111). С. 10-12.

319. Іваніна В.В., Павук І.А., Мазур Г.М. Продуктивність буряків цукрових за традиційних та альтернативних систем удобрення. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 6 (70). С. 1-10. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/rt/prINTERfriendly/9760/0>

320. Іваніна В.В., Сипко А.О., Сінчук Г.А. та ін. Вплив азотних добрив на біоенергетичну продуктивність цукрового сорго. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2013. Вип. 19. С. 51-54.

321. Іваніна В.В., Сипко А.О., Стрілець О.П. та ін. Біоенергетична продуктивність цукрового сорго за застосування мікродобрив. *Біоенергетика*. 2016. № 1. (7). С. 23-25.

322. Іваніна В.В., Стрілець О.П., Зацерковна Н.С. Цукрові буряки – високі і стабільні врожаї. *Пропозиція*. 2016. № 5. С. 52-55.

323. Іваніна В.В., Сипко А.О., Сінчук Г.А. [та ін.] Біоенергетична продуктивність цукрового сорго залежно від умов азотного живлення. *Біоенергетика*. 2014. № 2. С. 25-27.

324. Іваніна В.В., Сипко А.О., Сінчук Г.А. та ін. Вплив азотних добрив на біоенергетичну продуктивність цукрового сорго. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 51-54.

325. Каленська С.М., Гринюк І.П. Вплив доз мінеральних добрив та сортових особливостей на вихід цукру та біоетанолу із сорго цукрового в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2012. Вип.15. С. 202-206.

326. Каленська С.М., Данилів П.О. Збагачення рослинного біорізноманіття – шлях до подолання викликів людству. *Цілі сталого*

розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя. 2018. С. 231-234.

327. Кандул С. Вимоги сталості до біопалива в ЄС: наслідки для виробників сировини в Україні. *Серія Консультативних робіт AgPP No 29. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій.* 2010. 34 с. Режим доступу: [http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/Agriculture_dialog ue/2010/PP29.Final.UKR.pdf](http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/Agriculture_dialog_ue/2010/PP29.Final.UKR.pdf)

328. Каражбей Г.М., Тегун С.В. Продуктивність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) залежно від рівня мінерального живлення та густоти стояння. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків.* 2012. № 14. С. 67-70.

329. Каталог сортів (гібридів) цукрових буряків Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків на Виставково-інноваційному полігоні НААН у 2020 році. *ІБКіЦБ НААН.* К. 2020. 14 с.

330. Каталог сортів та гібридів селекційно-генетичного інституту - національного центру насіннєзнавства та сортовивчення. *Розробник – СГІ НЦНС. Одеса.* 2021. 185 с.

331. Квак В.М., Ганженко О.М., Зиков П.Ю., Ганженко О.М. Визначання площі листової поверхні в різних видів міскантусу розрахунковим методом. *Новітні агротехнології.* 2017. №5. doi: 10.21498/па.5.2017.122228 (*Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі - 60 %*).

332. Климович П.В. Ефективність доз і строків застосування добрив під сорго зернове на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України. *Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата с-г наук: спец 06.01.04 / Національний науковий центр „Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського”.* 2007. 23 с.

333. Климович П.В. Ріст і розвиток сорго зернового залежно від мінерального живлення [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.udau.edu.ua/library.php.pid>.

334. Конлов Н.Ф. Математические методы определения площади листьев растений. *Доклады ВАСХИИЛ.* 1970. № 9. С. 5-11.

335. Костыря И., Самойленко А., Шевченко Т. Весна и лето на сорговом поле. *Зерно.* 2012. № 4. С. 77-79.

336. Красенков С.В. Наукове обґрунтування оптимізації вирощування сорго в умовах недостатнього і нестійкого зволоження пн. Степу України. *Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с-г наук: спец 06.01.09. УААН Інститут зернового господарства.* 1999. 35 с.

337. Кулик М.І., Галицька М.А. Екологічні складові за вирощування енергетичних культур. *Хімія, екологія та освіта: Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції*. 2020. С. 175-178.

338. Куперман Ф.М. Биология развития культурных растений. М.: Высшая школа. 1982. 314 с.

339. Курило В.Л., Ганженко А.Н., Герасименко Л.А. Продуктивность сахарного сорго как сырья для производства биотоплива. *Сахарная свёкла*. 2013. № 4. С. 38-41.

340. Курило В.Л., Ганженко О.М., Хіврич О.Б., Мазуренко А.М., Гументик М.Я., Зиков П.Ю., Макаренко А.С., Дмитрієв В.В., Квас В.М., Гончарук Г.С., Смірних В.М., Горобець А.М., Дубовий Ю.П., Власенко С.І., Іванова О.Г., Кононюк Н.О. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. (Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол №35, від 30.12.2013). Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 2014. 32 с. (ISBN 978-617-7121-41-0)

341. Курило В.Л., Рахметов Д.Б., Кулик М.І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Випуск 1. С. 11-17.

342. Курило В.Л., Ганженко О.М., Герасименко Л.А. Продуктивность сахарного сорго для производства биотоплива. *Сахарная свекла*. 2013. №4. С.38-41.

343. Курило В.Л., Ганженко О.М., Дубовий Ю.П., Макаренко А.С. Енергетична ефективність цукрових буряків залежно від густоти стояння рослин. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2013. №19. С.68-73.

344. Курило В.Л., Ганженко О.М., Зиков П.Ю., Герасименко Л.А., Копак О.М. Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння цукрового сорго. (Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол №18 від 26.11.2012). Київ. 2012. 15 с.

345. Курило В.Л., Ганженко О.М., Мазуренко А.М., Хіврич О.Б., Зиков П.Ю., Макаренко А.С. Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння енергетичних цукрових буряків (Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол №18 від 26.11.2012). Київ. 2012. 15 с.

346. Курило В.Л., Ганженко О.М., Хіврич О.Б. Вирощування цукрових буряків на біопаливо. *Пропозиція нова : український журнал з питань агробізнесу: інформаційний щомісячник*. 2014. №5. С. 50-54

347. Курило В.Л., Ганженко О.М., Хіврич О.Б. Вирощування цукрових буряків на біопаливо / В. Курило, О. Ганженко, О. Хіврич // *Пропозиція нова: український журнал з питань агробізнесу: інформаційний щомісячник*. 2014. №6. С. 70-73

348. Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко А.Н., Макаренко А.С. Использование свеклосырья для производства билэтанола в Украине *Сахарная свекла*. 2011. №10. С. 6-8.

349. Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко О.М. Перспективи розвитку фітоенергетики в Україні. *VI Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні»*. Зб. наук. праць. Львів. 2011. С. 87-89.

350. Лебедь Е.М., Андрусенко І.І., Пабат І.А. Сівозміни при інтенсивному землеробстві. *К.: Урожай*. 1992. 222 с.

351. Левандовський Л.В., Олійнічук С.Т., Ткаченко Л.В., Ткаченко А.Ф. Використання соку цукрового сорго для біосинтезу спирту. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 7. С. 63-65.

352. Литвинов М.В. Обоснование параметров и режима работы вальцевых рабочих органов при отжиге сока из стеблей сахарного сорго. *Автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»*. *Зерноград*. 2008. 20 с.

353. Лунгу В. Рекомендации по оптимизации питательных режимов почв при возделывание сахарного сорго, предназначенного для производства возобновляемых энергоресурсов. *Chisinau: Pontos*. 2009. 33 с.

354. Макаров Л.Х. Соргові культури: Монографія. *Херсон: Айлант*. 2006. 264 с.

355. Макаров Л.Х., Скорий М.В. Соріз (технологія, селекція, насінництво, переробка): Монографія. *Херсон: Айлант*. 2009. 224 с.

356. Максимук Ю. В., Антонова З.А., Крук В. С. и др. Высшая теплота сгорания компонентов биомассы. *Свиридовские чтения : сб. ст. Минск : Красико-принт*. 2020. Вып. 16. С. 98-111.

357. Макух Я.П., Іващенко О.О., Шам І.В., Ременюк С.О. Контролювання забур'яненості посівів сорго цукрового. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 18. С. 93-95.

358. Маткевич В.Т. Действие азотных удобрений на урожай и качество кукурузы и сорго и последствие на яровой ячмень. *Агрохимия*. 1984. №2. С. 8-14.

359. Медведовський О.К., Іваненко Н.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. – К.: Урожай. 1988. 208 с.

360. Международные рекомендации по энергетической статистике (МРЭС). *Статистические документы. Серия М № 93. Нью-Йорк, ООН*, 2019. 186 с. Режим доступу: <https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/documents/IRES-ru.pdf>

361. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. За ред. С. О. Ткачик. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : Нілан-ЛТД. 2015. 160 с.

362. Методики проведення досліджень у буряківництві / [М.В. Роїк, Н.Г. Гізбуллін, В.М. Сінченко, О.І. Присяжнюк та інш.]. Київ. ФОП Корзун Д. Ю. 2014. 373 с.

363. Минеральное питание и продуктивность растений : [сб. науч. трудов под ред. А.Д. Хоменко]. Киев: Наукова думка. 1978. 302 с.

364. Митков А.Л., Кардашевский С.В. Статистические методы в сельхозмашиностроении. М.: Машиностроение. 1978. 360 с.

365. Мусиенко Н.Н., Тернавский А.И. Корневое питание растений: учеб. Питание. К.: Выща школа. 1989. 203 с.

366. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин. Київ: Либідь, 2005. 808 с.

367. Науково-методичні рекомендації «Каталог сортів та гібридів ДУ Інститут зернових культур НААН України». Відповідальний за випуск: І. О. Кулик. Дніпро, ДУ ІЗК НААН. 2020. 132 с.

368. Науково-методичні рекомендації «Каталог сортів та гібридів». За редакцією Соколова В. М. Одеса, СГП – НЦНС. 2020. 89 с.

369. Науково-теоретичні засади та практичні аспекти формування еколого- безпечних технологій вирощування та переробки сорго в степовій зоні України : монографія / [М. І. Федорчук, С. В. Коковіхін, С. М. Каленська, Д.Б. Рахметов та ін.]. Херсон. 2017. 208 с. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/2582>

370. Національної економічної стратегії до 2030 року. Постанова КМУ №179 від 03 березня 2021 р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text>

371. Никитиш В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. М.: Наука. 1984. 212 с.

372. Николенко В.В., Котов С.Ф. Методика определения площади листовой поверхности сортов декоративной земляники. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2010. Вып. 2. С. 99-105.

373. Ничипорович А.А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах. М.: *ВАСХНИЛ*. 1969. 93 с.

374. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения урожая сахарной свеклы. М.: *Изд. АН СССР*. 1956, 324 с.

375. Новицька Н.В., Каленська С.М., Присяжнюк О.І., Мельниченко В.В. Активация росту та розвитку буряків цукрових на мікростадіях 00-09 за внесення добрив з нанорозмірними елементами. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Том 15. Випуск 4. С. 403-409.

376. Носко Б.С., Дуда Г.Г., Бука А.Я. и др. О путях повышения эффективности применения минеральных удобрений. *Сб. науч. трудов*. Киев. 1977. С. 58-67.

377. Олексенко Ю. Ф. Прогрессивная технология возделывания сорго. К.: *Урожай*. 1986. 80 с.

378. Олексенко Ю.Ф., Красненков С.В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность сахарного сорго. *Химия в сел. хоз-ве*. 1987. №10. С. 26-28.

379. Олексенко Ю.Ф., Красненков С.В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность сахарного сорго. *Степное земледелие*. 1989. Вып.23. С. 40-45.

380. Олексенко Ю.Ф., Красненков С.В. Минеральные удобрения и качество зеленой массы сорго. *Кукуруза и сорго*. 1990. №3. С. 24-25.

381. Олексенко Ю.Ф., Красненков С.В. Сроки и способы внесения удобрений. *Кукуруза и сорго*. 1988. №1. С. 27-28.

382. Оптимальні енергетичні системи з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України : колективна монографія / За заг. ред. М.І. Кулика, О. В. Калініченка. Полтава: ПП "Астра". 2019. 128 с.

383. Павук І.А. Рециркуляція та баланс елементів живлення за альтернативних систем удобрення буряків цукрових. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 3. С. 79-84.

384. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М., Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин. *Підручник* 2012. 724 с.

385. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М., Єрмакова Л.М. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: *Навчальний посібник*. 2011. 370 с.

386. Патент 2145410 Российская Федерация, МПК G01B5/26. Способ определения площади листьев растений / Потапов В.А., Бобрович Л.В., Полянский Н.А., Андреева Н.В.; заявитель и патентообладатель Мичуринская ГСХА. – № 98103702/28; заявл. 02.03.98; опубл. 10.02.2000.

387. Патент на корисну модель 102469 Україна, МПК A01C 7/00. Спосіб вирощування цукрового сорго / Курило В.Л., Копак О.М., Григоренко Н.О., Ганженко О.М., Вихор В.С. (Україна) – №u2015 05570; Заявлено 05.06.2015; Опубл. 26.10.2016, Бюл. № 20.

388. Патент на корисну модель 102470 Україна, МПК A01B 79/02. Спосіб догляду за посівами цукрового сорго / Курило В.Л., Марчук О.О., Ганженко О.М., Гументик М.Я., Хіврич О.Б. (Україна) – №u2015 05571; Заявлено 05.06.2015; Опубл. 26.10.2016, Бюл. № 20.

389. Патент на корисну модель 28356 Україна, МПК A01C 21/00. Спосіб підживлення цукрових буряків. / Курило В.Л., Мазуренко А.М., Ганженко О.М., Слободяник В.К., Осадчук В.Д., Курило А.В. (Україна) – №u200707261; Заявлено 27.06.2007; Опубл. 10.12.2007, Бюл. №20

390. Патент на корисну модель 77038 Україна, МПК A01D 45/10. Пристрій для збирання стебел сільськогосподарських культур. / Ганженко О.М., Зиков П.Ю., Роїк М.В., Курило В.Л. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – №u201208631; Заявлено 12.07.2012; Опубл. 25.01.2013, Бюл. №2.

391. Патент на корисну модель 79472 Україна, МПК A01C 5/00. Спосіб вирощування цукрового сорго / Герасименко Л.А., Курило В.Л., Ганженко О.М., Григоренко Н.О., Марчук О.О. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – №u201211793; Заявлено 12.10.2012; Опубл. 25.04.2013, Бюл. №8.

392. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. М.: *Россельхозиздат*. 1971. С. 19-51.

393. Петухов М.П., Дудина Н.Х., Панова Е.А. Агрохимия и система удобрения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: *Агропромиздат*. 1985. 351 с.

394. Пигорев И.Я., Денисов В.А. Сорго – перспективная кормовая культура в условиях Курской области. *Актуальные проблемы повышения эффективности агропромышленного комплекса:*

материалы Международ. науч. – практ. конф., г Курск, 23-25 января 2008 г., ч. 4. – Курск: Изд-во КГСХА. 2008. С.306-309.

395. Погребняк П.Л., Ильченко В.А., Кузьменко М.В. Научно обоснованная система ведения сельского хозяйства в Степи УССР. К.: Урожай. 1974. 504 с.

396. Поліщук М.І. Каленська С.М., Єрмакова Л.М., Паламарчук В.Д., Поліщук І.С. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Підручник. 2015. 448 с.

397. Потапов В.А., Бобрович Л.В., Полянский Н.А., Андреева Н.В. Периметр и площадь листа. Сборник докладов Международной научно-методической конференции. Мичуринск. 1998. С. 28-31.

398. Правдива Л.А., Ганженко О.М. Ефективність вирощування сорго цукрового як сировини для використання в харчовій та енергетичній промисловості. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту». Біла Церква. 2019. С. 3-5.

399. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. Розпорядження КМУ №902-р від 01.10.2014 р. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/page>.

400. Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів. Постанова КМУ № 453 від 10.09.2014 р. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF>.

401. Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання. Постанова КМУ № 293 від 09.07.2014 р. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF>.

402. Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР. Тезис докладов Всесоюзного совещания / под ред. П.А. Мангуш и др. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ. 1990. 205 с.

403. Пронько В.В. Удобрения под. сорго. Кукуруза и сорго. 1992. №2. С. 12-13.

404. Пронько В.В., Коюда С.П., Ромазанов И.П. Отзывчивость зернового сорго на минеральные удобрения. Химия в сел. хоз-ве. 1988. №12. С. 54-55.

405. Пшеничний Н.І. Сорго – посухостійка і високоврожайна кормова культура. Київ. 1956. 32 с.

406. Ратнер Е.И Питание растений и применение удобрений. М.: Наука. 1965. 224 с.

407. Ременюк С.О., Макух Я.П. Рациональне керування продукуванням цукрових буряків. *Пропозиція*. 2019. №4. С. 82-87.

408. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик М. І. (2021). Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. (2), С. 114-123. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14>

409. Рожков А.О., Пузік В.К., Каленська С.М. та інші. Дослідна справа в агрономії. *Навчальний посібник: у 2 кн*. Харків: Майдан, 2016. 316 с.

410. Роїк М.В. Буряки. К.: ХХІ вік – РІА “Труд-Київ”. 2001. 320 с.

411. Роїк М.В., Ганженко О.М., Хіврич О.Б., Сінченко В.М., Гументик М.Я., Зиков П.Ю., Гончарук Г.С., Дубовий Ю.П., Кононюк Н.О., Дмитрієв В.В. Методичні рекомендації з технології вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біоетанолу. (Розглянуто Вченою Радою ІБКіЦБ НААН, протокол № 13, від 27.11.2018). К.: ТОВ «ЦП «Компринт». 2018. 41 с. (ISBN 978-966-929-859-1)

412. Роїк М.В., Сінченко В.М., Бондар В.С., Фурса А.В. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року. *Біоенергетика*. 2019. Випуск 2. С. 4-9.

413. Роїк М., Курило В., Гументик М., Ганженко О. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур. [Електронний ресурс] *Збірник наукових праць вісник Львівського національного аграрного університету*. 2011. №15(2)

414. Роїк М., Курило В., Гументик М., Ганженко О. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Теоретичні і практичні аспекти розвитку агропромислового виробництва та сільських територій*. Матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів. 2011. С. 163-165.

415. Роїк М.В., Ганженко О.М. Агроекологічні аспекти сталого розвитку біоенергетики. *Біоенергетика/Bioenergy*. №1 (15). 2020. С. 4-7.

416. Роїк М.В., Ганженко О.М. Агропромислові енергетичні плантації. *Агропрофі*. 2015. №42. С. 12-14.

417. Роїк М.В., Ганженко О.М. Біоенергетичні культури – за ними майбутнє. *Агробізнес сьогодні*. 2021. №5. С. 50.

418. Роїк М.В., Ганженко О.М. Екологічні аспекти розвитку біоенергетики. *Агробізнес сьогодні*. 2021. №5. С. 62-64.

419. Роїк М.В., Ганженко О.М., Бобровний Є.В. Енергетично незалежні села Німеччини - приклад для України. *Біоенергетика*. 2016. №2 (8). С. 21-22.

420. Роїк М.В., Ганженко О.М., Кононюк Н.О. Динаміка накопичення енергетично корисних речовин вітчизняними гібридами цукрових буряків. *Біоенергетика*. 2017. №2. С. 5-8.

421. Роїк М.В., Ганженко О.М., Тимошук В.Л. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні. *Біоенергетика*. 2014. №2. С. 6-8.

422. Роїк М.В., Ганженко О.М., Тимошук В.Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні. *Біоенергетика*. 2015. №1. С. 5-8.

423. Роїк М.В., Зуєв М.М., Курило В.Л., Гументик М.Я. Агрофізичні властивості цукрових буряків і показники якості роботи бурякозбиральних машин. *Збірник наукових праць ІЦБ*. 2003. Вип. 6. 64 с.

424. Роїк М.В., Курило В.Л., Ганженко О.М., Гументик М.Я. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2011. №12. С. 14-24.

425. Роїк М.В., Курило В.Л., Ганженко О.М., Гументик М.Я. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2012. №13. С. 115-125.

426. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко О.М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. *Біоенергетика*. 2013. №1. С. 5-10.

427. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко О.М. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Цукрові буряки*. 2011. №1. С. 6-7.

428. Рубин Б.А. Физиология сельскохозяйственных растений. М.: Изд-во Московского Университета. 1967, Том VII, 426 с.

429. Рудник-Іващенко О.І., Сторожик Л.І. Стан і перспективи соргових культур в Україні. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2011. Вип. 10. С. 198-206.

430. Саблук В.Т., Грищенко О.М. Заселеність посівів буряків цукрових шкідливою ентомофауною та прогноз її шкідливості у новому сезоні. *Біоенергетика*. 2019. Випуск 1. С. 11-15.

431. Саблук В.Т., Грищенко О.М. Фітосанітарний стан агроценозів буряків цукрових та заходи контролювання їхньої чисельності. *Біоенергетика*. 2020. Випуск 1. С. 30-34.

432. Саблук В.Т., Доронин В.А., Грищенко О.Н. Эффективность защиты всходов сахарной свеклы от вредителей. *Агроном*. 2017. Том 2. С. 158-160.

433. Саблук В.Т., Доронін В.А., Грищенко О.М., Педос В.П. Захист сходів цукрових буряків від шкідників за обробки насіння інсектицидами. *Цукрові буряки*. 2015. Випуск 3. С. 6-8.

434. Саблук В.Т., Сінченко В.М., Грищенко О.М., Запольська Н.М. Рекомендації з технології захисту сільськогосподарських та біоенергетичних культур від шкідників та хвороб. *ІБКіЦБ НААН*. 2019. 28 с.

435. Саблук В.Т., Сінченко В.М., Грищенко О.М., Смірних В.М. Науково-методичні рекомендації щодо контролювання шкідників у посівах і посадках біоенергетичних культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах. *ІБКіЦБ НААН*. 2021. 35 с.

436. Самойленко А., Шевченко Т. Технологія вирощування сорго. *Agroexpert*. 2009. № 5. С. 14-16.

437. Сичук Л.В. Виробництво біопалива: вплив мінеральних добрив та ширини міжрядь на продуктивність цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2012. №4. С.15-16.

438. Сінченко В.М., Пиркін В.І., Широкоступ О.В. Біологічні особливості розвитку буряків цукрових в Україні. *Цукрові буряки*. 2018. Випуск 3. С. 4-7.

439. Сінченко В.М., Ягольник О.О. Європейський досвід сталого виробництва біосировини на малопродуктивних землях - в Україні. *Біоенергетика*. 2019. Випуск 1. С. 19-22.

440. Сінченко В.М., Пиркін В.І., Макух Я.П., та інші. Агротехнічні способи захисту цукрових буряків від бур 'янів при біоадаптивній технології. *Цукрові буряки*. 2014. №5. С. 9-11.

441. Современные методы химического анализа почв и растений: Методические рекомендации / под. ред. Крутова З.Н., сост. В.Ф.Зубенко, В.П. Ковальчук, Л.Я. Бергулева и др. К.: ВНИС. 1984. 258 с.

442. Сорго – ценная кормовая культура. *Сборник статей*. / Под. ред. В.А. Цветкова. Гос. изд. с-х. лит-ры. Москва, 1959. 208 с.

443. Сторожик Л. І. Перспективи вирощування сорго цукрового, як альтернативного джерела енергії. *Цукрові буряки*. 2011. № 2. С. 20-21.

444. Сторожик Л. І. Формування продуктивності сорго цукрового в умовах Східного Лісостепу України. *Наукові праці ІБКіЦБ*. 2018. Вип. 26. С. 91-103. doi: 10.47414/np.26.2018.211210

445. Тараненко В.И. Сорго как кормовая культура. *Харьков*. 1969. 183 с.
446. Таршилов С.П., Метлин В.В., Федькин С.И. Линия для получения сока из сорго. *Кукуруза и сорго*. 1990. №5. С. 39.
447. Технология создания сортов, возделывания и использования сорго. Сб. науч. трудов / под ред. П.А. Мангуш и др. *Зерноград: ВНИИПТИМЭСХ*. 1990. 145 с.
448. Топлива. Высшая теплотворная способность - таблица. (Удельная теплота сгорания) Режим доступа: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/ComnustionEnergy/FuelsHigherCaloricValues/>
449. Третьак В.М., Больбут В.С., Ганженко О.М., Мазуренко А.М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2013. №19. С. 163-167.
450. Третьак В.М., Больбут В.С., Ганженко О.М., Мазуренко А.М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин. *Збірник наукових праць ННЦ «ІМЕСГ»*. 2014. №99, Том 2. С. 68-75.
451. Тютюнников А.И. Однолетние кормовые травы. *М.: Россельхозиздат*. 1973. 198 с.
452. Федорович Г.Т. Урожайність і якість сориту залежно від ланки сівозміни, строку сіви та системи живлення в умовах Півдня України. *Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата с-г наук: спец 06.01.09 «Рослинництво»*. Х. 2010. 20 с.
453. Федоровська О.В., Кулик М.І. Сортимент сорго цукрового для кормового та біопаливного напряму використання. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»*: Зб. наук. праць. Переяслав, 2020. Вип. 64. С. 433-434.
454. Федорчук М.І., Каленська С.М., Рахметов Д.Б., Коковіхін С.В. Методичні рекомендації з інноваційних технологій вирощування та переробки сорго для використання в якості альтернативних джерел енергії. *Херсонський державний аграрний університет*. 2017. 22 с.
455. Федорчук М.І., Коковіхін С.В., Каленська С.М., Рахметов Д.Б. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах півдня України. *Херсонський державний аграрний університет*. 2017. 128 с.

456. Федоряко Н.И. Морфобиологические особенности и математическая интерпретация параметров листьев сортов земляники в условиях ЦЧР. *Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.01.05. «Селекция и семеноводство»*. Мичуринск. 2004. 22 с.
457. Фулга И.Г. Изучение фотосинтетической поверхности растений. *Кишинев: Картя Молдовеняскэ*. 1961. 179 с.
458. Хамраев Т.Р. Влияние удобрений на урожай и качество сорго на засоленных почвах Бухарской области. *Химия в сел. хоз-ве*. 1966. №1. С. 10-12.
459. Хелемский М.З., Кряквина С.П. Еще раз о сахарном сорго. *Сахарная промышленность*. 1987. № 9. С.53-55.
460. Хіврич О.Б., Ганженко О.М., Гончарук Г.С., Зиков П.Ю. Вплив строків збирання буряків цукрових на вихід біоетанолу на малопродуктивних землях західного лісостепу України. Х міжнародна науково-практична конференція «*Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні*». 36. наук. праць. Львів. 2019. – С. 142-145.
461. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Мазур Г.М. та ін. Вплив ланок коротко ротацийних сівозмін на забезпечення елементами живлення цукрових буряків. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2013. Вип. 18. С. 102-104.
462. Цукрові буряки (виращування, збирання, зберігання) / [Шпаар Д., Драгер Д., Каленська С., Захаренко А. та ін.]; за ред. Д. Шпаара. К. : *ННЦ ІАЕ*. 2005. 340 с.
463. Чубко О. Сорго унікальна культура. *Агросектор*. 2007. № 5(19). С. 23-24.
464. Шепель Н.А. Сорго – интенсивная культура: *Справ.изд.* – Симферополь: *Таврия*. 1989. 192 с.
465. Шепель Н.А. Соргові культури просяться на поля України. *Агроном*. 2004. № 2. С. 12-14.
466. Шепель Н.А. Сорго. *Волгоград: Комитет по печати*. 1994. 448 с.
467. Шиян П.Н., Бондаренко В.М. Использование сахарной свеклой азота удобрений и почвы. *Химия в сельском хозяйстве* 1985. 1, С. 20-24.
468. Шорин П.М. Сахарное сорго. *Москва «Колос»*. 1976. 80 с.
469. Шорин П.М. Технология возделывания и использования сахарного сорго. *М.: Россельхозиздат*. 1986. 87 с.

Наукове видання

ГАНЖЕНКО Олександр Миколайович
доктор сільськогосподарських наук

**АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР
ДЛЯ БІОПАЛИВА
(Монографія)**

Підписано до друку 26.12.2022.

Формат 60х84/16. Папір офсетний.

Друк цифровий.

Друк. арк. 20. Умов. друк. арк. 18,6.

Наклад 400 екз. Зам. № 6705/1.

Віддруковано з оригіналів замовника.

ТОВ «Нілан-ЛІТД»

Свідоцтво про державну реєстрацію фізичної особи-
підприємця серія В02 № 818191 від 31.07.2002 р.

Видавець ФОП Просяннікова А.В.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до

Державного реєстру видавців, виготовлювачів і
розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 4299
від 11.04.2012 р.

21027, м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 62а, прим. 143.

Тел.: (0432) 603-000, (096) 97-30-934, (093) 89-13-852.

e-mail: info@tvoru.com.ua

<http://www.tvoru.com.ua>