



В. В. Іваніна, А. С. Заришняк, О. П. Стрілець, Н. С. Зацерковна,
Г. М. Мазур, О. В. Шикирява, К. Я. Герасимчук, К. А. Савчук,
В. М. Смірних, Л. М. Левченко, Н. А. Мостьовна, О. М. Іванішен,
Т. В. Колібабчук

ОПТИМІЗАЦІЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ВИСОКОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО ЗЕРНОВОГО В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Науково-методичні рекомендації

КИЇВ
2025

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**В. В. Іваніна, А. С. Заришняк, О. П. Стрілець, Н. С. Зацерковна,
Г. М. Мазур, О. В. Шикирява, К. Я. Герасимчук, К. А. Савчук,
В. М. Смірних, Л. М. Левченко, Н. А. Мостьовна, О. М. Іванішен,
Т. В. Колібабчук**

**ОПТИМІЗАЦІЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ
ТА ФОРМУВАННЯ ВИСОКОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО ЗЕРНОВОГО
В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ**

Науково-методичні рекомендації

Київ 2025

УДК 633.63:631.82

<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-15-9>

*Рекомендовано до опублікування вченою радою
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
(протокол № 20 від 20 листопада 2025 р.)*

Рецензенти:

М. Я. Гументик, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник;

О. Б. Хіврич, кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник

(Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН)

Іваніна В. В., Заришняк А. С., Стрілець О. П., Зацерковна Н. С., Мазур Г. М., Шикирява О. В., Герасимчук К. Я., Савчук К. А., Смірних В. М., Левченко Л. М., Мостьовна Н. А., Іванішен О. М., Колібабчук Т. В. Оптимізація мінерального живлення та формування високої енергетичної продуктивності сорго зернового в умовах зміни клімату : науково-методичні рекомендації / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2025. 16 с.

ISBN 978-617-8706-15-9 (PDF)

Наведено результати досліджень щодо визначення оптимальних доз добрив для сорго зернового, які забезпечують формування високої біологічної та енергетичної продуктивності культури за вирощування в умовах недостатнього й достатнього зволоження Лісостепу України. Запропоновані рекомендації сприятимуть підвищенню ефективності виробництва сорго зернового, забезпеченню стабільно високих урожаїв в умовах кліматичних змін, а також економічній та енергетичній ефективності технологій його вирощування.

УДК 633.63:631.82

<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-15-9>



Цей твір поширюється на умовах ліцензії CC BY-NC-SA 4.0

(Creative Commons «Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International)

ISBN 978-617-8706-15-9 (PDF)

© Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН, 2025

© Колектив авторів, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Ботанічна характеристика сорго зернового	4
2. Вплив мінеральних добрив на ріст і розвиток та фотосинтетичний потенціал сорго зернового	5
3. Врожайність сорго зернового залежно від удобрення	8
4. Енергетична продуктивність сорго зернового залежно від удобрення	13
Висновки	16

Вступ

За даними ФАО (2005 рік), сорго зернове є п'ятою за обсягами виробництва зерна злаковою культурою у світі після пшениці, рису, кукурудзи та ячменю. За останні роки посівні площі під сорго зернове у світі зросли на 60%, виробництво зерна – на 244 %. До провідних виробників зерна сорго також належать Мексика (6,8 млн т), Індія (6,7 млн т), Аргентина (4,8 млн т), Судан (3,8 млн т). У деяких країнах, де кліматичні умови перешкоджають вирощуванню інших злаків (держави Африки, що межують із Сахарою, деякі провінції Індії та Китаю), сорго зернове є продуктом, що забезпечує до 30% харчового раціону.

Для формування високої врожайності зерна сорго зернового необхідний значний ресурс елементів живлення в доступній для рослин формі, який в умовах ґрунту можна створити за допомогою внесення мінеральних добрив.

Оптимізація умов мінерального живлення є запорукою отримання високої врожайності зерна сорго зернового. Вивчення цих питань і було основним завданням проведення досліджень.

1. Ботанічна характеристика сорго зернового

Сорго зернове належить до роду *Sorghum*, який об'єднує багато одно- і багаторічних видів. Із культурних видів на території країн СНД поширені: сорго звичайне (*S. vulgare Pers.*), гаолян (*S. chinense Sakushev*), джугара (*S. cernuum Host*) і суданська трава (*S. sudanense Pers.*). Зазначені види є однорічними культурами, їх вирощують для продовольчих, технічних і кормових цілей.

Серед злаків другої групи (C₄) сорго зернове – найбільш теплолюбна рослина. Насіння його проростає за температури ґрунту 10–12 °С, а сходи не витримують температури нижче 0 °С. Добре росте і розвивається при 30–35 °С, легко переносить спеку до 40 °С і є однією з найбільш посухостійких рослин з транспіраційним коефіцієнтом 150–200. Сорго відноситься до пізніх ярих культур і висівається за середньодобової температури ґрунту на глибині 10 см – 14–16 °С.

Сорго зернове було одомашнено в Ефіопії близько 3000 років тому. Звідти сорго зернове поширилось на Західну та Східну Африку, а потім на південь. Пізніше сорго було завезене до Китаю, країн Східної Азії, Середземномор'я та Південно-Західної Азії. До Америки сорго зернове потрапило завдяки работоргівлі. Насіння сорго зернового продавали фермерам як високопродуктивний новий сорт кукурудзи. У 30-х роках 20 ст., після визнання цінності сорго для виробництва зерна, кормів та силосу для тварин, площі вирощування цієї культури почали збільшуватися. Врожай-

ність помітно зросла в кінці 1950-х, після успішної гібридизації та виведення високопродуктивних сортів.

В Україні за даними ФАО посівні площі сорго зернового з 2012 до 2017 року збільшились на 48 % при цьому врожайність зерна зросла майже вдвічі. Причиною успіху стала поява нових сортів та перманентне покращення технології вирощування, включаючи систему удобрення цієї культури.

Основними регіонами вирощування сорго зернового в Україні є Степова та Лісостепова зони. У 2022 році посівна площа сорго зернового в господарствах усіх форм власності становила 43,1 тис. га, з найбільшою площею в Черкаській (6,8 тис. га), Миколаївській (6 тис. га), Кіровоградській (6 тис. га), Дніпропетровській (5,6 тис. га) та Херсонській (4,8 тис. га) областях.

У країнах СНД, у тому числі в Україні, сорго зернове вирощують переважно на кормові цілі – для отримання зерна та зеленої маси. Поживність 100 кг зерна оцінюється 119 корм. од., 100 кг силосу – 22 корм. од. Зелену масу, із-за вмісту отруйних ціаністих сполук, рекомендується згодовувати не у свіжому, а у прив'яленому вигляді.

Зерно сорго має високу кормову та харчову цінність з вмістом крохмалю – 70–75 %, білка – 12–14 %, жиру – 35 %. За умов посухи сорго зернове відчутно переважає за врожайністю культури ячмінь, кукурудзу на зерно і горох.

2. Вплив мінеральних добрив на ріст і розвиток та фотосинтетичний потенціал сорго зернового

Результати досліджень на Веселоподільській ДСС показали, що застосування добрив сприяло інтенсивному розвитку листкової поверхні у рослин сорго зернового та істотно підвищило їх фотосинтетичний потенціал. На контролі без добрив площа листкової поверхні у фазі 3–5 листків становила 21,5 тис. м²/га, середині вегетації – 39,8, на період збирання – 31,5 тис. м²/га; фотосинтетичний потенціал – відповідно 1,9; 3,5 та 2,8 млн м²/га × днів (табл. 1).

Внесення 5 т/га соломи + Р₆₀К₆₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культувацією істотно збільшило площу листкової поверхні і фотосинтетичний потенціал листків. У фазі 3–5 листків площа листкової поверхні становила 25,7 тис. м²/га, середині вегетації – 52,4, на період збирання – 37,7 тис. м²/га з перевагою до контролю без добрив – відповідно на 4,2; 12,6 та 6,2 тис. м²/га. При цьому застосування органо-мінеральної системи удобрення збільшило фотосинтетичний потенціал порівняно з контролем без добрив у фазі 3–5 листків – на 0,3, середині вегетації – на 1,1, на період збирання – на 0,6 млн м²/га × днів.

Проведення позакореневих підживлень кремнієм сприяло подальшому зростанню асиміляційної поверхні та фотосинтетичного потенціалу

сорго зернового. За дози кремнію 0,6 л/га по фоні соломи і мінеральних добрив площа листової поверхні у фазі 3–5 листків становила 27,2 тис. м²/га, середині вегетації – 56,9, на період збирання – 36,6 з перевагою до контролю без добрив – відповідно на 5,7; 17,1 та 5,1 тис. м²/га.

Таблиця 1

Площа листової поверхні та фотосинтетичний потенціал сорго зернового залежно від удобрення (ВДСС, 2022–2024 рр.)

Варіант	Фаза 3–5 листків		Середина вегетації		Збирання врожаю	
	I	II	I	II	I	II
Без добрив	21,5	1,9	39,8	3,5	31,5	2,8
5 т/га солома + P ₆₀ K ₆₀ + N ₉₀ – Фон	25,7	2,2	52,4	4,6	37,7	3,4
Фон + 0,6 л/га Si	27,2	2,4	56,9	5,1	36,6	3,3
Фон + 0,6 л/га Si + Zn, B	28,8	2,5	60,5	5,4	38,4	3,4
Фон + 1,0 л/га Si	28,6	2,5	62,3	5,5	39,0	3,5
Фон + 1,0 л/га Si + Zn, B	30,7	2,7	68,2	6,1	41,7	3,7
Фон + 1,4 л/га Si	31,6	2,7	70,5	6,2	42,6	3,8
Фон + 1,4 л/га Si + Zn, B	32,4	2,8	72,1	6,4	43,8	3,9
NIP _{0,05}	1,7	0,2	3,4	0,5	2,3	0,3

Примітка: 5 т/га солома + P₆₀K₆₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацією – Фон; 1 – площа листової поверхні, тис. м²/га; 2 – фотосинтетичний потенціал, млн м²/га × днів.

Збільшення дози кремнію у позакореневе підживлення до 1,0 л/га збільшило площу листової поверхні до контролю без добрив у фазі 3–5 листків – до 28,6, середині вегетації – до 62,3, на період збирання – до 39,0; за дози кремнію 1,4 л/га – відповідно до 31,6; 70,5 та 42,6 тис. м²/га.

Зі збільшенням площі листків істотно підвищився фотосинтетичний потенціал рослин сорго зернового. За дози кремнію 0,6 л/га фотосинтетичний потенціал рослин зріс до контролю без добрив у фазі 3–5 листків – на 0,5 млн м²/га × днів, середині вегетації – на 1,6, на період збирання – на 0,5; дози 1,0 л/га – відповідно на 0,6, 2,0 та 0,7; дози 1,4 л/га – на 0,8; 2,7 та 1,0 млн м²/га × днів.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало високу кореляційну залежність між площею листків сорго зернового в середині вегетації та врожайністю зерна з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,8627$, між фотосинтетичним потенціалом рослин сорго та врожайністю зерна з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,8608$ (рис. 1, 2).

Максимальних показників площі листової поверхні та фотосинтетичного потенціалу рослини сорго зернового досягли за внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ + 1,4 л/га Si + Zn, B: у фазі 3–5 листків площі листової поверхні становила 32,4 тис. м²/га, середині вегетації – 72,1, на період збирання – 43,8 з перевагою до контролю без добрив – відповідно на 10,9;

32,3 та 12,3 тис. м²/га. Фотосинтетичний потенціал рослин сорго зернового за внесення комплексу мікроелементів Si + Zn, В на фоні основного удобрення зріс до контролю без добрив у фазі 3–5 листків на 0,9; 2,9 та 1,1 за абсолютних показників 2,8; 6,4 та 3,9 млн м²/га × днів.

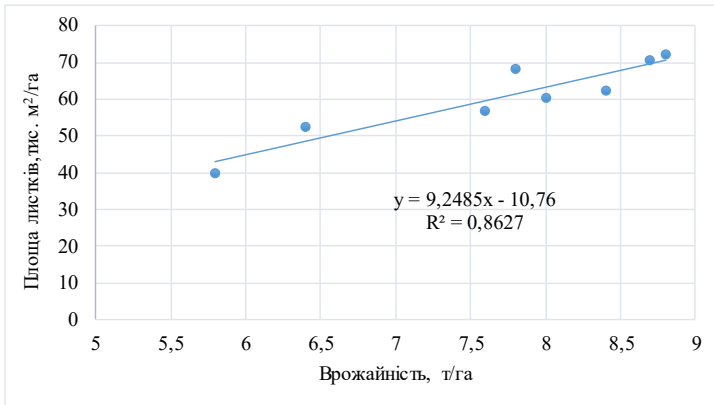


Рис. 1. Кореляційна залежність між площею листкової поверхні та врожайністю зерна сорго зернового (2022–2024 рр.)

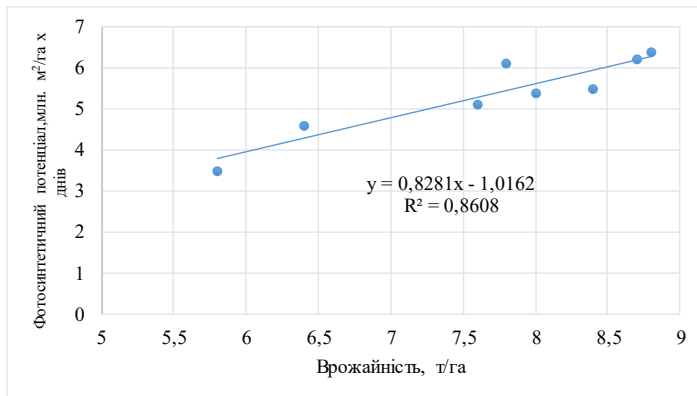


Рис. 2 Кореляційна залежність між фотосинтетичним потенціалом та врожайністю зерна сорго зернового (2022–2024 рр.)

Отже, застосування 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ + 1,4 л/га Si + Zn, В забезпечило найвищі темпи росту і розвитку біомаси, формування асиміляційної поверхні та фотосинтетичного потенціалу упродовж вегетації досягнувши на період збирання маси 10 рослин – 1,64 кг, площі листків – 43,8 тис. м²/га, фотосинтетичного потенціалу – 3,9 млн м²/га × днів з перевагою до контролю без добрив – відповідно на 0,57 кг, 12,3 тис. м²/га та 1,1 млн м²/га × днів.

3. Врожайність сорго зернового залежно від удобрення

В умовах достатнього зволоження (Уладово-Люлинецька ДСС) сорго зернове добре відгукувалось на внесення зростаючих доз азотних добрив і кремнію. За вирощування сорго зернового на контролі без добрив врожайність зерна становила 5,8 т/га, на фоні 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – 6,4 т/га. Органо-мінеральний фон удобрення (5 т/га соломи + P₆₀K₆₀) збільшив врожайність зерна порівняно з контролем без добрив на 0,6 т/га (табл. 2).

Таблиця 2

Врожайність зерна сорго зернового залежно від удобрення, т/га (УЛДСС)

Варіант	Роки					Середнє
	2021	2022	2023	2024	2025	
Без добрив (контроль)	5,2	5,7	6,8	5,9	5,6	5,8
5 т/га соломи + P ₆₀ K ₆₀ (оранка) – Фон	5,4	6,0	7,5	6,3	6,1	6,4
Фон + N ₆₀ перед. культивуація	6,8	7,4	8,4	7,5	7,3	7,6
Фон + N ₉₀ – « –	7,2	7,7	8,8	7,9	7,6	8,0
Фон + N ₁₂₀ – « –	7,6	8,0	9,2	8,3	8,0	8,4
Фон + N ₆₀ – « – + 1,0 л/га Si	7,0	7,6	8,5	7,7	7,6	7,8
Фон + N ₉₀ – « – + 1,0 л/га Si	8,1	8,2	9,4	8,6	8,5	8,7
Фон + N ₁₂₀ – « – + 1,0 л/га Si	8,0	8,5	9,6	8,7	8,7	8,8
HIP _{0,05}	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5

Примітка: кремній вносили позакоренево двічі у фазі 3–5 та 8–10 листків половинною дозою 0,5 л/га (Si).

На тлі внесення соломи, фосфорних та калійних добрив та застосування у передпосівну культивуацію азотних добрив істотно підвищило біологічну врожайність сорго зернового. За дози азотних добрив весною 60 кг/га врожайність зерна становила 7,6 т/га, дози 90 кг/га – 8,0 т/га, дози 120 т/га – 8,4 т/га зі зростанням до органо-мінерального фону удобрення – відповідно на 1,2; 1,6 та 2,0 т/га.

Ефективним у посівах сорго зернового визначено проведення двох позакореневих підживлень кремнієм виготовленим за нанотехнологією у фазі 3–5 та 8–10 листків. За внесення кремнію в дозі 1,0 л/га на фоні 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ + N₆₀ врожайність зерна становила 7,8 т/га, за збільшення дози азоту до 90 кг/га – 8,7 т/га, дози азоту 120 кг/га – 8,8 т/га. За проведення двох позакореневих підживлень кремнієм врожайність зерна сорго зернового зроста на 0,2–0,7 т/га.

Найвищу врожайність зерна отримали за внесення N₉₀ + Si, 1,0 л/га та N₁₂₀ + Si, 1,0 л/га на фоні 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – 8,7 та 8,8 т/га з перевагою до контролю без добрив – на 2,9–3,0 т/га.

По роках дослідження найменша врожайність сорго зернового була у 2021 році у контролі без добрив – 5,1 т/га, а найвища у 2023 році за внесення N₁₂₀ + Si, 1,0 л/га на тлі 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – 9,6 т/га.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало високу кореляційну залежність між дозою азотних добрив та врожайністю зерна сорго зернового з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 1$, а також за додаткового внесення у позакореневе підживлення кремнію з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 1$ (рис. 3).

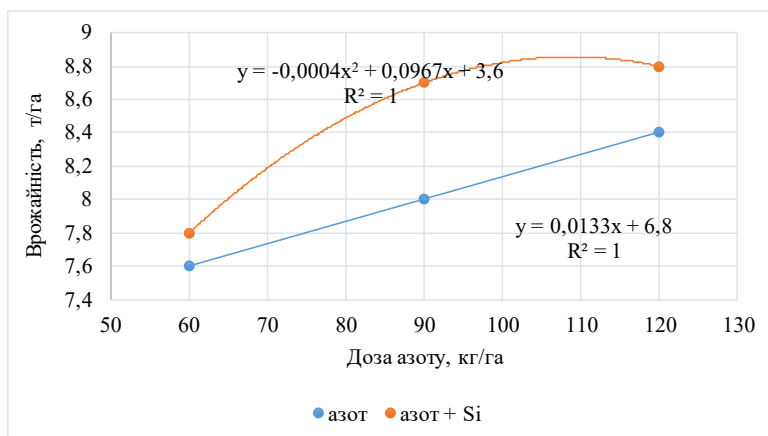


Рис. 3. Кореляційна залежність між дозами внесення азотних добрив та врожайністю зерна сорго зернового (УЛДСС, 2021–2025 рр.)

За вирощування сорго зернового на контролі без добрив врожайність стеблиння становила 31,4 т/га, на тлі внесення 5 т/га соломи + $P_{60}K_{60}$ – 34,9 т/га. Органо-мінеральний фон удобрення (5 т/га соломи + $P_{60}K_{60}$) збільшив врожайність стебел порівняно з контролем без добрив на 3,5 т/га (табл. 3).

Таблиця 3

Врожайність стеблиння сорго зернового залежно від удобрення, т/га (УЛДСС)

Варіант	Роки					Середнє
	2021	2022	2023	2024	2025	
Без добрив (контроль)	28,5	30,3	35,5	31,1	30,3	31,4
5 т/га соломи + $P_{60}K_{60}$ (оранка) – Фон	33,0	33,8	38,0	34,6	33,8	34,9
Фон + N_{60} перед. культивування	34,8	35,1	40,7	36,6	35,9	36,9
Фон + N_{90} – « –	37,7	37,0	41,9	38,7	38,2	38,9
Фон + N_{120} – « –	39,5	39,3	42,5	40,1	39,8	40,4
Фон + N_{60} – « – + 1,0 л/га Si	36,3	37,4	42,0	38,3	37,9	38,6
Фон + N_{90} – « – + 1,0 л/га Si	38,3	38,8	44,3	40,2	39,8	40,5
Фон + N_{120} – « – + 1,0 л/га Si	40,0	41,0	45,0	41,7	41,6	42,0
$HIP_{0,05}$	2,0	3,1	3,0	2,7	3,1	3,0

Примітка: кремній вносили позакореневу двічі у фазі 3–5 та 8–10 листків половинною дозою 0,5 л/га (Si).

На тлі внесення соломи, фосфорних та калійних добрив та застосування у передпосівну культивування азотних добрив істотно зростає врожайність стеблин сорго зернового. За дози азотних добрив весною 60 кг/га врожайність стеблової маси порівняно з фоном органічних і мінеральних добрив підвищилась – на 2,0 т/га, дози 90 кг/га – на 4,0 т/га, дози 120 т/га – на 5,5 т/га за абсолютних показників – відповідно 36,9; 38,9 та 40,4 т/га.

Ефективним в посівах сорго зернового визначено проведення двох позакорневих підживлень кремнієм виготовленим за нанотехнологією у фазі 3–5 та 8–10 листків. За внесення кремнію в дозі 1,0 л/га на фоні 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ + N₆₀ врожайність стеблин підвищилась порівняно з аналогічними варіантами без кремнію на 1,7 т/га, за дози 90 кг/га – на 1,6 т/га, дози 120 т/га – на 1,6 т/га. За проведення двох позакорневих підживлень кремнієм врожайність стебел сорго зернового зростає на 1,6–1,7 т/га. Найвищу врожайність стеблин отримали за внесення N₁₂₀ + Si, 1,0 л/га на тлі 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – 42,0 т/га з перевагою до контролю без добрив – на 10,6 т/га.

По роках дослідження найменша врожайність стеблин сорго зернового була у 2021 році у контролі без добрив – 28,5 т/га, а найвища у 2023 році за внесення N₁₂₀ + Si, 1,0 л/га на тлі 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – 45,0 т/га.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало високу кореляційну залежність між дозою азотних добрив та врожайністю стеблин сорго зернового з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9954$, а також за додаткового внесення у позакоренево кремнію з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9932$ (рис. 4).

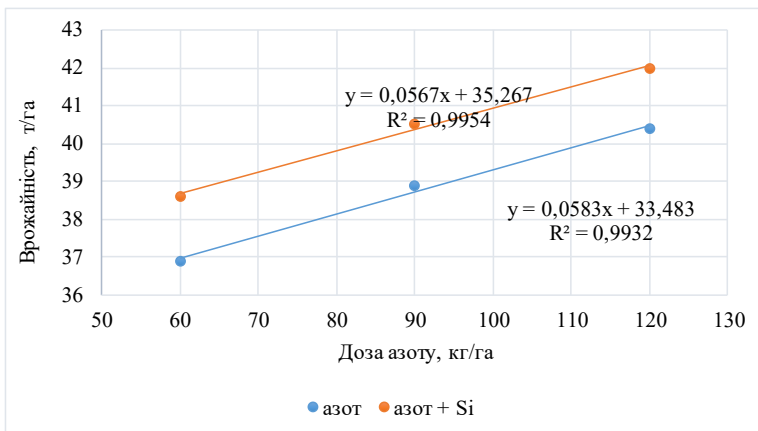


Рис. 4. Кореляційна залежність між дозами внесення азотних добрив та врожайністю стеблин сорго зернового (УЛДСС, 2021–2025 рр.)

Отже, в умовах достатнього зволоження найвищої продуктивності сорго зернового на чорноземі вилугуваному (УЛДСС) у середньому за 2021–2025 рр. досягали за внесення 5 т/га соломи + N₁₂₀P₆₀K₆₀ + 1,0 л/га Si: врожайність зерна – 9,6 т/га, врожайність стебел – 45 т/га, вміст білка – 12,1 % з перевагою до контролю без добрив – на 2,8 та 9,5 т/га та 1,6 %.

Вирощування сорго зернового за недостатнього зволоження на Весело-подільській ДСС (зона Лісостепу) показало, що позакореневе підживлення кремнієм виготовленим за нанотехнологіями є ефективним заходом підвищення його продуктивності. Застосування соломи, мінеральних добрив та мікродобрив у посівах сорго зернового істотно підвищило врожайність зерна. У контролі без добрив врожайність зерна була найменша – 5,75 т/га, за внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ збільшилась до 6,63 т/га або на 0,88 т/га (табл. 4).

Таблиця 4

Врожайність зерна сорго зернового залежно від удобрення, т/га (ВПДСС)

Варіант	Врожайність, т/га				Середнє, т/га
	2021	2022	2023	2024	
Без добрив (контроль)	4,8	6,4	5,5	6,3	5,75
5 т/га соломи + P ₆₀ K ₆₀ + N ₉₀ – Фон	5,6	8,0	6,0	6,9	6,63
Фон + 0,6 л/га Si	7,1	7,6	6,1	7,0	6,95
Фон + 0,6 л/га Si + Zn, B	7,8	7,8	6,4	7,1	7,28
Фон + 1,0 л/га Si	7,0	8,3	6,3	7,2	7,20
Фон + 1,0 л/га Si + Zn, B	7,2	8,5	6,3	7,3	7,33
Фон + 1,4 л/га Si	8,6	8,6	7,0	8,0	8,05
Фон + 1,4 л/га Si + Zn, B	8,5	8,8	7,3	8,4	8,25
НІР _{0,05}	0,4	0,5	0,4	0,5	0,45

Примітка: фосфорні і калійні добрива вносили під оранку, азотні – у передпосівну культивуацію; кремній вносили позакоренево – половину дози у фазі 3–5 листків, іншу половину у фазі 8–10 листків.

Позакореневе підживлення сорго зернового кремнієм виготовленим за нанотехнологіями забезпечило подальше зростання врожайності зерна. За дози кремнію 0,6 л/га на тлі внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ врожайність зерна становила 6,95 т/га, дози 1,0 л/га – 7,20 т/га, дози 1,4 л/га – 8,05 т/га зі зростанням до органо-мінерального фону – відповідно на 0,32; 0,57 та 1,42 т/га. Додаткове підживлення рослин сорго цинком і бором підвищило врожайність зерна до фону мінеральних добрив і кремнію на 0,13–0,33 т/га.

Найвищу врожайність зерна сорго зернового отримали за внесення кремнію 1,4 л/га, цинку і бору на тлі 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ – 8,25 т/га з перевищенням контролю без добрив на 2,5 т/га.

Встановлено високу кореляційну залежність між дозою кремнієвих мікродобрив та врожайністю зерна сорго зернового з коефіцієнтом детер-

мінації $r^2 = 0,9422$, а також за додаткового внесення у позакоренево цинку і бору з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9716$ (рис. 5).

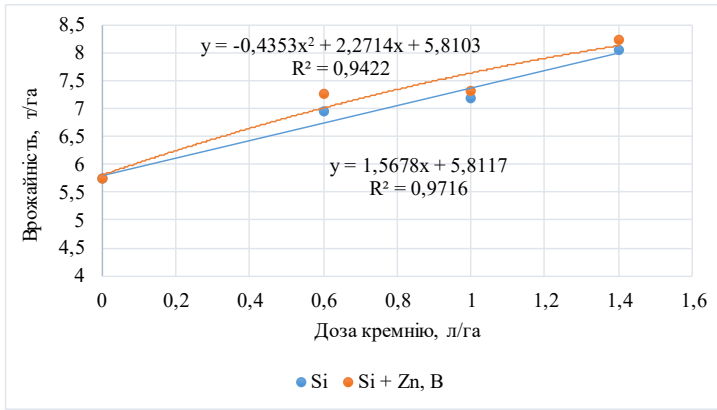


Рис. 5. Кореляційна залежність дозами кремнію та врожайністю зерна сорго зернового (ВПДСС, 2021–2024 рр.)

За дози кремнію 0,6 л/га на тлі внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ врожайність стеблиння підвищилась до органо-мінерального фону удобрення на 2,8 т/га, дози 1,0 л/га – на 5,6 т/га, дози 1,4 л/га – на 9,7 т/га за абсолютних показників – відповідно 43,2; 46,0 та 50,1 т/га (табл. 5).

Таблиця 5

Врожайність стеблиння сорго зернового залежно від удобрення, т/га (ВПДСС)

Варіант	Врожайність, т/га				Середнє, т/га
	2021	2022	2023	2024	
Без добрив (контроль)	26,6	35,1	29,5	32,4	30,9
5 т/га соломи + P ₆₀ K ₆₀ + N ₉₀ – Фон	38,9	43,8	41,6	37,4	40,4
Фон + 0,6 л/га Si	43,4	46,8	43,4	39,0	43,2
Фон + 0,6 л/га Si + Zn, B	45,0	48,9	46,4	41,8	45,5
Фон + 1,0 л/га Si	42,5	51,5	47,3	42,6	46,0
Фон + 1,0 л/га Si + Zn, B	45,8	49,6	49,5	44,5	47,4
Фон + 1,4 л/га Si	45,6	55,8	52,0	46,8	50,1
Фон + 1,4 л/га Si + Zn, B	48,1	56,1	53,3	47,9	51,4
HP _{0,05}	3,2	3,2	3,4	3,6	3,35

Примітка: фосфорні і калійні добрива вносили під оранку, азотні – у передпосівну культивуацію; кремній вносили позакоренево – половину дози у фазі 3–5 листків, іншу половину у фазі 8–10 листків.

Доповнення позакореневого підживлення кремнієм внесенням цинку і бору забезпечило подальше зростання врожайності стеблиння сорго зернового. У середньому за 2021–2024 рр. за внесення цинку і бору на тлі

доза кремнію 0,6 л/га врожайність стеблиння сорго зернового становила 45,5 т/га, дози 1,0 л/га – 47,4 т/га, дози 1,4 л/га – 51,4 т/га.

Найвищої врожайності стеблиння сорго зернового досягнуто за дози кремнію 1,4 л/га на тлі 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ – 50,1 т/га та за додаткового внесення цинку і бору – 51,4 т/га з перевищенням контролю без добрив на 19,2 та 20,5 т/га, відповідно.

По роках дослідження найменша врожайність стеблиння сорго зернового була у 2021 році у контролі без добрив – 26,6 т/га, а найвища у 2022 році за внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ + Si, 1,4 л/га + Zn, В – 56,1 т/га.

Отже, за вирощування сорго зернового в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому (ВПДСС) найвищої врожайності зерна і стеблиння досягали за внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ + 1,4 л/га Si + Zn, В: врожайність зерна – 8,25 т/га, врожайність стеблиння – 51,4 т/га.

4. Енергетична продуктивність сорго зернового залежно від удобрення

В умовах достатнього зволоження за вирощування сорго зернового без внесення добрив можна отримати 7,1 т/га твердого біопалива, що містить 114 ГДж/га енергії. За внесення 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – 34,9 т/га енергетична продуктивність сорго зернового значно підвищилась, що дозволило отримати із стеблиння цієї культури 6,97 т/га твердого біопалива з вмістом енергії 112 ГДж/га (табл. 6).

Таблиця 6

Вихід енергії із стебел сорго зернового залежно від удобрення, ГДж/га (УЛДСС, 2021–2025 рр.)

Варіант	Врожайність стебел, т/га	Вміст сухої речовини, %	Вихід	
			твердого палива, т/га	енергії, ГДж/га
Без добрив (контроль)	31,4	22,2	6,97	112
5 т/га соломи + P ₆₀ K ₆₀ (оранка) – Фон	34,9	22,4	7,82	125
Фон + N ₆₀ перед, культивування	36,9	23,1	8,52	136
Фон + N ₉₀ – « –	38,9	23,0	8,95	143
Фон + N ₁₂₀ – « –	40,4	23,2	9,37	150
Фон + N ₆₀ – « – + 1,0 л/га Si	38,6	23,1	8,92	143
Фон + N ₉₀ – « – + 1,0 л/га Si	40,5	23,3	9,44	151
Фон + N ₁₂₀ – « – + 1,0 л/га Si	42,0	23,5	9,87	158

Застосування у передпосівну культивування азотних добрив на тлі внесення 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ забезпечило значне подальше зростання виходу твердого палива та енергії. За дози азотних добрив весною 60 кг/га вихід твердого біопалива порівняно з фоном органічних і мінеральних

добрив підвищився – на 0,70 т/га, дози 90 кг/га – на 1,13 т/га, дози 120 т/га – на 1,55 т/га за абсолютних показників – відповідно 8,52; 8,95 та 9,37 т/га. Збільшення виходу біопалива супроводжувалось значним зростанням виходу енергії, абсолютний показник якої за дози азоту 60 кг/га становив 136 ГДж/га, 90 кг/га – 143 ГДж/га, дози 120 т/га – 150 ГДж/га. Азотні добрива збільшили вихід енергії до фону 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – відповідно на 11, 18 та 25 ГДж/га.

Підвищенню енергетичної продуктивності сорго зернового сприяло проведення позакореневих підживлень кремнієм виготовленим за нанотехнологією у фазі 3–5 та 8–10 листків. За внесення кремнію в дозі 1,0 л/га на фоні 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ + N₆₀ вихід твердого біопалива підвищився порівняно з аналогічними варіантами без кремнію на 0,4 т/га, за дози 90 кг/га – на 0,49 т/га, дози 120 т/га – на 0,50 т/га, що супроводжувалось зростанням виходу енергії – відповідно на 7, 8 та 8 ГДж/га.

Найвищий вихід твердого біопалива та енергії отримали за внесення N₁₂₀ + Si, 1,0 л/га на тлі 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ – відповідно 9,87 т/га та 158 ГДж/га з перевагою до контролю без добрив – на 2,9 т/га та 46 ГДж/га.

Отже, застосування під сорго зернове в умовах достатнього зволоження N₁₂₀ + Si, 1,0 л/га на тлі 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ забезпечило найвищі показники біологічної та енергетичної продуктивності.

В умовах гострого дефіциту енергоресурсів стебла сорго зернове можуть бути хорошим біоенергетичним матеріалом для використання у якості пилет. Результати досліджень показують, що за вирощування сорго зернового без внесення добрив в умовах нестійкого зволоження можна отримати 7,1 т/га твердого біопалива, що містить 114 ГДж/га енергії (табл. 7).

Таблиця 7

Вихід твердого біопалива та енергії з сорго зернового (ВПДСС, 2021–2024 р.)

Варіант	Врожайність стебел, т/га	Вміст сухої речовини, %	Вихід	
			твердого палива, т/га	енергії, ГДж/га
Без добрив (контроль)	30,9	23,0	7,1	114
5 т/га соломи + P ₆₀ K ₆₀ + N ₉₀ – Фон	40,4	23,0	9,3	149
Фон + 0,6 л/га Si	43,2	24,0	10,4	166
Фон + 0,6 л/га Si + Zn, В	45,5	24,3	11,1	177
Фон + 1,0 л/га Si	46,0	24,3	11,2	179
Фон + 1,0 л/га Si + Zn, В	47,4	24,5	11,6	186
Фон + 1,4 л/га Si	50,1	25,0	12,5	200
Фон + 1,4 л/га Si + Zn, В	51,4	25,5	13,1	210

Примітка: фосфорні і калійні добрива вносили під оранку, азотні – у передпосівну культивування; кремній вносили позакоренево – половину дози у фазі 3–5 листків, іншу половину у фазі 8–10 листків.

Біоенергетичну продуктивність сорго зернового можна істотно збільшити шляхом застосування добрив. За внесення 5 т/га соломи + P₆₀K₆₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію вихід твердого палива зріс порівняно з контролем без добрив на 2,2 т/га, вихід енергії – на 35 ГДж/га.

Проведення позакореневих підживлень кремнієм сприяло подальшому зростанню біологічної та енергетичної продуктивності сорго зернового. За дози кремнію 0,6 л/га по фоні соломи і мінеральних добрив вихід твердого палива зріс до контролю без добрив на 3,3 т/га, дози 1,0 л/га – на 4,1, дози 1,4 л/га – на 5,4 т/га, вихід енергії – відповідно на 52, 65 та 86 ГДж/га.

Найвищій біологічної та енергетичної продуктивності сорго зернового досягали за підживлення рослин комплексом трьох мікроелементів Si, Zn, B. За дози кремнію 0,6 л/га вихід твердого палива становив 11,1 т/га, дози 1,0 л/га – 11,6, дози 1,4 л/га – 13,1 т/га, вихід енергії – відповідно 177, 186 та 210 ГДж/га.

Отже, найвищого біоенергетичного потенціалу сорго зернового досягнуто за внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ + 1,4 л/га Si + Zn, B: вихід твердого палива – 13,1 т/га, енергії – 210 ГДж/га з перевагою до контролю без добрив – відповідно 6,0 т/га та 96 ГДж/га.

Встановлено тісно кореляційну залежність між дозами внесення кремнієвого мікродобрива та виходом енергії за вирощування сорго цукрового з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,962$ (рис. 6).

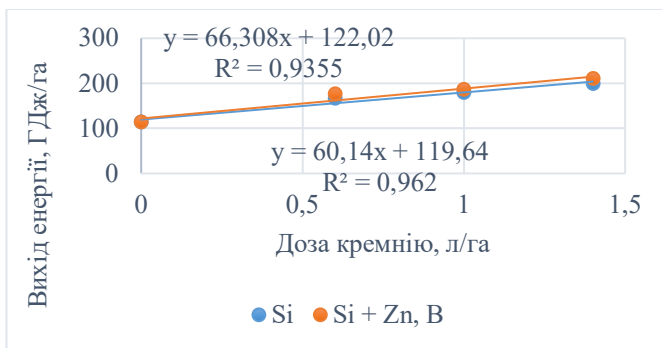


Рис. 6 Кореляційна залежність між дозами кремнієвих мікродобрив та виходом енергії за вирощування сорго цукрового (2021–2024 рр.)

Примітка: кремній вносили в дозі 0,6–1,4 л/га; бор – 1,0 кг/га.

Отже, у середньому за 2021–2024 рр. в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому максимальної енергетичної продуктивності сорго зернове досягало за внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₆₀K₆₀ + 1,4 л/га Si + Zn, B: вихід твердого палива – 13,1 т/га, енергії – 210 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив – відповідно на 6,0 т/га та 96 ГДж/га.

Висновки

В умовах недостатнього зволоження ВПДСС (ГТК = 0,7–0,9) на чорноземі типовому слабкосолонцюватуому за вирощування сорго зернового на продовольчі та біоенергетичні цілі рекомендується вносити 5 т/га соломи + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + 1,4 л/га Si + Zn, В: врожайність зерна – 8,25 т/га, вміст білка – 12,0%, вихід біопалива – 13,1 т/га, вихід енергії – 210 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив – відповідно на 2,5 т/га, 1,7%, 6,0 т/га та 96 ГДж/га. Встановлено високу кореляційну залежність між дозою кремнієвих мікродобрив та врожайністю зерна сорго зернового з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9422$, а також за додаткового внесення у позакоренево цинку і бору з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9716$

В умовах достатнього зволоження УЛДСС (ГТК = 1,1–1,4) на чорноземі вилугуваному за вирощування сорго зернового на продовольчі та біоенергетичні цілі рекомендується вносити 5 т/га соломи + $N_{120}P_{60}K_{60}$ + 1,0 л/га Si: врожайність зерна – 8,8 т/га, вміст білка – 11,8 %, вихід твердого біопалива – 9,87 т/га, вихід енергії – 158 ГДж/га з перевищенням контролю без добрив – відповідно на 3,0 т/га, 1,4 %, 2,9 т/га та 46 ГДж/га. Встановлено високу кореляційну залежність між дозою азотних добрив та врожайністю зерна сорго зернового з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 1$.

Наукове видання

**В. В. Іваніна, А. С. Заришняк, О. П. Стрілець, Н. С. Зацерковна,
Г. М. Мазур, О. В. Шикирява, К. Я. Герасимчук, К. А. Савчук,
В. М. Смірних, Л. М. Левченко, Н. А. Мостьовна, О. М. Іванішен,
Т. В. Колібабчук**

**ОПТИМІЗАЦІЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ
ТА ФОРМУВАННЯ ВИСОКОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО ЗЕРНОВОГО
В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ**

Науково-методичні рекомендації

Електронне видання

Погоджено до опублікування 20.11.2026.
Формат: PDF. Гарнітура Cambria.

Видавець

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25
Тел.: (044) 275-50-00; e-mail: sugarbeet@ukr.net
<https://bio.gov.ua>

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5713 від 19.10.2017

