

Л. А. ПРАВДИВА, О. М. ГАНЖЕНКО, Я. Д. ФУЧИЛО,  
В. М. КВАК, О. Б. ХІВРИЧ, Г. С. ГОНЧАРУК, О. М. АТАМАНЮК

# ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ



КИЇВ 2025

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

**Л. А. Правдива, О. М. Ганженко, Я. Д. Фучило,  
В. М. Квак, О. Б. Хіврич, Г. С. Гончарук, О. М. Атаманюк**

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО  
ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА**

**Київ 2025**

УДК 633.174:631.5

<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-36-4>

*Рекомендовано до опублікування вченою радою  
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН  
(протокол № 18 від 10 листопада 2025 р.)*

**Рецензенти:**

**В. В. Іваніна**, доктор с.-г. наук, професор;  
**І. І. Бойко**, кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник  
(Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН)

**Правдива Л. А., Ганженко О. М., Фучило Я. Д., Квак В. М., Хіврич О. Б., Гончарук Г. С., Атаманик О. М.** Визначення енергетичної ефективності вирощування сорго зернового як сировини для виробництва біопалива : науково-методичні рекомендації / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКІЦБ НААН, 2025. 17 с.

ISBN 978-617-8706-36-4 (PDF)

Наведено вимоги до площ, на яких планується вирощувати сорго зернове, терміни проведення та показники якості виконання основного, ранньовесняного й передпосівного обробітків ґрунту. Особлива увага спрямована комплексу робіт, пов'язаних із сівбою насіння сорго зернового. Розглянуто догляд за посівами та збирання врожаю сорго зернового, а також подано пропозиції щодо подальшої переробки сировини на різні види біопалива та методику розрахунку виходу біопалива й енергії.

Методичні рекомендації підготовлено для консультантів, керівників та агрономів сільськогосподарських підприємств різних форм власності, фермерів, викладачів, аспірантів та студентів спеціальності «Агрономія». Якісне та своєчасне виконання усіх технологічних процесів, передбачених цими рекомендаціями забезпечить отримання стабільно високої продуктивності сорго зернового

**УДК 633.174:631.5**  
**<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-36-4>**



Цей твір поширюється на умовах ліцензії CC BY-NC-SA 4.0  
(Creative Commons «Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International)

**ISBN 978-617-8706-36-4 (PDF)**

© Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН, 2025  
© Колектив авторів, 2025

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
1. Вибір насіннєвого матеріалу, сортів, гібридів, адаптованого до регіону вирощування .....	5
2. Попередники та місце в сівозміні сорго зернового .....	5
3. Основний обробіток ґрунту .....	6
4. Весняний обробіток ґрунту .....	7
5. Підготовка насіння до сівби .....	7
6. Сівба насіння .....	8
7. Догляд за посівами сорго зернового .....	10
8. Збирання сорго зернового .....	12
9. Переробка та використання сорго зернового .....	12
10. Розрахунковий вихід біопалива .....	14
Список використаної літератури .....	17

## Вступ

Сорго зернове (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) одна з найбільш високопродуктивних злакових культур універсального призначення, яку вирощують для продовольчого, кормового та технічного призначення.

Вирощувати у культурі сорго зернове почали близько 5–8 тис. років назад в Африці, де було знайдено найбільше різноманіття як культурного, так і дикого сорго [1–3]. Вторинними центрами походження є Індія, Китай та Єгипет. У Південну і Північну Америку сорго було завезено в XVII ст. із Африки. Найперші відомості появи сорго на Україні не збереглися. Відомо тільки, що під назвою «турецького проса» християни вирощували віничне сорго в 18 столітті. Широке вивчення цієї культури на Півдні України почато А. А. Ізмаїльським (1880 р.) та В. В. Талановим (1912 р.). Цілеспрямована наукова робота в Україні була розгорнута у 1927 р. на Синельниківській селекційно-дослідній станції Б. П. Соколовим, який вивів сорти вирощувані тривалий час не лише в Україні, а й за її межами. Сорго зернове займає п'яте місце по площі в світі після пшениці, рису, кукурудзи і ячменю, і третє серед зернофуражних культур [4]. Характерна особливість сорго – відносна стійкість до посухи і спеки, що робить його ідеальним зерновим продуктом для споживання людиною і тваринами в регіонах з екстремальними температурами та мінімальними опадами, особливо з посушливим кліматом [5–10].

Сорго зернове дуже економно та високопродуктивно витрачає вологу на формування одиниці сухої речовини (його транспіраційний коефіцієнт дорівнює лише 300, у той час як у кукурудзи він становить 450, у сої – 500, а у люцерни – 700). Це забезпечується біологічними особливостями рослин. Сорго має добре розвинену кореневу систему, що проникає на глибину до 2,0–2,5 м та здатність відбивати надмірну сонячну радіацію завдяки восковому шару на поверхні рослин. Воно характеризується короткими і небагато численними міжвузлями і відносно низьким ростом. Стебло сухе або напівсухе із злегка солодким або кислим соком. Листя у дорослої рослини з жовтувато-білою або білою центральною жилкою, волоть переважно прямостояча, завдовжки 30–35 см, зерно голе, легко вимолочується [11]. Відноситься до культур короткого дня.

З давніх давен сорго зернове вирощували для використання в харчовій промисловості та в кормовиробництві. Останнім часом сорго розглядають як біоенергетичну культуру, так як його можна використовувати для виробництва біопалива: біоетанолу (етиловий спирт) та твердого палива (надземна маса, яка слугує для виготовлення брикетів та пелетів). Із одного гектара посівів можна зібрати до 7–12 т/га зерна з загальним вмістом крохмалю в зерні до 70–80 %, що залежить від біологічних особливостей сортів і гібридів, та елементів технології вирощування.

## **1. Вибір насіннєвого матеріалу, сортів, гібридів, адаптованого до регіону вирощування**

1. *Скоростиглість*. Необхідно брати до уваги особливості ґрунту і клімату, а також дату сівби. Щоб сприяти ранньому збиранню врожаю з низькою вологістю, бажано вибирати гібриди від ранніх до середньопізніх.

2. *Продуктивність*. У пізніх гібридів потенціал врожайності найвищий. Але їхній довгий період вегетації підходять не для всіх регіонів. На сьогоднішній день ранні та середньопізні гібриди мають досить задовільний потенціал врожайності і наближаються за цим показником до пізніх гібридів.

3. *Стійкість до посухи*, зокрема для полів без зрошення.

4. *Стійкість до захворювань*. Слід вибирати гібриди, стійкі до грибу *Macrophomina* і фузаріозу.

5. *Вилягання*. Вибирати слід гібриди стійкі до вилягання, оскільки це явище може спричинити складності в момент збирання врожаю і стати причиною втрати.

6. *Викидання волоті*. Щоб полегшити збирання важливо вибирати гібриди, у яких одночасне викидання волоті і дозрівання.

7. *Вміст таніну*. У гібридів, зареєстрованих в європейському каталозі, рівень таніну не перевищує 0,3 % (це тепер обов'язкове правило для того, щоб зареєструвати гібрид). Це результат більш ніж 20-річної роботи селекціонерів. Слід віддавати перевагу гібридам з дуже низьким вмістом таніну, оскільки в цьому випадку гарантується засвоюваність сорго, порівнянна з іншими зерновими.

## **2. Попередники та місце в сівозміні сорго зернового**

Технології вирощування сільськогосподарських культур, мають бути спрямовані на підвищення продуктивності, якості врожаю та зменшення собівартості кінцевої продукції, а також враховувати біологічні особливості культури, ґрунтово-кліматичні умови, сортове розмаїття, цільове призначення посівів та інші фактори. В отриманні високих і стабільних урожаїв важливе значення мають: вибір поля, застосування раціональної системи обробітку ґрунту та удобрення, оптимальні строки сівби та збирання врожаю.

Сівозміна відіграє важливу роль у поліпшенні водного і поживного режимів ґрунту, забезпечуючи підвищення врожайності та якості сільськогосподарських культур. Виходячи з цього попередниками сорго можуть бути культури, що залишають після себе ґрунт чистим від бур'янів, тобто озимі та просапні, в тому числі жито, пшениця, кукурудза, баштанні.

Досвід вирощування сорго в різних ґрунтово-кліматичних зонах країни показав, що його можна розміщувати першою культурою при освоєнні цілинних і заплачних земель, де воно забезпечує значні врожаї зерна і листостеблової маси.

Особливу увагу слід приділити розгляду питань, пов'язаних з характеристикою сорго як попередника під інші культури, тому що існує думка про те, що сорго є не найкращим попередником для інших сільськогосподарських культур [12]. Однак багаторічні експериментальні дані проведені нами не підтверджують такої думки. Тому сорго зернове можна вирощувати в монокультурі впродовж 5 років з дотриманням рекомендованої технології вирощування (своєчасне проведення комплексу польових робіт, внесення розрахункових норм органічних і мінеральних добрив та пестицидів).

### **3. Основний обробіток ґрунту**

Правильний обробіток ґрунту під сорго сприяє покращенню поживного, водного, температурного і повітряного режимів, створення сприятливих ґрунтових умов росту і розвитку кореневої системи, знищення бур'янів, збудників хвороб, личинок і яєць шкідників сільськогосподарських культур.

Одним з основних факторів, що забезпечує отримання високих врожаїв всіх культур є волога. Одним із завдань обробітку ґрунту є накопичення, збереження та економне витрачання її на всіх етапах, починаючи з обробітку ґрунту після збирання попередника і закінчуючи доглядом за посівами сорго.

Поскілки найбільш ймовірними попередниками сорго є зернові культури, одним з перших заходів в загальній системі обробітку ґрунту повинно бути лушення стерні. Це призводить до зниження випаровування вологи з орного шару ґрунту, сприяє зменшенню поверхневого стікання і збільшенню проникнення в ґрунт опадів.

Лушення стерні проводять дисковими лушчильниками одночасно із збиранням або безпосередньо після збирання попередника на глибину 6–8 см.

На полях, засмічених багаторічними коренепаростковими або кореневищними бур'янами, глибину лушення необхідно збільшити до 10–12 см. Цей захід бажано здійснювати в два етапи: безпосередньо після збирання попередника на глибину 6–7 см і в період появи сходів бур'янів на глибину 10–12 см

Основний обробіток ґрунту під сорго складається з глибокої зяблевої оранки в ранні терміни – через 15–18 днів після лушення.

Оранка через 30 днів менш активна: накопичується менша кількість вологи в порівнянні з кількістю її при ранній оранці. Сорго зернове позитивно реагує на глибоку оранку, тому її проводять плугами з передплуж-

никами на 25–30 см, що сприяє зниженню рівня забур'яненості на 40–50 % і відповідно підвищення запасів вологи на 25 %.

Сорго зернове своєю кореневою системою активно засвоює елементи живлення і вологу з ґрунту, формуючи високу врожайність та позитивно реагує на внесення органічних і мінеральних добрив. Рекомендовано вносити органічні добрива під попередник, а мінеральні добрива вносять у співвідношенні N:P:K = 1:1:1, у нормі (NPK)<sub>45–90</sub>. Фосфорні і калійні добрива вносять під зяблеву оранку, азотні – навесні під культивуацію. Фосфорні добрива пришвидшують дозрівання рослин, калійні – надають рослинам стійкість до вилягання, азотні – впливають на ріст рослин уповільнюючи дозрівання і підвищуючи вміст в рослинах глюкозидів.

#### **4. Весняний обробіток ґрунту**

Особливо важливе значення для росту і розвитку рослин сорго зернового має передпосівний обробіток ґрунту. Основним завданням передпосівного обробітку є розпушування верхнього шару ґрунту, збереження вологи, контролювання чисельності бур'янів, забезпечення сприятливих умов для проростання насіння. Виходячи з цього здійснюють ранньовесняне боронування, яке відіграє важливу роль. Його проводять за настання фізичної стиглості ґрунту на глибину до 5 см впоперек або під кутом до напрямку оранки в один-два сліди важкими та середніми зубовими чи пружинними боронами.

До початку сівби сорго проводять одну-дві культивуації, внаслідок яких вирівнюється ґрунт і знищуються пророслі бур'яни. Перша культивуація проводиться на 10–12 см й сприяє прогріванню ґрунту, знищенню сходів бур'янів та проростанню наступної хвилі. Друга передпосівна культивуація здійснюється перед сівбою на глибину загортання насіння, що забезпечує тверде і вологе насіннєве ложе.

#### **5. Підготовка насіння до сівби**

Однією з важливих умов отримання високої врожайності сорго зернового є сівба його доброякісним насінням сортів і гібридів. Поряд з такими показниками якості насіння, як схожість, сортова чистота, біологічна довговічність (певний період часу впродовж якого якась частина партії насіння здатна до проростання), господарська придатність (період зберігання насіння, впродовж якого воно залишається кондиційним і відповідає вимогам стандартів), не менш важливим є величина і вирівняність насіння.

До посіву не допускається насіння, засмічене насінням карантинних бур'янів, живими шкідниками і їх личинками. А також насіння з ділянок уражених сажкою.

Важливе значення має величина насіння і маса 1000 насінин. За підготовки до сівби насіння необхідно сортувати на фракції і відокремлювати для сівби найбільше, що володіє високою життєздатністю та схожістю.

## 6. Сівба насіння

Сорго зернове є теплолюбивою і дрібнонасінневою культурою, тому правильно встановлені строки сівби та глибина загорання насіння мають важливе значення. Вони впливають не тільки на проростання насіння та отримання повноцінних сходів, але й на подальший ріст і розвиток рослин. Вибір строку сівби залежить від кліматичних умов, стану ґрунту, біологічних особливостей сортів і гібридів [13].

Визначаючи строк сівби насіння потрібно орієнтуватися на мінімально допустиму температурну межу, яка становить 12–14 °С на глибині ґрунту 10 см. За такої температури схожість насіння досить висока і становить близько 90 %. Польова схожість, зазвичай, нижча за лабораторну. Якщо висіяти насіння за температури ґрунту 12–14 °С, а після сівби відбудеться інтенсивне підвищення температури ґрунту, то це сприятиме підвищенню польової схожості та отриманню дружних і одночасних сходів. За такої температури сходи сорго зернового з'являються на 8–10 добу. За ранніх строків сівби у недостатньо прогрійтий ґрунт (7–8 °С) сходи з'являються на 20–25 добу, а польова схожість насіння знижується до 40 %. Незначні заморозки до –2 °С впродовж доби знищують сходи сорго зернового.

Оптимальною глибиною загорання насіння є 4–6 см, збільшення її до 8–10 см призводить до затримки сходів на 3–5 дні. Результати біометричних досліджень свідчать, що за сівби на 2 та 8–10 см призводить до зниження польової схожості насіння, загальної та продуктивної кущистості, висоти рослин, і як результат зменшення продуктивності посівів. Особливо це відображається за дуже ранньої сівби. За пізніх строків сівби зменшення продуктивності рослин з глибиною загорання насіння на 10 см менш важливе. Відповідно збільшення глибини загорання насіння сорго можливе і може застосовуватися в умовах недостатнього зволоження і в період пересушення ґрунту. За мілкої заробки, особливо в умовах посушливої весни, насіння, потрапляючи в сухий ґрунт, не дає сходів.

Сорго зернове – просапна культура, тому важливе значення в отриманні високої продуктивності має спосіб сівби і густина стояння рослин. Спосіб сівби визначається біологічними потребами рослин до площі живлення, освітлення, забезпечення вологою і можливістю проведення механізованого догляду за посівами, метою культивування, засміченістю поля тощо. З густотою стояння і способом сівби пов'язані живлення рослин, транспірація, фотосинтез, водоспоживання, тощо. Із зміною величини і площі живлення регулюються наступні процеси: інтенсивність кущіння, час і рівномірність дозрівання. Інтенсивніше кушаться рослини і форму-

ють гарну волоть, а відповідно й урожайність насіння, при розміщенні невеликої кількості рослин на одиниці площі. Із загушенням посівів, куціння рослин зменшується, відповідно знижується маса зерна з волоті, але за рахунок збільшення продуктивного стеблостою врожайність не знижується. Цим і пояснюється велика багатогранність різних рекомендованих способів сівби та густоти стояння рослин.

Сівбу насіння сорго зернового рекомендується проводити сівалками точного висіву з шириною міжрядь 45 см, що сприяє більш рівномірному розподілу рослини в рядку і площі живлення та підвищенню врожайності. Вибір ширини міжрядь в основному залежить від вологозабезпеченості та наявності посівної техніки.

Площу живлення рослин сорго визначає ширина міжрядь, її величина залежить від густоти стояння рослин на одиниці площі. Оптимальна густина стояння рослин залежить від способів сівби, біологічних особливостей і коливається в досить широких межах. Рекомендованою оптимальною густиною стояння рослин є 180–200 тис. шт./га.

Для сортів і гібридів, що мають товсте стебло і велику волоть оптимальна густина стояння рослин вважається 90–120 тис. шт./га за ширини міжрядь 70 см, для сортів і гібридів, що мають середню волоть і товщину стебла – 140–160 тис. шт./га.

Густина продуктивного стеблостою має вагоме значення, так як від неї залежить розвиток кореневої системи, поглинання вологи та поживних речовин з ґрунту, куціння рослин і відповідно продуктивність. Тому норма висіву насіння має велике значення. Норма висіву – це кількість висіяного на 1 га насіння, що забезпечує добру густоту сходів і повноцінний урожай. Норму висіву виражають числом схожих насінин (млн шт.) і масою насіння (кг).

Масову норму висіву розраховують за формулою (1):

$$M = N \times A \times 100 \div \text{ПП}, \text{ де} \quad (1)$$

M – норма висіву, кг/га; N – норма висіву, млн схожих насінин, на 1 га; A – маса 1000 насінин, г; ПП – посівна придатність насіння, %.

Посівна придатність насіння – це вміст чистого та схожого насіння в партії насіння. Посівну придатність насіння визначають за чистотою та схожістю, за формулою:

$$\text{ПП} = (\text{Ч} \times \text{С}) \div 100, \text{ де} \quad (2)$$

ПП – посівна придатність, %; С – схожість насіння, %; Ч – чистота насіння, %.

Правильне розміщення рослин на одиниці площі це одна з важливих умов отримання високої і стабільної продуктивності культури.

## 7. Догляд за посівами сорго зернового

Головним завданням догляду за посівами сорго зернового є створення сприятливих ґрунтових умов для отримання дружних і одночасних сходів, утримання посівів в чистому від бур'янів стані, а також забезпечення рослин сорго вологою і поживними речовинами. Сорго повільно росте на початку вегетації вразливе до бур'янів і потребує захисту від них.

Догляд за посівами сорго зернового необхідно починати до появи сходів. Воно включає післяпосівне прикочування, міжрядні культивуації, підживлення добривами, захист посівів від бур'янів, хвороб і шкідників. Накопичення і збереження вологи в ґрунті це головна основа агротехніки.

Післяпосівне прикочування збільшує контакт насіння з ґрунтом, підтягує капілярну вологу із нижніх більш вологих шарів ґрунту і вирівнює його поверхню. Прикочування виконують кільчасто-шпоровими котками, які утворюють ребристу поверхню ґрунту, що перешкоджає утворенню ґрунтової кірки.

За появи масової кількості бур'янів проводять досходове боронування, а в фазі 4–6 листків – післясходове боронування упоперек до напрямку сівби боронами швидкістю не більше 4,5 км/год.

Поряд з агротехнічними заходами для знищення бур'янів в посівах сорго зернового є і хімічні засоби – гербіциди. Поєднання цих прийомів забезпечує знищення значної кількості бур'янів та сприяє підвищенню продуктивності культури з скороченням додаткових витрат.

Для контролювання чисельності злакових та однорічних дводольних бур'янів на початку вегетації рослин сорго зернового ефективно використовувати гербіцид Гвардіан Тетра, застосування якого можливе як до появи сходів, так і у фазі 2–3 листків культури. Норма витрати – 3,5 л/га. Застосування гербіциду Гвардіан Тетра не потребує попередньої обробки насіння сорго зернового антидотом.

За застосування хімічних способів контролювання забур'яненості механічні рихлення ґрунту в міжряддях проводяться тільки за потреби для забезпечення оптимальної структури ґрунту (руйнування ґрунтової кірки).

*Шкідники.* Ураженість сорго зернового шкідниками досить слабка на відміну від інших злакових сільськогосподарських культур. Найбільшими шкідниками сорго зернового є попелиця, злакові мухи (гессенська, шведська, чорна), дротяники та несправжні дротяники, лучний і стебловий кукурудзяний метелик, озима совка.

Листкова злакова попелиця завдає великої шкоди посівам сорго зернового висмоктуючи сік з точок росту і листя рослин, внаслідок чого листя скручуються і рослина гине. Для знищення попелиць застосовують інсектициди.

Злакова муха більш шкідлива в посушливі роки на початку вегетації. Муха відкладає яйця на колеоптиль. Її личинки розвиваються всередині стебел, викликаючи їх загибель. Для захисту посівів від злакових мух необхідно використовувати інкрустацію насіння системними інсектицидами та обприскування посівів інсектицидами.

Дротяники та несправжні дротяники особливо шкідливі в роки з холодною весною і на зрошуваних землях. Для захисту посівів сорго зернового рекомендується застосовувати ґрунтові інсектициди або інкрустувати насіння інсектицидами.

Озима совка пошкоджує молоді рослини на рівні кореневої шийки або вгризається всередину стебла, в результаті чого рослина гине або починає кушиться. Одна гусениця може знищити велику кількість рослин в період проростання до моменту досягнення ними висоти 50–70 см.

Стебловий кукурудзяний метелик може пошкоджувати рослини в період викидання волоті. Гусениці метелика пошкоджують стебла в середині рослини, а також суцвіття сорго. Стебла відстають в рості, надломлюються.

Заходи контролювання чисельності шкідників полягають у ретельному зяблевому обробітку ґрунту, низькому зрізі стебел та проведенні хімічного обробітку інсектицидами.

Для контролювання шкідників сорго застосовують інсектициди Енжіо 247 SC (0,18 л/га), Децис, 2,5 % к. е. (0,5...0,7 л/га), Децис Форте, 12,5 % к. е. (0,05...0,08 л/га), Карате 050 ЕС, к. е. (0,2 л/га), Карате Зеон 050 CS, м. к. с. (0,2 л/га), Штефесін, 2,5 % к. е. (0,5–0,7 л/га), Фастак (0,1–0,15 л/га), Бі-58 новий, Актелік (0,5–1,0 л/га) та інші.

*Хвороби.* Основними хворобами сорго зернового вважаються пліснявіння насіння, кореневі і стеблові гнилі, сажка – летюча і тверда, іржа.

Пліснявіння насіння, призводить до зрідження посівів, спостерігається за ранніх строків сівби в непрогрітій ґрунт у період з холодною зятяжною весною.

Заходи боротьби: запобігання травмуванню насіння під час збирання, очистка і досушування зерна до 13–14 % вологості, дотримання строків сівби, внесення оптимальних норм добрив, протруєння насіння проти патогенної мікрофлори і ґрунтових шкідників.

Кореневі і стеблові гнилі – уражуються корені і основа стебла набуваючи темно-коричневого або бурого кольору. Відбувається полягання і відмирання рослин. Заходи боротьби: дотримання сівозмін, своєчасне заорювати післяжнивні рештків, вирощування стійких сортів і гібридів сорго, вчасне проведення заходів щодо знищення шкідників.

Летюча сажка – уражує на волоті не лише зерно, а й півки та інші частини. Замість гарно сформованої волоті в рослин сорго зернового з'являється маса спор, які спочатку вкриті сіруватою оболонкою, потім вона розтріскується і спори розлітаються.

Тверда сажка уражує лише зав'язі квіток сорго, плівки та решта волоті залишаються не ураженими. Уражене зерно має вигляд подовжених брудно – сірих мішечків, які легко роздавлюються і замість ендосперму маємо чорну масу – спори сажки.

Заходи боротьби: знищення з поля уражених рослин, вирощування стійких до цієї хвороби сортів і гібридів сорго зернового. А також дотримання сівозмін, глибока зяблева оранка ґрунту, внесення збалансованих норм добрив. Протруювання насіння суспензією препарату Вітавакс 200 з. п. (5 л/т води + 2 л/т препарату), Максим 0,25 Р8 т. к. с. (8 л/т води + 1 л/т препарату).

## **8. Збирання сорго зернового**

За вирощування сорго на зерно та насіння строки збирання визначаються насамперед ступенем вологості його у волоті. За вологості зерна – менше 20 % і рівномірному дозріванні волоті найбільш доцільно збирати звичайними зернозбиральними комбайнами прямим комбайнуванням, з зниженням обертів молотильного барабана до 500–600 на хвилину з метою меншого пошкодження зерна. Однак за прямого комбайнування зерно має підвищену вологість (18,9–20 %), тому подальша його обробка полягає в доочищенні від залишків волотей і стебел та сушіння, з тим, щоб на зберігання засипати зерно з вологістю не більше 14 %.

Одним з заходів зниження вологості зерна сорго є десикація посівів здійснена у фазі воскової-повної стиглості зерна, але не пізніше, ніж за 4–6 діб до збирання врожаю. Обробка посівів десикантами у фазі воскової стиглості знижує вміст вологи в зерні на 8,4–10,8 %, а якщо на початку повної стиглості – на 5,7–7,1 % [11].

Одним із способів збирання сорго зернового є роздільний, його застосовують за стійкої теплої погоди. Рослини у фазі повної стиглості зерна скошують у валки і через 5–8 днів обмолочують, що дає можливість знизити вологість зерна до 12–13 %.

При збиранні сорго зернового слід враховувати період і способи збирання, які визначають його призначення, а також наявність збиральної техніки.

## **9. Переробка та використання сорго зернового**

Одним з найбільш широко поширеним продуктом перероблення сорго зернового, особливо в країнах з високим споживанням зерна сорго в їжу є соргове борошно. В країнах, де сорго використовують як технічну і кормову культуру, основними продуктами переробки є сорговий крохмаль, глюкозо-фруктозні сиропи і спирт.

Сорго зернове має високу енергетичну цінність завдяки високому вмісту крохмалю в зерні. Це універсальний продукт, вільний від будь-яких антипоживних компонентів. Так як ендосперм сорго часто має відтінкові забарвлення, сорговий крохмаль також може бути злегка забарвленим. Кольоровість крохмалю може бути посилена також і пігментами насінневих оболонок, які в процесі виробництва виділяються в технологічні розчини. При вироблянні крохмалю для харчових цілей прагнуть використовувати в якості сировини сорти сорго зернового із світлими насінневими оболонками і білим ендоспермом. Сорговий крохмаль використовують у виробництві соусів, начинок для пирогів, пудингів, десертів, а також як добавку до булочних і кондитерських виробів.

Сорговий крохмаль використовують і в технічних цілях: в паперовому виробництві, в текстильній і медичній промисловості.

Крохмаль із сорго є гарною сировиною для виробництва цукристих речовин, на його основі виробляють глюкозо-фруктозні сиропи із заданим співвідношенням компонентів. Схема виготовлення глюкозо-фруктозних сиропів має декілька етапів: декстринізація крохмалю  $\alpha$ -амілазами  $\rightarrow$  отримання глюкози (оцукрювання глюкамілазами)  $\rightarrow$  очистка розчину глюкози адсорбентами  $\rightarrow$  ізомеризація глюкози глюкоізомеразами.

В порівнянні з кукурудзою відмічена більша низька вартість зерна сорго і більш високий вміст у ньому крохмалю, що забезпечує кращі показники рентабельності для виробництва глюкозо-фруктозних сиропів із сорго. З цих же причин більш рентабельне виробництво спирту із сорго, ніж з кукурудзи. Зі 100 кг зерна сорго можна отримати 65 кг крохмалю або 30–35 кг спирту.

*Крохмаль* (хімічна формула  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ) – полісахарид амілози і амілопектину, мономером яких є глюкоза. У гарячій воді набухає (розчиняється), утворюючи колоїдний розчин клейстер; з розчином йоду дає синє забарвлення. При нагріванні сухого крохмалю до 200–250 °C відбувається часткове його розкладання та утворюється суміш менш складних полісахаридів (декстрини та інші). Під дією ферментів або нагрівання з кислотами піддається гідролізу.

Крохмаль, що у результаті фотосинтезу синтезується різними рослинами, має деякі відмінності за складом та структурою зерен, а також за однорідністю і розміром молекул. Крохмалем є суміш лінійних і розгалужених макромолекул.

Крохмаль, будучи одним з продуктів фотосинтезу, широко поширений в природі. Для рослин він є коморою поживних речовин і міститься, переважно, в плодах, насінні та бульбах. Найвищий вміст крохмалю в зерні злакових рослин: рисі (до 86 %), пшениці (до 75 %), сорго (до 77 %), кукурудзі (до 72 %), а також бульбах картоплі (до 24 %).

*Декстрин* – полісахарид, що утворюється шляхом термічної обробки картопляного або кукурудзяного крохмалю, а також з крохмалю під дією

$\alpha$ -амилаз. Основна суть процесу хлібопечення полягає саме в перетворенні нерозчинного крохмалю на розчинний і легше засвоюваний організмом декстрин.

## 10. Розрахунковий вихід біопалива

Сорго зернове як рослина типу  $C_4$  характеризується високою фотосинтетичною ефективністю і за короткий період формує гарну продуктивність зерна та надземної біомаси багату на енергію [14]. При цьому значна частина енергії знаходиться в речовинах, що легко конвертують в етанол. В сорго зернового такою речовиною є крохмаль.

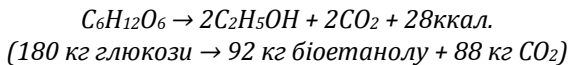
Тому, комплексним показником, який характеризує ефективність вирощування сорго зернового на енергетичні цілі, є вихід різних видів біопалива (біоетанолу, твердого біопалива) та вихід енергії.

За результатами досліджень, проведеними в ІБКіЦБ НААН встановлено, що зерно сорго при збиранні містить в середньому близько 84–86 % сухої речовини і максимальний вміст крохмалю – до 80 %. Біоетанол із крохмалю сорго зернового можна розрахувати за формулою (3):

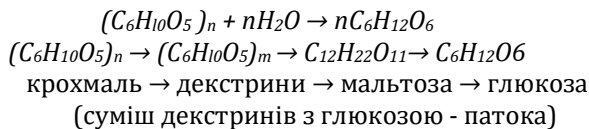
$$M = \frac{U \cdot n \cdot S \cdot b \cdot k}{100}, \quad (3)$$

де,  $M$  – вихід біоетанолу з 1 га сорго зернового, т/га;  $U$  – урожайність зерна, т/га;  $n$  – вміст сухої речовини в зерні, %;  $S$  – загальний вміст крохмалю в сухих речовинах зерна, %;  $b$  – коефіцієнт співвідношення молекулярної маси етанолу до молекулярної маси крохмалю,  $b = 0,5679$ ;  $k$  – коефіцієнт заводського виходу біоетанолу,  $k = 0,9$ .

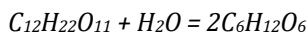
Процес спиртової ферментації полягає в перетворенні простих цукрів (глюкоза, сахароза, фруктоза) під дією ферментів в етанол і вуглекислий газ. Теоретично процес спиртової ферментації проходить таким чином:



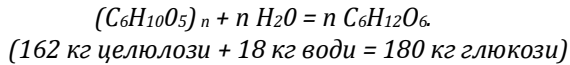
Крохмалевмісна сировина внаслідок ферментації солоду розщеплюється до мальтози і декстринів, які в свою чергу гідролізуються ступінчасто до глюкози, а саме:



Мальтоза зброджується безпосередньо дріжджами. За допомогою ферменту мальтази, який є в дріжджах, мальтоза гідролітично розщеплюється на дві гексози (глюкоза + фруктоза) за такою схемою:



Після цього із глюкози утворюється етанол. Джерелом цукру для спиртової ферментації можуть бути також деревина, рослинні відходи та інші матеріали, що містять целюлозу. Вихід спирту із крохмалю збільшується пропорційно відношенню молекулярних мас глюкози і крохмалю.



Щоб визначити вихід енергії з біоетанолу, отриманого з одного гектара посівів сорго зернового, необхідно масу отриманого біоетанолу помножити на його енергоемність:  $E_M = M \times e_M$ , де  $E_M$  – вихід енергії, ГДж/га;  $M$  – вихід біоетанолу з 1 га сорго зернового, т/га;  $e_M$  – питома теплота згорання, ГДж/т (25 ГДж/т).

**Приклад розрахунку:**

Урожайність зерна сорго зернового становить 5 т/га, з вмістом сухої речовини у зерні 86 % та крохмалю 75 %. За формулою (1) вихід біоетанолу становить:  $M = 5 \times 86 \times 75 \times 0,5679 \times 0,9 / 100 = 1,65 \text{ т/га}$ . Розраховуємо кількість енергії, яку можна отримати від спалювання 1,65 т біоетанолу:  $E_M = 1,65 \times 25 = 41,25 \text{ ГДж/га}$ .

Отже, з 1 га посівів сорго зернового за урожайності зерна 80 т/га та вмістом крохмалю 75 % можна отримати 1,65 т/га біоетанолу, що еквівалентно 41,25 ГДж енергії.

Зі стебел сорго зернового можна виготовляти тверде біопаливо (палівні гранули, брикети). Вихід твердого біопалива розраховується за формулою (4):

$$T = \frac{U \cdot c \cdot (100 + w)}{10000}, \quad (4)$$

де  $T$  – вихід твердого біопалива, т/га;  $U$  – врожайність біомаси стебел сорго зернового, т/га;  $c$  – суха речовина біомаси стебел, %;  $w$  – вологість твердого біопалива, %

Згідно з європейськими вимогами тверде біопаливо може мати вологість до 10 % [15], тому приймаємо  $w = 10 \%$ .

Вихід енергії визначають як добуток маси твердого біопалива, отриманого з 1 га посівів сорго зернового, на його питому теплоту згорання:  $E_T = T \times e_T$ , де  $E_T$  – вихід енергії з твердого біопалива, ГДж/га;  $M$  – вихід твердого біопалива з 1 га сорго зернового, т/га;  $e_T$  – питома теплота згорання твердого біопалива, МДж/кг. При цьому, питома теплота згорання твердого біопалива буде залежати від його вологості та зольності і визначатиметься за формулою (5):

$$e_T = \left( \frac{100 - W - Z}{100} \right) \cdot e_{T0}, \quad (5)$$

де  $e_T$  – питома теплота згорання твердого біопалива, МДж/кг;  $W$  – вологість твердого біопалива, %;  $Z$  – зольність твердого біопалива, %;

$e_{т0}$  – питома теплота згорання абсолютно сухого беззолного твердого біопалива, МДж/кг.

Приймаємо, що теплотворна здатність абсолютно сухої беззолної біомаси стебел сорго зернового становить  $e_{т0} = 18,5$  МДж/кг. Підставивши значення  $e_{т0}$  у формулу (3) та врахувавши, що згідно з стандартом вологість твердого біопалива 10% отримуємо:  $e_T = 16,65 - 0,185 \times Z$ . На рисунку наведено графічну інтерпретацію цієї залежності.

У разі відсутності інформації про вміст золи у стеблах сорго зернового приймаємо питому теплоту згорання  $e_T = 16$  МДж/кг.

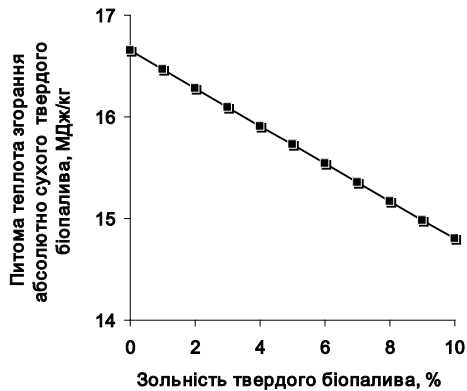


Рис. Залежність питомої теплоти згорання твердого біопалива від зольності

**Приклад розрахунку:**

Урожайність стебел сорго зернового становить 30 т/га, суха речовина – 21 %, зольність – 2 %. За формулою (2) розраховуємо вихід твердого біопалива:  $T = (30 \times 21 \times (100 + 10)) / 10\,000 = 6,93$  т/га. За формулою (3) розраховуємо кількість енергії, яку можна отримати від спалювання 6,93 т твердого біопалива. Попередньо визначаємо питому теплотворну здатність отриманого біопалива:

$$e_T = 16,65 - 0,185 \times 2 = 16,3 \text{ МДж/кг.}$$

$$\text{Отже, } E_T = 6,93 \times 16,3 = 112,9 \text{ ГДж/га.}$$

Таким чином, з 1 га посівів сорго зернового за врожайності зеленої біомаси 30 т/га, вмісту сухої речовини 21 % та зольності 2 % вихід твердого біопалива становитиме 6,93 т/га, а енергії – 112,9 ГДж/га.

## Список використаної літератури

1. Культура стратегічного значення. *Сучасні аграрні технології*. 2012. № 8–9. С. 14–26.
2. Dossou-Aminon I., Loko Y. L., Adjatin A. et al. Diversity, genetic erosion and farmer's preference of sorghum varieties (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) growing in North-Eastern Benin. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014. Vol. 3, Iss. 10. P. 531–552.
3. Kimber C. T., Smith C. W., Frederiksen R. A. (Eds.). Origin of domesticated sorghum and its early diffusion to India and China. *Sorghum: Origin, History, Technology and Production*. New York : John Wiley & Sons, 2003. P. 3–98.
4. Макаров Л. Х. Соргові культури. Херсон : Айлант, 2006. 263 с.
5. Dossou-Aminon I., Loko Y. L., Adjatin A. et al. Genetic divergence in Northern Benin sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) landraces as revealed by agromorphological traits and selection of candidate genotypes. *The Scientific World Journal*. 2015. Vol. 2015. Article 916476. <https://doi.org/10.1155/2015/916476>
6. Orr A., Gierend M., Swamikannu N. *Sorghum and Millets in Eastern and Southern Africa: Facts, Trends and Outlook*. Working Paper. Patancheru, Telangana, India : ICRISAT, 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5154.5205>
7. Ratnavathi C. V., Komala V. V., Kumar B. S. et al. Natural occurrence of aflatoxin B1 in sorghum grown in different geographical regions of India. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012. Vol. 92, Iss. 12. P. 2416–2420.
8. Saleh A. S. M., Zhang Q., Chen J., Shen Q. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013. Vol. 12, Iss. 3. P. 281–295.
9. Kumar A. A., Anuradha K., Ramaiah B. et al. Recent advances in sorghum biofortification research. *Plant Breeding Reviews*. 2015. Vol. 39. <https://doi.org/10.1002/9781119107743.ch03>
10. Andrzejewski B., Eggleston G., Lingle S., Powell R. Development of a sweet sorghum juice clarification method in the manufacture of industrial feedstocks for value-added fermentation products. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 44. P. 77–87.
11. Дзюбецький Б. В., Яланський О. В., Кух М. В. Сорго. Практичні рекомендації. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я. І., 2014. 96 с.
12. Олексенко Ю. Ф. Прогрессивная технология возделывания сорго. Київ : Урожай, 1986. 80 с.
13. Anda A., Pinter L. Sorghum germination and development as influenced by soil temperature water content. *Agronomy Journal*. 1994. Vol. 86, No. 4. P. 621–624.
14. Правдива Л. А. Фотосинтетична продуктивність посівів сорго зернового [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] залежно від строків сівби та глибини загортання насіння. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Т. 16, № 2. С. 199–206. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209254>
15. EN ISO 17225-1:2014. Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements. 2014.

*Наукове видання*

**Людмила Анатоліївна Правдива,  
Олександр Миколайович Ганженко,  
Ярослав Дмитрович Фучило,  
Володимир Михайлович Квак,  
Олександр Борисович Хіврич,  
Григорій Семенович Гончарук,  
Олег Михайлович Атаманюк**

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО  
ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА**

**Науково-методичні рекомендації**

Електронне видання

Погоджено до опублікування 10.11.2025.  
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](mailto:sugarbeet@ukr.net)  
<https://bio.gov.ua>

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 5713 від 19.10.2017

