МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет біоресурсів і природокористування
Кафедра агробіології та біохімії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітній ступінь бакалавр

на тему: **ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДІВ СОРГО ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОТОСИНТЕЗУ ТА ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН**

Виконала: студентка IV курсу, з 46 групи
Довганюк Наталія Петрівна
Освітня програма Біологія
Спеціальності 091 Біологія та біохімія
Керівник: канд.екон.наук., доц. Манзій О.П.
Рецензент: к.б.н., Небиков М.В.

Умань–2026

ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОСИНТЕЗУ ТА ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН СОРГО 10
1.1. Біологічна характеристика сорго та його господарське значення 10
1.2. Особливості процесу фотосинтезу в рослин сорго 20
1.3. Особливості мінерального живлення рослин сорго 30
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ 44
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення дослідження 44
2.2. Характеристика гібридів сорго та схема досліду 49
2.3. Методика визначення показників фотосинтезу і живлення рослин 53
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДІВ СОРГО 60
3.1. Особливості росту і розвитку гібридів сорго 60
3.2. Показники фотосинтетичної діяльності гібридів сорго 64
3.3. Вплив живлення на продуктивність рослин сорго 67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 82
ДОДАТКИ 92

ВСТУП

У сучасному землеробстві все більшого значення набувають культури, які здатні поєднувати високу продуктивність із пристосованістю до нестачі вологи, підвищених температур і нестійких погодних умов. Як показано в оглядовій праці K. Б. Abreha, M. Enyew, A. S. Carlsson та ін., сорго належить до найбільш посухостійких польових культур, а його морфологічні й фізіологічні особливості дають змогу рослинам зберігати життєздатність та формувати врожай у посушливих умовах [2]. Подібної думки дотримуються V. B. R. Prasad, M. Govindaraj, M. Djanaguiraman та ін., які зазначають, що стійкість сорго до посухи та високих температур пов'язана з розвиненою кореневою системою, здатністю регулювати транспірацію та підтримувати функціонування фотосинтетичного апарату в стресових умовах [3]. Саме тому в умовах кліматичних змін ця культура привертає дедалі більшу увагу дослідників і виробничників.

В українських наукових працях також підкреслюється зростання значення сорго для сучасного агровиробництва. Так, С. Ю. Давиденко зазначає, що розширення площ під сорго є перспективним як для України, так і для світу, оскільки культура характеризується широким спектром використання та високою адаптивністю до посушливих умов [1]. Сорго вирощують на зерно, зелений корм, силос, біоенергетичну сировину, а окремі його форми використовують і в харчовій промисловості. Така універсальність культури пояснює постійний інтерес до вивчення її біологічних властивостей, продуктивності та реакції на агротехнічні чинники.

Особливу цінність для наукових досліджень становлять гібриди сорго. Вони відрізняються між собою тривалістю вегетаційного періоду, інтенсивністю росту, площею листкової поверхні, фотосинтетичною активністю, здатністю засвоювати елементи живлення та рівнем реалізації продуктивного потенціалу. За даними S. Bollam, K. K. Romana, L. Rayaprolu та ін., навіть за однакових умов азотного живлення різні генотипи сорго виявляють істотну мінливість за

ознаками, пов’язаними з ефективністю використання азоту, що підтверджує доцільність порівняльного вивчення сортів і гібридів культури [7]. У праці T. J. Ostmeyer, R. N. Bahuguna, M. B. Kirkham та ін. наголошено, що саме генетичне різноманіття сорго створює основу для добору форм із вищою ефективністю використання азоту та кращою адаптацією до конкретних умов вирощування [6].

Одним із найважливіших фізіологічних процесів, що визначає продуктивність рослин, є фотосинтез. У процесі фотосинтезу рослина за участю світла синтезує органічні речовини з вуглекислого газу та води, забезпечуючи формування сухої речовини, ріст і розвиток. Сорго належить до С4-рослин. Це означає, що фіксація вуглекислого газу в нього відбувається за С4-типом фотосинтезу, який є ефективнішим за високих температур, інтенсивного освітлення і відносного дефіциту вологи [2; 3]. Саме ця особливість значною мірою пояснює високу посухостійкість культури та її здатність формувати врожай там, де інші зернові культури помітно знижують продуктивність.

Не менш важливим для формування врожаю є мінеральне живлення рослин. Забезпеченість азотом, фосфором, калієм та іншими елементами істотно впливає на ріст рослин, формування листкової поверхні, вміст хлорофілу, інтенсивність фотосинтезу, нагромадження сухої речовини та кінцеву врожайність. У роботі Л. А. Правдивої та В. А. Дороніна встановлено, що підвищення рівня мінерального живлення сприяє збільшенню площі листкової поверхні, чистої продуктивності фотосинтезу та врожайності зернового сорго в умовах Правобережного Лісостепу України [4]. Подібні висновки наведені й у публікації R. E. Grishchenko, A. G. Lyubchich, O. V. Glieva, Ya. V. Alekseev, де показано, що система удобрення істотно впливає на фотосинтетичну продуктивність посівів сорго [12].

Отже, фотосинтез і мінеральне живлення не можна розглядати ізольовано, оскільки між ними існує тісний функціональний зв’язок. Азот входить до складу хлорофілу, білків і ферментів, що беруть участь у фотосинтетичних реакціях;

фосфор необхідний для енергетичного обміну та синтезу органічних сполук; калій регулює водний режим рослин, активність ферментів і транспорт асимілянтів. У зв’язку з цим будь-які зміни в забезпеченні рослин елементами живлення позначаються на інтенсивності фотосинтезу, а стан фотосинтетичного апарату, своєю чергою, визначає рівень використання поживних речовин і формування врожаю [4; 6].

Важливим показником адаптивності культури є також ефективність використання води. Під цим поняттям розуміють здатність рослини формувати органічну речовину або врожай за менших витрат води. Y. Al-Salman, F. J. Cano, E. Масе та ін. довели, що окремі лінії сорго здатні підтримувати високу ефективність використання води саме завдяки збереженню фотосинтетичної активності в умовах водного стресу [8]. Близькі результати одержали X. S. Martínez-Goñi, A. Robredo, U. Pérez-López та ін., які показали, що після сильного водного дефіциту рослини сорго здатні достатньо швидко відновлювати фотосинтетичну активність після повторного зволоження [9]. Це ще раз підтверджує доцільність використання гібридів сорго як цінного матеріалу для вивчення процесів фотосинтезу, водного режиму та живлення рослин.

Для умов України така тема є особливо актуальною. За даними Л. Правдивої, Н. Зацерковної, С. Вахнія та ін., в умовах Правобережного Лісостепу фотосинтетична продуктивність сорго істотно змінюється залежно від особливостей технології вирощування, а між розвитком листкової поверхні, вмістом хлорофілу та показниками врожайності існує тісний зв’язок [5]. Це свідчить про те, що продуктивність рослин сорго формується під впливом комплексу чинників, серед яких провідне місце посідають особливості генотипу, умови мінерального живлення, водозабезпечення та стан фотосинтетичного апарату. Саме тому дослідження гібридів сорго за цими показниками має не лише теоретичне, а й практичне значення.

Експериментальну частину роботи виконували в умовах [повна назва закладу, господарства або дослідного поля] [район, область] упродовж [20__–20__] рр. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений [назва ґрунту], а погодні умови в роки досліджень характеризувалися [коротка характеристика: рівень зволоження, температурний режим, відхилення від середньобагаторічних показників]. Зазначені умови істотно впливали на інтенсивність росту рослин, перебіг фотосинтетичних процесів і засвоєння елементів живлення, тому їх урахування є обов’язковим під час аналізу одержаних результатів. Детальніша характеристика місця проведення дослідження, ґрунтово-кліматичних умов і погодних показників за період спостережень подається у підрозділі 2.1.

Методичною основою дослідження були загальноприйняті підходи до проведення польового досліду, фенологічних спостережень, біометричних вимірювань і статистичного опрацювання результатів. Під час виконання роботи доцільно спиратися на класичні положення Б. А. Доспєхова щодо методики польового досліду [10], а також на чинні методичні рекомендації з оцінювання сортів і гібридів сорго [11]. Це дає змогу забезпечити об’єктивність спостережень, коректність порівняння гібридів і наукову вірогідність отриманих висновків.

Отже, тема дипломної роботи є актуальною, оскільки поєднує важливі для сучасної агрономічної науки й практики питання: оцінювання біологічних особливостей гібридів сорго, вивчення процесів фотосинтезу, аналіз мінерального живлення рослин і встановлення їхнього впливу на продуктивність культури. Результати такого дослідження можуть бути використані для кращого добору гібридів, удосконалення системи живлення та підвищення ефективності вирощування сорго в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Мета дослідження полягає у вивченні особливостей процесів фотосинтезу та мінерального живлення у гібридів сорго, а також у встановленні їх впливу на ріст, розвиток і продуктивність рослин.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв’язання таких завдань:

1. проаналізувати наукові підходи до вивчення фотосинтезу та мінерального живлення рослин сорго;
2. охарактеризувати біологічні особливості гібридів сорго як об’єкта фізіолого-агрохімічних досліджень;
3. дослідити особливості формування листкової поверхні та фотосинтетичної активності рослин у різних гібридів сорго;
4. оцінити вплив умов мінерального живлення на ріст, розвиток і продуктивність рослин;
5. встановити взаємозв’язок між показниками фотосинтезу, забезпеченістю елементами живлення та господарсько цінними ознаками гібридів сорго;
6. обґрунтувати практичне значення отриманих результатів для вирощування культури.

Об’єкт дослідження – процеси фотосинтезу та мінерального живлення рослин сорго.

Предмет дослідження – особливості прояву фотосинтетичної діяльності, засвоєння елементів живлення, росту, розвитку та продуктивності різних гібридів сорго.

Методи дослідження. У роботі використано аналіз і узагальнення наукової літератури, польовий дослід, фенологічні спостереження, біометричні вимірювання, фізіологічні методи оцінювання фотосинтетичної діяльності рослин, агрохімічні методи визначення показників мінерального живлення та методи математичної статистики для опрацювання результатів дослідження [10; 11].

Наукова новизна одержаних результатів полягає у комплексному підході до оцінювання гібридів сорго за показниками фотосинтетичної діяльності та мінерального живлення, що дає змогу уточнити особливості формування їх продуктивності в конкретних умовах вирощування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання результатів дослідження для добору адаптивних і продуктивних гібридів сорго, оптимізації системи живлення рослин та вдосконалення окремих елементів технології вирощування культури.

Структура роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. У першому розділі розкрито теоретичні основи дослідження фотосинтезу та мінерального живлення рослин сорго; у другому – подано умови, матеріали та методику дослідження; у третьому – наведено результати власних досліджень та їх аналіз.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОСИНТЕЗУ ТА ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН СОРГО

1.1. Біологічна характеристика сорго та його господарське значення

Сорго звичайне двокольорове (Sorghum bicolor (L.) Moench) належить до родини тонконогових і є однією з найдавніших культур, що супроводжують землеробство посушливих регіонів. У сучасному рослинництві сорго розглядають не лише як страхову зернову культуру, а як самостійний високоадаптивний вид із широким спектром використання. В українській науковій літературі підкреслюється, що інтерес до соргових культур зріс у зв'язку зі змінами клімату, збільшенням частоти літніх посух і потребою у видах, які можуть ефективно використовувати вологу, переносити високі температури та забезпечувати стабільну врожайність на фоні нестійкого зволоження [1; 5; 9; 32; 45]. Саме тому сорго дедалі частіше розглядається як перспективний компонент польових сівозмін у Степу і Лісостепу України, а також як культура, зручна для порівняльних фізіолого-біохімічних досліджень, оскільки різні його форми й гібриди виразно відрізняються за морфобіологічними та продуктивними ознаками [25; 32; 53].

За походженням сорго пов'язують передусім з африканським центром формоутворення, де воно тривалий час відбиралося в умовах високих температур і нерівномірного вологозабезпечення. Історія поширення культури свідчить, що завдяки пластичності та здатності пристосовуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов сорго з часом набуло значення далеко за межами регіонів первинного формування. У працях, присвячених стану та перспективам культури в Україні, наголошується, що сьогодні сорго сприймається як багатофункціональна рослина: воно має значення для зерновиробництва, кормовиробництва, біоенергетики, а також для переробної галузі [32; 41; 45; 46;

73]. Такий широкий господарський профіль визначається поєднанням відносної невибагливості до умов вирощування, доброї реакції на поліпшення агрофону і високого потенціалу формування біомаси, зерна або цукристих соків залежно від напряму використання [5; 10; 11; 40; 68].

У систематичному відношенні сорго об’єднує кілька груп культурних форм, серед яких у виробництві та наукових дослідженнях найчастіше виділяють зернове, цукрове, віничне та трав’янисте сорго. Зернове сорго формує порівняно компактну волоть і щільне зерно, що використовується на продовольчі, кормові та технічні цілі. Цукрове сорго характеризується вищими рослинами, добре розвиненим соковитим стеблом і підвищеним вмістом розчинних вуглеводів у стебловому соку, завдяки чому його використовують на силос, зелений корм, сироп, біоетанол та інші продукти переробки [10; 11; 40; 45; 46]. У вітчизняних рекомендаціях і каталогах сортів та гібридів також підкреслюється господарська цінність соризу та інших міжвидових або сортотипових форм, які дають змогу розширювати напрями використання соргових культур залежно від потреб господарства [61; 73; 76; 77].

Морфологічно сорго є однорічною рослиною ярого типу розвитку з добре розвиненою мичкуватою кореневою системою, яка відзначається значною проникаючою здатністю та може використовувати вологу з глибших шарів ґрунту. Саме особливості кореневої системи, на думку багатьох авторів, належать до провідних чинників посухостійкості культури [1; 9; 32; 45]. Корені сорго здатні формувати велику поглинальну поверхню, порівняно довго зберігати фізіологічну активність і швидко реагувати на покращення умов живлення, що зумовлює не лише пристосувальне, а й продукційне значення цієї ознаки. Для рослин сорго характерне також воскове покриття надземних органів, яке зменшує непродуктивні втрати води і частково захищає тканини від перегрівання в суху та спекотну погоду [45; 47; 48].

Стебло сорго зазвичай прямостояче, виповнене або напіввиповнене паренхімою, інколи соковите, особливо у цукрових форм. Висота рослин істотно залежить від біологічних особливостей сорту або гібриду, умов вирощування, густоти стояння, забезпеченості вологою та елементами живлення [2; 13; 14; 20; 50]. Листки лінійно-ланцетні, з добре вираженою листковою пластинкою і піхвою, формують асиміляційний апарат, від ефективності якого значною мірою залежить майбутня продуктивність рослин. Генеративний орган представлений волоттю різної форми та щільності, а плід – зернівка, яка варіює за кольором, розміром, масою та хімічним складом. Таке поєднання ознак робить культуру зручною для селекційної роботи і для вивчення взаємозв’язків між морфологічними параметрами та фізіолого-біохімічними процесами [3; 32; 45; 61; 76].

Важливою біологічною особливістю сорго є його теплолюбність. Насіння починає проростати за досить високих температур ґрунту, а сходи є чутливими до заморозків, тому строки сівби мають бути узгоджені з термічним режимом ґрунту і повітря [8; 12; 30; 55; 58]. У той же час дорослі рослини характеризуються значною стійкістю до перегрівання, добре переносять високі денні температури і здатні зберігати ріст навіть у ті періоди, коли інші зернові культури істотно пригнічуються. Це пояснюється як особливостями будови листка та функціонування продихового апарату, так і типом фотосинтезу, притаманним сорго [21; 29; 47; 48]. Для практики рослинництва це означає, що культура краще реалізує свій потенціал у регіонах з достатнім тепловим ресурсом і може бути ефективною там, де кукурудза або ярі колосові культури страждають від літнього дефіциту вологи [9; 32; 52].

За відношенням до вологи сорго традиційно характеризують як посухостійку культуру. Однак така характеристика потребує уточнення: посухостійкість сорго не означає повної незалежності від водного режиму, а вказує на здатність рослин економно використовувати наявну вологу та

тимчасово пригальмовувати ріст у стресових умовах з подальшим відновленням за покращення забезпечення водою [9; 21; 29; 45]. Для культури характерні ксероморфні риси, глибоке проникнення коренів, восковий наліт, відносно повільний ріст у початкові фази та висока здатність до відновлення асиміляційної поверхні. Саме ці ознаки пояснюють її цінність для Південного і Північного Степу України, де опади в другій половині вегетації часто є недостатніми та нерівномірними [1; 4; 5; 9; 66; 72].

Разом із тим біологія сорго вимагає врахування особливостей початкового росту. На ранніх етапах органогенезу рослини розвиваються порівняно повільно, тому можуть сильніше пригнічуватися бур’янами, ніж інтенсивно стартуючі ярі культури. Це висуває підвищені вимоги до підготовки поля, якості сівби та системи догляду за посівами [1; 24; 51; 52]. У працях, присвячених оптимізації технологічних заходів вирощування сорго зернового, неодноразово підкреслюється, що вирівняні дружні сходи є важливою передумовою для формування продуктивного агроценозу, а густота стояння рослин прямо впливає на морфометричні показники, кущистість, площу листкової поверхні й майбутній урожай [1; 2; 13; 14; 26; 63].

Суттєвою біологічною перевагою сорго є його пластичність щодо ґрунтових умов. Культура здатна рости на чорноземах різного ступеня забезпеченості елементами живлення, на каштанових і навіть певною мірою на засолених або легших за гранулометричним складом ґрунтах, де інші культури демонструють нестійкі результати [15; 16; 24; 32; 34]. Проте висока адаптивність не скасовує потреби у раціональному живленні. За достатнього забезпечення азотом, фосфором, калієм та іншими елементами сорго формує потужніший листковий апарат, краще використовує фотосинтетично активну радіацію та продуктивніше накопичує суху речовину [10; 11; 18; 19; 33; 57]. Тому при розгляді культури як об’єкта наукових досліджень доцільно поєднувати оцінку її екологічної витривалості з аналізом реакції на оптимізацію агрофону.

Для узагальнення основних біологічних та господарських особливостей сорго доцільно подати їх у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Основні форми сорго, їх біологічні ознаки та напрями господарського використання

Форма сорго	**Біологічні та морфологічні ознаки**	**Основні напрями використання**
Зернове	Порівняно невисокі рослини, компактна або напіврозлога волоть, добре виповнене зерно, відносно швидке достигання.	Зерно на кормові, продовольчі й технічні цілі; комбікорми, крупа, борошно, крохмаль.
Цукрове	Високорослі рослини з соковитим стеблом, значне накопичення розчинних вуглеводів, потужна листостеблова маса.	Зелений корм, силос, сироп, біоетанол, біоенергетична сировина.
Віничне	Тонкі стебла та довга пружна волоть спеціальної будови, придатна для технічної переробки.	Виробництво віників, щіток, технічних виробів.
Трав’янисте	Інтенсивне відростання після скошування, значна облистненість, висока кормова продуктивність.	Зелений корм, сіно, сінаж, пасовищне використання.

Наведені дані свідчать, що сорго поєднує кілька господарсько цінних форм, які відрізняються напрямом використання, морфологічною будовою та біологічними властивостями. Саме ця різноманітність зумовлює інтерес до культури як до об’єкта комплексних фізіолого-біохімічних досліджень [3; 32; 45; 73; 76].

У господарському аспекті зернове сорго цінується насамперед за універсальність використання зерна. Воно може застосовуватися у комбікормовому виробництві, для годівлі птиці, свиней і великої рогатої худоби, а окремі сорти та гібриди придатні також для виробництва круп, борошна та крохмалю [5; 32; 38; 45; 52]. У наукових публікаціях наголошується, що якість зерна істотно залежить від генетичних особливостей гібриду та умов вирощування, зокрема системи удобрення, ширини міжрядь і площі живлення [4;

30; 31; 50]. Для аграрного виробництва це має принципове значення, оскільки дозволяє спрямовувати технологію не лише на збільшення врожаю, а й на поліпшення товарних та кормових властивостей продукції.

Цукрове сорго має дещо інший напрям господарського використання. Його стебла накопичують значну кількість розчинних цукрів, а надземна маса відзначається високою кормовою цінністю. В умовах нестійкого зволоження воно часто розглядається як реальна альтернатива або доповнення до кукурудзи на силос, особливо в господарствах, де ризик літньої посухи є підвищеним [10; 11; 40; 67; 68; 74; 75]. Сорго цукрове придатне для використання у зеленому конвеєрі, для силосування, виробництва сиропів та біоетанолу. Саме тому культура має значення не лише у кормовиробництві, а й у біоенергетичному секторі, де важливо поєднати високу врожайність біомаси з відносно низькими витратами води та прийнятною реакцією на добрива [10; 11; 40; 46; 73].

Господарська цінність сорго істотно посилюється його роллю в адаптивному рослинництві. Для господарств Степу України важливим є не лише абсолютний рівень урожаю, а й його стабільність за роками. Саме ця риса часто визначає доцільність включення культури до сівозміни. Автори, які вивчали сорго в умовах Північного, Південного та Північно-східного Степу, дійшли висновку, що за правильно підібраних елементів технології воно здатне забезпечувати економічно виправдану врожайність навіть у роки з обмеженим зволоженням [1; 4; 5; 13; 25; 66; 71]. У цьому контексті сорго є не просто «резервною» культурою, а важливим елементом стабілізації кормової і зернової бази, особливо в умовах кліматичних ризиків [9; 32; 52; 72].

Окремої уваги заслуговує гібридний склад сучасного сортименту сорго. За даними вітчизняних каталогів і ринку сортів, селекція культури в Україні орієнтується на створення гібридів із підвищеною продуктивністю, вирівняністю, адаптивністю та придатністю до механізованого збирання [3; 61; 76; 77]. У порівняльних дослідженнях різних гібридів нерідко встановлюють

суттєві відмінності за тривалістю міжфазних періодів, висотою рослин, облистненістю, масою зерна з волоті, реакцією на густоту стояння та мінеральне живлення [2; 4; 25; 26; 50; 60]. Саме ця внутрішньовидова різноманітність робить гібриди сорго зручним об’єктом для аналізу процесів фотосинтезу і живлення, адже дозволяє простежувати, як зміна біологічного типу рослини позначається на реалізації потенціалу продуктивності.

Важливі для характеристики культури господарсько-біологічні переваги сорго можна систематизувати в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Біологічні переваги сорго як адаптивної культури

Ознака	**Прояв у рослин сорго**	**Практичне значення**
Посухостійкість	Економне використання вологи, восковий наліт, глибша коренева система, здатність відновлювати ріст після стресу.	Стабільніше формування врожаю в умовах нестійкого зволоження.
Теплолюбність	Активний ріст і висока продуктивність за підвищених температур повітря та ґрунту.	Перспективність вирощування в регіонах зі значним тепловим ресурсом.
Пластичність	Здатність адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов і технологічних режимів.	Можливість вирощування в Степу, Лісостепу та на менш окультурених ґрунтах.
Багатофункціональність	Формування зерна, зеленої маси, соковитих стебел або технічної продукції залежно від форми культури.	Розширення сфер використання в кормовиробництві, харчовій та переробній галузях.
Гібридна мінливість	Помітна різниця між сортами й гібридами за тривалістю вегетації, висотою рослин, облистненістю та продуктивністю.	Можливість добору вихідного матеріалу для селекції та фізіологічних досліджень.

Отже, біологічні властивості сорго тісно пов’язані з його господарським значенням, а узагальнення цих ознак дає змогу чіткіше окреслити місце культури в адаптивному рослинництві України [1; 5; 9; 32; 53; 73].

Важливою складовою біологічної характеристики сорго є його фотоперіодична реакція та тривалість вегетаційного періоду. Серед сучасних сортів і гібридів наявні зразки різних груп стиглості, що дає змогу добирати їх

під конкретні ґрунтово-кліматичні умови та виробничі завдання [32; 53; 61; 76]. Для наукового аналізу це важливо тому, що темпи росту, тривалість активного функціонування листкового апарату та характер накопичення сухої речовини у скоростиглих і середньостиглих форм можуть суттєво відрізнятися. Відповідно, порівняння гібридів за показниками фотосинтетичної діяльності або живлення доцільно здійснювати з урахуванням групи стиглості, щоб уникнути формальних зіставлень морфологічно і фізіологічно неоднорідного матеріалу [1; 25; 53; 59].

Біологічний потенціал сорго значною мірою пов’язаний із його здатністю формувати потужну надземну масу за відносно обмеженого водоспоживання. Ця особливість особливо цінна для господарств, орієнтованих на тваринництво або біоенергетику. Дослідження сумісних і чистих посівів, а також робіт, присвячених густоті стояння і площі живлення, свідчать, що за оптимізації структури агроценозу культура може ефективно використовувати площу живлення, формуючи значну листостеблову масу без різкого погіршення її якості [2; 20; 40; 61; 69]. Це ще раз підтверджує, що господарське значення сорго визначається не якоюсь однією ознакою, а поєднанням екологічної витривалості, морфологічної пластичності та технологічної універсальності.

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору господарське значення сорго посилюється також через потребу диверсифікувати сировинну базу для кормів і переробки. Зростання вартості енергоносіїв, нестабільність погодних умов та необхідність зменшувати виробничі ризики змушують господарства переглядати традиційні підходи до структури посівних площ. У цьому аспекті сорго є культурою, яка може поєднати вимоги економічної доцільності й екологічної адаптивності [9; 24; 45; 52; 73]. Не випадково в рекомендаціях наукових установ НААН України культура розглядається як одна з найперспективніших для аридизованих регіонів, а в дисертаційних дослідженнях останніх років значна увага приділяється саме технологічним прийомам, що дозволяють повніше реалізувати її біологічний потенціал [1; 5; 25; 53; 72; 76].

Підсумовуючи наведене, слід зазначити, що сорго є поліфункціональною культурою з високою біологічною пластичністю та виразною господарською цінністю. Його морфологічні та фізіологічні особливості, зокрема теплолюбність, відносна посухостійкість, потужна коренева система, здатність до ефективного використання ґрунтової вологи та поживних речовин, створюють передумови для стабільного формування врожаю в складних погодних умовах [1; 9; 15; 21; 32; 45]. Саме тому сорго, а особливо його сучасні гібриди, становить значний інтерес як для виробництва, так і для дослідження процесів фотосинтезу та мінерального живлення рослин, що безпосередньо визначають рівень і якість продукції [4; 25; 53; 57; 59].

Суттєвим елементом господарського значення сорго є його здатність забезпечувати різні галузі агропромислового комплексу сировиною. Зерно використовується у годівлі тварин, у виробництві комбікормів, круп'яної та крохмале-патокової продукції; зелена маса й силос мають значення для кормової бази; цукрові форми можуть бути джерелом соку для технічної переробки; віничне сорго застосовується у спеціалізованих напрямах виробництва [5; 10; 11; 32; 45; 46; 73]. Для сучасного господарства важливо й те, що сорго дає змогу більш гнучко реагувати на виробничі виклики: за потреби посилити кормовий напрям акцент роблять на цукрових або силосних формах, а при орієнтації на ринок фуражного зерна – на зернових гібридах. Така універсальність значною мірою пояснює, чому культура посідає дедалі помітніше місце в наукових програмах, пов'язаних із адаптивним рослинництвом [32; 52; 73; 76].

В умовах України сорго дедалі частіше оцінюють як культуру стратегічного резерву для посушливих років. Проте таке означення є дещо звуженим. Публікації останніх років переконливо показують, що за належно підібраної технології та сучасного гібридного складу сорго здатне бути не резервною, а основною культурою для окремих господарств південних і східних регіонів [4; 5; 9; 25; 53; 71]. При цьому увага дослідників зміщується від простого

опису посухостійкості до більш глибокого вивчення механізмів адаптації: особливостей росту, формування листкової поверхні, накопичення сухої речовини, ефективності засвоєння добрив. Такий підхід є методологічно важливим, адже дозволяє оцінювати культуру не за окремими зовнішніми ознаками, а за комплексом біологічних характеристик, що визначають її поведінку в агроекосистемі [25; 53; 57; 59].

Агрономічна цінність сорго пов’язана також з його місцем у сівозміні. За даними навчальних і рекомендаційних видань, культуру доцільно розміщувати після попередників, що залишають поле чистим від бур’янів і створюють задовільний запас продуктивної вологи [24; 41; 51; 52; 73]. У посушливих регіонах сорго може виконувати ґрунтозахисну функцію, оскільки його коренева система сприяє поліпшенню структури орного шару, а післяжнивні рештки залишають на полі значну масу органічної речовини. У той самий час повільний стартовий ріст культури вимагає доброго фітосанітарного стану поля, тому її не слід розглядати як рослину, яка здатна компенсувати грубі прорахунки в системі основного обробітку чи захисту від бур’янів [1; 24; 51; 52]. Це ще раз підкреслює, що біологічна пластичність сорго поєднується з потребою в грамотній технологічній організації посіву.

У формуванні врожаю важливу роль відіграють і репродуктивні особливості культури. Волоть сорго може бути більш або менш розлогою, щільною, овальною чи циліндричною, а ці морфологічні відмінності нерідко пов’язані з сортовими та гібридними особливостями [3; 45; 61; 76]. На практиці це позначається на озерненості волоті, стійкості до обсипання, рівномірності достигання та придатності до механізованого збирання. Для зернового напряму використання важливо, щоб рослини формували добре виповнене зерно з оптимальним вмістом крохмалю та білка, тоді як для кормового або біоенергетичного напряму більший інтерес становлять параметри стебла, облистненості й загальної сирої маси [4; 30; 31; 45; 73]. Таким чином, навіть на

рівні генеративних органів простежується багатопланове господарське значення сорго як культури з різними векторами використання.

Біологічна характеристика сорго буде неповною без урахування особливостей його проходження фаз росту і розвитку. У польових умовах рослини проходять етапи проростання, сходів, кущіння або слабкого галуження, виходу в трубку, викидання волоті, цвітіння, формування та достигання зерна. Тривалість цих фаз істотно залежить від групи стиглості, теплових ресурсів року, строків сівби та рівня забезпеченості вологою і поживними речовинами [1; 12; 25; 53; 58]. Для дослідника це важливо з двох причин. По-перше, кожна фаза пов’язана з певним рівнем потреби в елементах живлення і воді. По-друге, ритм проходження онтогенезу визначає, коли саме у рослини буде максимально функціонувати асиміляційний апарат і на який період припаде найбільше навантаження на систему донорно-акцепторних відносин. Саме тому в роботах, присвячених сорго, біологічні особливості культури розглядають у тісному зв’язку з екологічними умовами конкретного регіону [1; 25; 53].

1.2. Особливості процесу фотосинтезу в рослин сорго

Фотосинтез є центральним процесом рослинного організму, завдяки якому відбувається перетворення енергії світла на енергію хімічних зв’язків органічних речовин. У фізіології рослин його розглядають як основу формування біомаси, врожаю та всього продукційного процесу [21; 22; 29; 36; 47; 48]. Для культур польового типу фотосинтез має не лише загальнобіологічне, а й безпосереднє господарське значення, оскільки через ефективність функціонування асиміляційного апарату визначаються накопичення сухої речовини, формування генеративних органів і кінцева продуктивність посіву. Саме тому в сучасному землеробстві продукційний потенціал культури дедалі частіше оцінюють через інтегральні показники фотосинтетичної діяльності: площу листкової поверхні,

тривалість її активного функціонування, фотосинтетичний потенціал і чисту продуктивність фотосинтезу [21; 36; 37; 48; 54; 55].

Для сорго питання фотосинтезу є особливо важливим, оскільки ця культура належить до С4-рослин. Це означає, що фіксація вуглекислого газу в неї відбувається за іншим біохімічним механізмом, ніж у більшості помірних зернових культур, які є С3-видами [21; 29; 36; 47; 48]. С4-тип фотосинтезу забезпечує вищу ефективність використання CO2, кращу роботу фотосинтетичного апарату за високих температур і відносно вищу водокористувальну ефективність. Для сорго це є однією з ключових причин його успішного вирощування в жарких і посушливих умовах [9; 21; 32; 45; 48]. У теоретичному плані така особливість робить культуру цінним модельним об’єктом для аналізу зв’язку між будовою листка, активністю ферментних систем, водним режимом і продуктивністю.

Особливості фотосинтетичного апарату сорго доцільно розкрити через порівняння характерних ознак С4-типу фотосинтезу, що подано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Особливості фотосинтезу сорго як С4-рослини

Показник	**Характеристика для сорго**	**Фізіологічне значення**
Тип фотосинтезу	С4-тип із просторовим розмежуванням первинної фіксації CO2 і циклу Кальвіна.	Підвищення ефективності використання вуглекислого газу та зменшення фотодихання.
Будова листка	Наявність кранц-анатомії та функціонального поділу між мезофілом і клітинами обкладинки.	Кращі умови для концентрування CO2 у місці роботи Rubisco.
Температурний оптимум	Вищий, ніж у багатьох С3-культур.	Збереження високої фотосинтетичної активності в жарку погоду.
Водокористування	Більш економне витрачання води на формування одиниці сухої речовини.	Краща пристосованість до посушливих умов вирощування.
Реакція на освітлення	Висока ефективність використання інтенсивного сонячного випромінювання.	Формування значного фотосинтетичного потенціалу в умовах відкритого агрофітоценозу.

Таблиця 1.3 підтверджує, що фотосинтетична система сорго еволюційно пристосована до умов підвищеної температури та дефіциту вологи, що особливо важливо для сучасного землеробства південних регіонів України [21; 29; 36; 47; 48].

Анатомічною основою С4-фотосинтезу є особлива будова листка, яку в літературі часто описують як кранц-анатомію. У листках сорго клітини мезофілу та обкладинки провідних пучків функціонально диференційовані: первинне зв’язування вуглекислого газу відбувається в мезофілі, після чого продукти переносяться до клітин обкладинки, де реалізується цикл Кальвіна [21; 29; 36; 47]. Така просторова організація процесу зменшує втрати на фотодихання, що особливо важливо за високих температур і значної освітленості. У практичному аспекті це означає, що сорго краще за багато інших культур використовує умови жаркого літа, коли рівень сонячної радіації високий, а вологозабезпечення обмежене [9; 32; 45; 47].

Однак висока потенційна ефективність фотосинтезу сорго реалізується лише за умови гармонійного розвитку листкового апарату. Для формування врожаю важливе не лише миттєве значення інтенсивності фотосинтезу окремого листка, а й вся динаміка створення асиміляційної поверхні в посіві [21; 36; 37; 48]. У вітчизняних дослідженнях неодноразово показано, що на рівні агроценозу провідну роль відіграють площа листкової поверхні, тривалість її активного функціонування та співвідношення між наростанням вегетативної маси і генеративних органів [20; 30; 54; 55; 57; 59]. Якщо листковий апарат формується надто повільно, рослини гірше перехоплюють фотосинтетично активну радіацію; якщо ж він надмірно загущений, посилюється взаємне затінення і зменшується ефективність роботи нижніх ярусів листків [2; 13; 14; 20; 26].

На інтенсивність фотосинтетичної діяльності сорго впливає цілий комплекс чинників, серед яких провідними є освітленість, температура, водний режим, забезпечення елементами живлення, густота стояння рослин і генотипові

особливості сорту або гібриду [1; 21; 29; 36; 45; 54]. Світло для сорго є визначальним фактором, оскільки С4-тип фотосинтезу добре реалізується за високої інтенсивності сонячної радіації. Водночас сама по собі інтенсивна освітленість не гарантує високої продуктивності: потрібне оптимальне розміщення рослин у посіві, щоб листкова поверхня перехоплювала якомога більшу частку радіації без надмірного затінення [2; 20; 26; 54; 61]. Саме тому способи сівби, ширина міжрядь і норма висіву в дослідженнях сорго нерідко аналізуються через їхній вплив на фотосинтетичні показники [2; 13; 14; 26; 54].

Температурний фактор для сорго має подвійне значення. З одного боку, культура потребує достатнього тепла на початку вегетації; з іншого — у період активного росту й формування врожаю підвищені температури для неї є менш критичними, ніж для багатьох інших зернових [1; 12; 21; 29; 45]. Саме тому за умов жаркого літа сорго здатне підтримувати відносно високу активність фотосинтетичного апарату. Водночас слід враховувати, що тривале поєднання екстремальної спеки з глибоким дефіцитом ґрунтової вологи все ж таки обмежує асиміляційні процеси, оскільки зменшується тургор тканин, посилюється закриття продихів і сповільнюється відтік асимілятів [21; 29; 36; 47]. Отже, посухостійкість культури не усуває потреби в оптимізації умов її росту.

Значну роль у фотосинтетичній діяльності сорго відіграє водний режим. Вода потрібна не лише як субстрат фотосинтезу, а і як умова підтримання тургору, відкривання продихів, транспорту мінеральних елементів і нормального функціонування ферментних систем [21; 29; 47]. За водного дефіциту у рослин зменшується площа листкової поверхні, уповільнюється її наростання, знижується вміст хлорофілу і скорочується тривалість активної роботи нижніх листків. Разом із тим для сорго характерна вища, ніж у багатьох польових культур, здатність зберігати функціонування асиміляційного апарату в умовах помірного водного стресу, що і пояснює його продукційну стійкість у посушливі роки [9; 21; 32; 45; 48].

В агрофітоценозах сорго суттєве значення має архітектоніка рослин і розміщення листків у просторі. Висота рослин, кількість листків, кут їх відходження від стебла, облистненість та інші морфометричні параметри прямо впливають на перехоплення сонячної радіації [13; 14; 20; 56; 60]. З цього погляду гібриди сорго є цінним матеріалом для дослідження, оскільки вони нерідко помітно різняться за темпами росту, формою крони та співвідношенням між вегетативною і генеративною частинами. У роботах, присвячених біометричним показникам і структурі врожайності, підкреслено, що саме через зміни в архітектоніці посіву густота стояння, спосіб сівби та площа живлення здатні опосередковано впливати на фотосинтетичну продуктивність [2; 13; 14; 56; 61].

У фізіології рослин давно встановлено, що продуктивність посіву визначається не максимальною миттєвою інтенсивністю фотосинтезу, а збалансованістю процесів асиміляції, росту і відтоку пластичних речовин до органів-акцепторів [21; 29; 36; 37]. Ця закономірність повною мірою стосується і сорго. Якщо рослина інтенсивно фотосинтезує, але не має достатнього попиту на асиміляти з боку точки росту, волоті чи зерна, частина потенціалу не реалізується в урожай. Тому у теоретичному осмисленні фотосинтезу сорго важливо враховувати донорно-акцепторні відносини, про які докладно пише Д. А. Киризій [36; 37]. Для культури, що формує і значну вегетативну масу, і генеративний урожай, співвідношення між донорними та акцепторними органами має особливе значення, оскільки визначає напрям використання асимілятів у різні фази онтогенезу [36; 37; 48].

У виробничих і польових дослідженнях фотосинтетичну діяльність сорго зазвичай оцінюють через низку інтегральних показників. До них належать площа листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал посіву, чиста продуктивність фотосинтезу, накопичення сухої речовини, а в окремих випадках – вміст пластидних пігментів або індекси зеленості [6; 7; 22; 23; 36; 49]. Значення цих показників полягає в тому, що вони дозволяють перейти від загальних міркувань

про «добрий» або «поганий» стан посіву до кількісної оцінки роботи фотосинтетичного апарату. Саме такий підхід простежується у працях Л. А. Правдивої, де технологічні прийоми оцінюються не лише за врожайністю, а й за змінами площі листкової поверхні та фотосинтетичної продуктивності сорго зернового [54; 55; 57; 59].

Встановлено, що строки сівби істотно впливають на умови формування асиміляційного апарату. Занадто рання сівба у недостатньо прогрітий ґрунт затримує появу сходів, погіршує стартовий ріст і може призвести до нерівномірного розвитку рослин, тоді як запізнення з посівом зсуває критичні фази розвитку на період із вищим температурним і водним стресом [12; 30; 55; 58]. Тому оптимізація строків сівби має безпосереднє значення для фотосинтеза, оскільки визначає, за яких поєднань температури, освітлення та зволоження розвиватиметься листковий апарат. Аналогічно діє і глибина загортання насіння: вона впливає на польову схожість, енергію початкового росту й вирівняність посіву, а отже – і на подальшу фотосинтетичну діяльність агроценозу [8; 12; 55; 63].

Вплив способу сівби та густоти стояння рослин на фотосинтез сорго має складний характер. З одного боку, збільшення густоти підвищує сумарну площу листкової поверхні на одиниці площі поля. З іншого — надмірне загущення погіршує освітлення нижніх ярусів листя, посилює конкуренцію за вологу й елементи живлення, унаслідок чого фотосинтез окремої рослини слабшає [2; 13; 14; 20; 26; 61]. Саме тому в багатьох дослідженнях оптимум урожайності збігається не з максимальною, а з помірно збалансованою густотою стояння, коли сумарна асиміляційна поверхня достатньо велика, але ще не виникає надмірне взаємне затінення. Для гібридів із різною висотою та облистненістю цей оптимум може відрізнятися [2; 13; 14; 50; 60].

Різноспрямований вплив зовнішніх і агротехнічних чинників на фотосинтетичну діяльність сорго узагальнено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Основні чинники, що впливають на фотосинтетичну діяльність рослин сорго

Чинник	**Прояв впливу на фотосинтез**	**Ймовірний результат для продуктивності**
Освітлення	Визначає інтенсивність світлової фази та рівень використання ФАР.	Зміна накопичення сухої речовини й темпів росту рослин.
Температура	За оптимальних значень активізує ферментативні реакції; за надмірних — пригнічує фотосинтез.	Прискорення або уповільнення формування врожаю.
Вологозабезпечення	Регулює тургор, роботу продихів і транспорт асимілятів.	Збереження або зниження листкової поверхні та фотосинтетичної активності.
Мінеральне живлення	Впливає на синтез хлорофілу, ферментативну активність і структуру листка.	Підвищення продуктивності фотосинтезу та краща реалізація потенціалу гібриду.
Густота стояння	Змінює освітленість листків, конкуренцію між рослинами та архітектоніку посіву.	Оптимізація або погіршення використання світла в посіві.
Строки й спосіб сівби	Визначають тривалість роботи асиміляційного апарату і умови його формування.	Зміна фотосинтетичного потенціалу та врожайності.

Таким чином, фотосинтетична діяльність сорго формується під одночасним впливом біологічних властивостей культури та агротехнічних прийомів, що визначають архітектоніку посіву й ресурсне забезпечення рослин [13; 14; 26; 30; 54; 55; 57].

Не менш важливим є зв’язок фотосинтезу сорго з мінеральним живленням. Саме забезпеченість азотом, фосфором, калієм, магнієм та іншими елементами визначає синтез хлорофілу, активність ферментів фотосинтетичного циклу, розвиток листкової поверхні та інтенсивність транспорту асимілятів [15; 16; 18; 19; 34; 39]. У роботах, присвячених удобренню сорго, неодноразово показано, що за поліпшення мінерального живлення зростає фотосинтетичний потенціал посіву і збільшується накопичення сухої речовини [10; 11; 30; 33; 57]. Це свідчить, що фотосинтез сорго не можна розглядати ізольовано від системи

удобрення: оптимізація живлення виступає одним із найдієвіших шляхів керування ефективністю асиміляційного апарату.

Особливу увагу в дослідженнях останніх років приділено фотосинтетичній продуктивності сорго як інтегральному показнику, що поєднує біологічні особливості гібриду та реакцію посіву на технологічні фактори. У працях Л. А. Правдивої і співавторів показано, що за рахунок зміни строків сівби, способу сівби та системи удобрення істотно змінюються площа листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал і чиста продуктивність фотосинтезу [54; 55; 57; 59]. Для теоретичного розділу дипломної роботи ці матеріали є важливими, оскільки вони дозволяють перейти від загальнофізіологічної характеристики процесу до конкретних агрономічних закономірностей, встановлених у вітчизняних умовах. Таким чином, фотосинтез сорго постає не як абстрактна функція листка, а як динамічна система, чутлива до структури посіву, погодних умов та живлення.

У формуванні зернової продуктивності сорго велике значення має співвідношення між раннім накопиченням вегетативної маси та її подальшим трансформуванням у генеративний урожай. На початкових етапах вегетації культура створює асиміляційний апарат, від якого залежить подальше забезпечення репродуктивних органів пластичними речовинами. Під час виходу в трубку, викидання волоті й наливу зерна змінюється структура акцепторів, а фотосинтетична активність верхніх листків набуває особливої ваги [21; 29; 36; 37]. У цьому плані важливі дослідження біометричних показників і структури врожаю, де показано, що продуктивніші гібриди, як правило, мають краще збалансоване поєднання висоти рослин, площі листкового апарату та елементів продуктивності волоті [4; 26; 56; 60].

Розглядаючи фотосинтез сорго, не можна оминути і питання якості посіву. Польова схожість, рівномірність розміщення рослин, своєчасний розвиток міжфазних періодів формують той «каркас» агроценозу, в межах якого реалізується фотосинтетичний потенціал [1; 8; 27; 28; 63; 64]. Якщо посів

зріджений або нерівномірний, частина сонячної радіації не використовується повністю; якщо ж він надмірно загущений, рослини вступають у загострену конкуренцію. Тому теоретичне вивчення фотосинтезу рослин сорго має включати не лише біохімічні та фізіологічні аспекти, а й агроценотичний рівень організації, де ключовими є просторове розміщення рослин, тривалість роботи листя та узгодженість ростових процесів [1; 54; 55; 61].

Отже, особливості фотосинтезу в рослин сорго зумовлені поєднанням С4-типу асиміляції, ксероморфних рис і високої залежності продукційного процесу від архітектоніки посіву. Для культури характерні ефективне використання високої сонячної радіації та тепла, відносна стійкість фотосинтетичного апарату до помірного водного дефіциту і виразна реакція на умови мінерального живлення та структуру агроценозу [21; 29; 36; 45; 48; 54; 57; 59]. Саме тому дослідження фотосинтетичної діяльності гібридів сорго є одним із найважливіших підходів до пояснення відмінностей у їх рості, розвитку та врожайності, а також до обґрунтування ефективних елементів технології вирощування [1; 4; 25; 53; 60].

На рівні агрофітоценозу ефективність фотосинтезу пов’язана з часовим розподілом роботи листкового апарату. Якщо посів занадто швидко входить у фазу старіння, фотосинтетичний потенціал використовується не повністю. Якщо ж активне функціонування листя зберігається довше, збільшується можливість накопичення органічної речовини та формування врожаю [21; 36; 37; 54; 55]. У цьому контексті поняття фотосинтетичного потенціалу є надзвичайно зручним, оскільки поєднує площу листя з тривалістю його активного функціонування. Для сорго цей показник має особливу інформативність: він дозволяє зіставляти між собою гібриди різної стиглості та різні технологічні варіанти не за одним моментним зрізом, а за інтегральним результатом роботи листкового апарату протягом значної частини вегетації [54; 55; 57; 59].

Для теоретичного аналізу важливо також враховувати, що фотосинтетичний апарат сорго в умовах посухи працює за принципом компромісу між збереженням води й підтриманням асиміляції. Закривання продихів зменшує втрати води, але одночасно обмежує надходження вуглекислого газу. С4-тип фотосинтезу частково пом’якшує цей конфлікт, дозволяючи ефективніше використовувати внутрішньолистковий CO2 [21; 29; 45; 47; 48]. Саме тому сорго вважають культурою з вищою водокористувальною ефективністю порівняно з багатьма іншими польовими видами. У прикладному сенсі це означає, що навіть за однакового запасу вологи сорго може продуктивніше перетворювати її на суху речовину та врожай. Така властивість має особливе значення для степових регіонів України [9; 45; 52].

Сорго характеризується тісним зв’язком між фотосинтезом і морфогенезом. Якщо на ранніх етапах рослини формують достатню площу листкової поверхні, це посилює притік асимілятів до точок росту, що, своєю чергою, стимулює подальший розвиток надземної маси. Виникає своєрідний позитивний зворотний зв’язок, коли морфогенез підсилює фотосинтез, а фотосинтез підтримує морфогенез [21; 36; 37; 48]. Водночас цей зв’язок може порушуватися за дефіциту вологи, елементів живлення або через надмірне загущення посіву. У такому випадку рослини частіше витрачають асиміляти на підтримання життєдіяльності й конкурентну боротьбу, ніж на формування продуктивних органів [2; 13; 14; 26; 54]. Таким чином, дослідження фотосинтезу сорго потребує обов’язкового врахування морфологічних параметрів посіву.

Фізіологічну основу фотосинтетичної продуктивності становить не лише площа листків, а і якісний стан пігментного апарату. Вміст хлорофілу, співвідношення хлорофілів і каротиноїдів, стабільність хлоропластів за стресових умов і тривалість збереження зеленого листя визначають, наскільки повно рослина зможе використати сонячну радіацію [6; 7; 22; 29; 47; 49]. Для сорго це має особливе значення в другій половині літа, коли на фоні спеки й

нестійкого зволоження частина листків може передчасно старіти. Чим довше посів зберігає активне зелене листя, тим більше шансів на повноцінний налив зерна або подальше накопичення вуглеводів у стеблах. Тому під час оцінки гібридів сорго науковці звертають увагу не лише на абсолютну інтенсивність фотосинтезу, а й на стабільність роботи листкового апарату в часі [25; 53; 59].

З теоретичного погляду важливо враховувати, що фотосинтетична система сорго змінює свою ефективність упродовж онтогенезу. На початкових етапах розвитку провідне значення має швидкість утворення перших справжніх листків і перехід від використання запасних речовин насінини до повноцінної автотрофії [21; 29; 47; 48]. Надалі основний внесок у продукційний процес починає робити збільшення сумарної листкової поверхні та тривалість функціонування верхніх листків. У період генеративного розвитку асиміляція тісно пов’язується з потребами волоті та зерна, а тому навіть незначні стреси в цей час можуть сильніше позначатися на майбутньому врожаї, ніж на ранніх фазах. Саме така поетапність фотосинтетичної діяльності пояснює, чому одна й та сама технологічна дія може по-різному впливати на сорго залежно від часу її застосування [36; 37; 54; 55; 59].

1.3. Особливості мінерального живлення рослин сорго

Мінеральне живлення є однією з базових умов існування та продуктивного функціонування рослинного організму. Воно забезпечує надходження хімічних елементів, без яких неможливі синтез органічних речовин, побудова клітинних структур, регуляція ферментативних реакцій і підтримання водного режиму [15; 16; 17; 18; 19; 34; 39; 79; 80]. Для польових культур мінеральне живлення потрібно розглядати не як ізольоване внесення добрив, а як динамічну систему взаємодії ґрунту, рослини, погоди й технологічних прийомів. Стосовно сорго це особливо важливо, оскільки культура поєднує відносну витривалість до

несприятливих умов з вираженою відповіддю на поліпшення агрофону [10; 11; 15; 18; 19; 33; 57]. Тобто сорго здатне рости в менш сприятливих умовах, але для реалізації високого продукційного потенціалу воно потребує збалансованого забезпечення елементами живлення.

У сучасній агрохімії мінеральне живлення розглядають як процес надходження, поглинання, транспортування та використання рослиною елементів, які виконують структурні, енергетичні, каталізаторні й осмотичні функції [15; 16; 17; 18; 19; 34]. Для сорго, як і для інших зернових культур, найважливішими макроелементами є азот, фосфор і калій. Проте не менш суттєвим є забезпечення кальцієм, магнієм, сіркою та мікроелементами, оскільки вони беруть участь у формуванні клітинних оболонок, функціонуванні мембран, синтезі хлорофілу, диханні та фотосинтезі [15; 16; 34; 35; 39; 42; 43]. Роль мінерального живлення в сорго особливо помітна на тлі змін клімату, коли навіть посухостійкі культури за нестачі елементів живлення не можуть повною мірою компенсувати вплив абіотичних стресів.

Азот традиційно вважають провідним елементом живлення для зернових культур, оскільки він входить до складу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот, хлорофілу та багатьох ферментів [15; 16; 34; 39; 79]. Для сорго достатнє азотне забезпечення важливе насамперед через прямий зв’язок азоту з формуванням листкової поверхні та фотосинтетичною активністю. За нестачі азоту листки стають дрібнішими, світлішають, раніше старіють, а рослини уповільнюють ріст і гірше формують волоть або стеблову масу [15; 16; 18; 19; 39]. Водночас надлишок азоту за несприятливого водного режиму може зумовлювати надмірний розвиток вегетативної маси, затягування вегетації та нераціональне використання вологи. Отже, азотне живлення сорго має бути не максимальним, а збалансованим щодо інших елементів і реальних умов зволоження [17; 18; 19; 33; 57].

Для систематизації ролі основних макро- та мезоелементів у формуванні

рослин сорго наведемо таблицю 1.5.

Таблиця 1.5

Фізіологічна роль основних елементів живлення в рослин сорго

Елемент	**Основні функції в рослині**	**Прояв дефіциту або недостатнього забезпечення**
Азот (N)	Синтез білків, хлорофілу, ферментів; формування листкового апарату.	Пригнічення росту, бліде листя, зниження інтенсивності фотосинтезу.
Фосфор (P)	Енергетичний обмін, розвиток кореневої системи, прискорення дозрівання.	Слабкий ріст коренів, затримка розвитку, зниження продуктивності.
Калій (K)	Регуляція водного режиму, робота продихів, транспорт вуглеводів.	Погіршення посухостійкості, ослаблення тургору, порушення відтоку асимілятів.
Магній (Mg)	Складова хлорофілу, активація ферментів фотосинтезу.	Зниження вмісту хлорофілу, хлороз листків, послаблення фотосинтетичної функції.
Сірка (S)	Синтез сірковмісних амінокислот, участь у ферментативних процесах.	Порушення білкового обміну, пригнічення росту молодих органів.

Найбільшу увагу в системі живлення сорго приділяють азоту, фосфору і калію, проте повноцінне функціонування асиміляційного апарату неможливе без достатнього забезпечення магнієм, сіркою та іншими елементами [15; 16; 18; 19; 34; 39].

Фосфор відіграє вирішальну роль у процесах енергетичного обміну, коренеутворення, прискорення розвитку та підвищення стійкості рослин до стресів [15; 16; 17; 18; 34; 39]. Для сорго достатнє фосфорне живлення особливо важливе на ранніх етапах онтогенезу, коли формуються коренева система, інтенсивність початкового росту та передумови подальшої продуктивності. За дефіциту фосфору рослини довше залишаються слабкими, гірше використовують ґрунтову вологу і повільніше переходять до активного наростання асиміляційної поверхні [15; 18; 34]. У господарствах, де сорго вирощують на бідніших або менш окультурених ґрунтах, фосфорні добрива нерідко відіграють пускову роль для формування вирівняних, життєздатних посівів [17; 24; 42].

Калій забезпечує регуляцію осмотичних процесів, підтримання тургору, роботу продихів, транспорт вуглеводів і підвищення посухостійкості рослин [15; 16; 17; 18; 39; 79]. Для культури, що вирощується переважно в умовах ризику водного дефіциту, калійне живлення має особливе значення. За достатньої кількості калію рослини сорго краще регулюють водний режим, ефективніше використовують ґрунтову вологу та менш чутливо реагують на короткочасне перегрівання [15; 18; 39]. Разом із тим агрохімічна практика показує, що доцільність і ефективність калійних добрив залежать від початкової забезпеченості ґрунту обмінним калієм, співвідношення з азотом і фосфором, а також від напряму використання культури – на зерно чи на зелену масу [17; 19; 34; 78; 80].

Крім основних макроелементів, важливими для сорго є кальцій, магній, сірка та мікроелементи. Магній входить до складу молекули хлорофілу, тому прямо пов’язаний з ефективністю фотосинтезу. Сірка необхідна для синтезу деяких амінокислот і ферментів. Мікроелементи, зокрема цинк, марганець, бор, залізо, мідь, у невеликих кількостях регулюють перебіг низки ферментативних реакцій і впливають на ріст та стійкість рослин [15; 16; 34; 35; 39; 42; 43]. У реальних виробничих умовах нестача цих елементів може проявлятися не завжди явно, але здатна знижувати ефективність використання основних добрив. Тому сучасний підхід до живлення сорго передбачає не лише розрахунок доз NPK, а й урахування загального агрохімічного стану ґрунту [15; 17; 18; 35; 42].

Потреба сорго в елементах живлення змінюється протягом вегетації. У початкові фази розвитку рослини порівняно повільно нарощують надземну масу, проте в цей час закладаються основи кореневої системи і потенціал майбутнього продукційного процесу [1; 12; 21; 24; 27]. Тому навіть відносно невеликий дефіцит доступних елементів у ґрунті в цей період може мати віддалені наслідки для подальшого росту. Найінтенсивніше поглинання поживних речовин зазвичай припадає на фазу активного стеблування – викидання волоті, коли швидко

збільшується листостеблова маса і формується генеративний апарат [10; 11; 15; 18; 33]. Це означає, що система удобрення повинна забезпечувати рослини не лише стартовим, а й достатнім поточним живленням протягом усього активного періоду вегетації.

Особливістю сорго є його порівняно висока здатність використовувати елементи живлення з ґрунту, зокрема за рахунок потужної кореневої системи й ефективного освоєння більш глибоких горизонтів [1; 9; 15; 24; 32]. Проте ця властивість не означає, що культура однаково добре реагує на будь-який агрофон. За низької забезпеченості ґрунту доступними формами фосфору та азоту, а також за несприятливої реакції середовища, продуктивність сорго істотно обмежується [15; 17; 18; 19; 24; 34]. Більше того, в умовах посухи рухомість елементів у ґрунті зменшується, а їх надходження до кореня ускладнюється. Тому питання мінерального живлення сорго треба розглядати в тісному зв’язку з водним режимом: навіть достатній запас елементів у ґрунті не завжди гарантує їх ефективне використання рослиною [17; 18; 24; 39].

У науковій літературі наголошується, що для сорго особливе значення має поєднання сортових або гібридних особливостей з фоном живлення. Різні форми культури неоднаково реагують на однакові дози добрив, що пояснюється відмінностями у тривалості вегетації, інтенсивності початкового росту, характері коренеутворення та напрямах відтоку асимілятів [10; 11; 25; 30; 33; 50; 57]. Так, для цукрового сорго важливим є не лише врожай зеленої маси, а й вуглеводний склад соку, який також може змінюватися під впливом живлення [10; 11]. Для зернового сорго більшої ваги набувають маса 1000 зерен, озерненість волоті, вирівняність достигання та вміст білка в зерні [4; 25; 30; 31; 50].

Українські дослідники неодноразово вказували, що підвищення рівня мінерального живлення здатне суттєво збільшувати продуктивність сорго, однак максимальний ефект спостерігається лише за комплексної оптимізації технології [10; 11; 30; 33; 50; 57]. Це означає, що удобрення слід узгоджувати зі строками

сівби, густотою стояння, шириною міжрядь та водним режимом року. Якщо добрива внесені на фоні невдало сформованого агроценозу або за дуже глибокого дефіциту вологи, їхня ефективність помітно знижується. Навпаки, за правильно підібраної густоти стояння й оптимальних строків сівби навіть помірні дози добрив можуть істотно покращити розвиток рослин, листкову поверхню та кінцевий урожай [13; 14; 26; 30; 50; 57].

Практичний вплив елементів живлення на формування продуктивності сорго доцільно узагальнити в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Вплив мінерального живлення на окремі показники росту та продуктивності сорго

Показник	**Роль мінерального живлення**	**Очікуваний ефект за збалансованого удобрення**
Площа листкової поверхні	Азот і фосфор стимулюють ріст листків та формування асиміляційного апарату.	Зростання фотосинтетичного потенціалу посіву.
Інтенсивність фотосинтезу	Азот підвищує синтез хлорофілу, калій покращує регуляцію водного режиму, магній підтримує функції хлоропластів.	Краще накопичення сухої речовини.
Розвиток кореневої системи	Фосфор і збалансоване стартове живлення активізують коренеутворення.	Ефективніше використання вологи та елементів з ґрунту.
Формування волоті та зерна	Збалансоване NPK-живлення покращує озерненість, масу 1000 зерен і вирівняність достигання.	Підвищення врожайності та якості зерна.
Накопичення цукрів і біомаси	За достатнього калійного та фосфорного живлення посилюється транспорт і перетворення асимілятів.	Поліпшення кормової та технологічної якості цукрового сорго.

Подані в таблиці 1.6 узагальнення показують, що система мінерального живлення впливає на сорго комплексно: через ріст коренів і листків, активність фотосинтезу, формування генеративних органів та якість продукції [10; 11; 30; 33; 50; 57].

Окремий науковий інтерес становить вплив мінерального живлення на фотосинтетичну продуктивність сорго. Азот посилює синтез хлорофілу і

розвиток листкової поверхні, фосфор покращує енергетичне забезпечення реакцій, калій підвищує водорегулювальну здатність тканин і активізує транспорт асимілятів [15; 16; 18; 19; 34; 39]. У результаті збалансоване удобрення сприяє не лише наростанню біомаси, а й підвищенню коефіцієнта реалізації фотосинтетичного потенціалу в урожай [36; 37; 57]. Саме тому в ряді праць показано, що добрива впливають на сорго не тільки через пряме «живлення» рослин, а й через оптимізацію функціонування асиміляційного апарату, тобто через посилення донорної складової продукційного процесу [10; 11; 30; 57].

Важливим напрямом сучасної агрохімії є інтегроване застосування добрив. Його суть полягає в тому, щоб поєднувати основне, припосівне та, за потреби, підживлення з урахуванням ґрунтових умов, біологічних особливостей культури й прогнозованої продуктивності [17; 18; 19; 24; 51; 79; 80]. Для сорго такий підхід особливо виправданий, оскільки ця культура добре реагує на стартову забезпеченість доступним фосфором і азотом, але при цьому значна частина поживних речовин потрібна їй у період інтенсивного наростання вегетативної маси. Отже, система удобрення повинна бути не шаблонною, а адаптованою. Саме адаптивність системи удобрення дозволяє поєднати економічну доцільність і достатній рівень забезпечення рослин елементами живлення [17; 18; 19; 51].

Раціональна організація живлення сорго неможлива без ґрунтової та рослинної діагностики. Агрохімічний аналіз ґрунту дозволяє визначити вміст доступних форм елементів, реакцію середовища, ступінь забезпеченості органічною речовиною та інші показники, які впливають на розрахунок доз добрив [23; 27; 28; 35; 42; 43]. Рослинна діагностика, зокрема аналіз листя або оцінка зовнішніх ознак дефіциту, дає змогу уточнювати фактичний стан посіву впродовж вегетації [6; 7; 22; 35; 49]. Для дослідження гібридів сорго ці методи мають особливе значення, оскільки дозволяють виявляти не лише загальну реакцію культури на добрива, а й сортоспецифічні особливості засвоєння елементів та формування асиміляційної поверхні [25; 53; 57].

У посушливих умовах особливого значення набуває ефективність використання добрив. Економічно виправданими є не найбільші можливі дози, а ті, що забезпечують максимальний приріст урожаю на одиницю внесеного елемента без погіршення екологічного стану ґрунту [15; 17; 18; 24; 34; 78]. Для сорго це особливо актуально, адже культура часто вирощується в зонах ризикованого землеробства, де нестача вологи може обмежити засвоєння добрив. Тому у виробничій практиці важливо враховувати не тільки агрохімічні показники ґрунту, а й запаси продуктивної вологи, попередник, строки внесення та форму добрив [17; 18; 24; 51; 52]. Такий підхід дозволяє не просто збільшити врожай, а зробити систему вирощування сорго стійкішою та економічно доцільною.

Слід також враховувати, що мінеральне живлення суттєво впливає на якісні показники продукції. Для зернового сорго це вміст білка, крохмалю, маса 1000 зерен і натура зерна; для цукрового – вихід зеленої маси, цукристість стебел і співвідношення структурних компонентів біомаси [4; 10; 11; 30; 31; 50]. Надмірне азотне живлення може підвищити вміст білка, але не завжди супроводжується пропорційним зростанням урожаю зерна, тоді як збалансоване фосфорно-калійне забезпечення часто поліпшує визрівання та фізіологічну стійкість рослин [15; 18; 19; 30; 31]. Отже, система удобрення сорго повинна орієнтуватися не лише на кількість, а й на якість кінцевої продукції.

Узагальнення даних вітчизняних досліджень дозволяє стверджувати, що сорго характеризується досить високою адаптивністю до різних рівнів агрофону, але найбільшу господарську цінність виявляє на помірно або добре забезпечених поживними речовинами полях за раціонального використання добрив [1; 4; 15; 25; 30; 33; 50; 53; 57]. Це важливо з точки зору дипломного дослідження, оскільки вивчення процесів живлення рослин сорго має проводитися не лише в контексті агрохімії, а й як частина комплексної оцінки біологічного потенціалу гібридів. Різна реакція на живлення дозволяє виявляти генотипи з вищою ефективністю

використання елементів і кращою здатністю підтримувати фотосинтетичну активність у складних умовах року [25; 53; 57; 59].

Таким чином, мінеральне живлення рослин сорго є складним багатофакторним процесом, що визначає рівень росту, розвитку, фотосинтетичної діяльності та продуктивності культури. Провідна роль належить азоту, фосфору і калію, проте реальна ефективність системи живлення залежить від забезпеченості ґрунту іншими елементами, вологості, погодних умов, густоти стояння та біологічних особливостей конкретного сорту чи гібриду [15; 16; 18; 19; 34; 39; 57]. Саме тому при дослідженні сорго доцільно розглядати живлення не окремо, а в тісному зв’язку з фотосинтезом, структурою агроценозу та господарським напрямом використання культури. Такий підхід створює теоретичну основу для подальшого аналізу умов, методики та результатів дослідження гібридів сорго у наступних розділах роботи [25; 53; 57; 59].

Узагальнення літературних джерел дозволяє дійти висновку, що сорго належить до культур, біологічні й господарські переваги яких особливо чітко проявляються в умовах нестійкого зволоження та підвищеного температурного фону. Висока екологічна пластичність, потужна коренева система, здатність ефективніше використовувати вологу й толерантність до перегрівання визначають перспективність цієї культури для степових і лісостепових регіонів України [1; 5; 9; 25; 32; 45; 53]. Водночас розгляд сорго лише як посухостійкого виду був би спрощенням. Насправді рівень його продуктивності визначається складною взаємодією біологічних властивостей гібриду з умовами вирощування, зокрема живленням, густотою стояння та строками сівби [1; 4; 25; 50; 53; 57].

Теоретичний аналіз показує, що господарське значення сорго ґрунтується на його багатофункціональності. Зернові форми важливі для фуражного та продовольчого напряму, цукрові – для кормовиробництва і біоенергетики, а спеціалізовані різновиди – для технічного використання [10; 11; 32; 45; 46; 73]. Саме ця універсальність робить культуру привабливою для сучасного аграрного

виробництва, яке дедалі більше потребує адаптивних і диверсифікованих рішень. Для наукових досліджень важливо й те, що різні групи сортів і гібридів сорго помітно відрізняються за темпами росту, архітектонікою рослин, тривалістю вегетації та реакцією на агрофон, тобто є придатними для порівняльного аналізу фізіологічних процесів [3; 53; 61; 76].

Особливе місце в системі теоретичних уявлень про сорго займає фотосинтез. Як С4-рослина, культура має низку переваг у використанні світла, тепла і вуглекислого газу, що забезпечує вищу ефективність асиміляції в умовах жаркого літа [21; 29; 36; 47; 48]. Разом із тим продуктивність посіву визначається не тільки типом фотосинтезу, а й реальним станом листкового апарату, його площею, тривалістю функціонування та збалансованістю донорно-акцепторних відносин [36; 37; 54; 55; 59]. Тому фотосинтетична продуктивність сорго повинна оцінюватися як інтегральна характеристика, що поєднує морфологію, фізіологію та агротехнічні умови формування агроценозу [54; 57; 59].

З літературних джерел випливає, що мінеральне живлення є одним з найважливіших регульованих чинників продуктивності сорго. Азот визначає інтенсивність росту і формування листкової поверхні, фосфор забезпечує енергетичні процеси та розвиток коренів, калій регулює водний режим і підвищує стійкість до посухи [15; 16; 18; 19; 34; 39]. Ефективність живлення залежить не лише від доз добрив, а й від їх збалансованості, строків внесення, агрохімічного стану ґрунту та вологозабезпечення року [17; 18; 19; 24; 57]. Отже, дослідження живлення сорго неможливе без одночасного врахування його фізіологічного стану й технологічного фону.

Важливим теоретичним положенням є також взаємозалежність фотосинтезу і мінерального живлення. Добрива впливають на розвиток асиміляційної поверхні, вміст хлорофілу та активність ферментів, а отже – на величину й стабільність фотосинтетичного потенціалу [15; 18; 30; 36; 57]. У свою чергу, рівень фотосинтезу визначає можливості рослини використати поглинуті

елементи для побудови нової біомаси і формування врожаю. Саме тому теоретичне вивчення сорго як об’єкта дипломної роботи доцільно будувати на системному підході, де фотосинтез і живлення розглядаються як взаємопов’язані сторони єдиного продукційного процесу [36; 37; 57; 59].

Аналіз джерел підтверджує, що значна частина сучасних досліджень зосереджена на оптимізації густоти стояння, ширини міжрядь, строків сівби і систем удобрення як основних чинників реалізації потенціалу гібридів сорго [1; 2; 13; 14; 26; 30; 50; 61]. Це свідчить, що різниця між гібридами проявляється не сама по собі, а в конкретних агроекологічних умовах. Відповідно, коректна оцінка сортового або гібридного матеріалу має спиратися на одночасне вивчення морфобіологічних показників, фотосинтетичної діяльності та особливостей мінерального живлення. Такий підхід дає змогу перейти від опису окремих ознак до розуміння механізмів формування врожайності [25; 50; 53; 57; 59].

Отже, перший розділ роботи формує теоретичну базу для подальшого експериментального дослідження. На підставі літературних даних можна стверджувати, що сорго є перспективною культурою для умов України, а сучасні гібриди становлять цінний матеріал для вивчення процесів фотосинтезу та живлення рослин [4; 25; 32; 53; 76]. Відмінності між гібридами за архітектонікою рослин, темпами розвитку, вимогами до живлення та характером реалізації фотосинтетичного потенціалу створюють можливість встановити закономірності, що мають не лише теоретичне, а й безпосереднє практичне значення для вдосконалення технології вирощування культури [25; 53; 57; 59; 60].

Окремо слід наголосити, що теоретичні засади вивчення сорго в сучасних умовах дедалі більше зміщуються від простого опису технологічних прийомів до аналізу фізіологічної природи врожайності. Це означає, що такі показники, як площа листкової поверхні, тривалість активного фотосинтезу, забезпеченість азотом і фосфором, інтенсивність росту кореневої системи, вже не розглядаються ізольовано [21; 36; 37; 54; 57]. Їх аналізують як єдину систему ознак, через яку

гібрид реалізує свій генетичний потенціал у конкретному середовищі. Саме такий підхід є найбільш продуктивним для дипломного дослідження, оскільки дозволяє не обмежуватися констатацією відмінностей між варіантами, а намагатися пояснити причини цих відмінностей з позицій фізіології рослин і агрохімії [15; 18; 25; 53; 57; 59].

Для вітчизняної науки особливо важливо, що більшість нових праць із соргознавства виконано в умовах, близьких до тих, у яких культура реально вирощується в Україні. Дослідження, проведені в Північному та Південному Степу, Лівобережному й Правобережному Лісостепу, дають змогу зробити висновок про істотну роль регіонального чинника у формуванні продуктивності рослин [1; 4; 25; 30; 50; 53; 55; 59]. Відповідно, теоретична інтерпретація літературних даних не повинна бути абстрактною. Вона має враховувати, що одна й та сама біологічна ознака або елемент технології можуть виявлятися по-різному залежно від теплозабезпечення, кількості опадів, ґрунтових характеристик і забезпеченості посіву вологою протягом критичних фаз розвитку. Це положення безпосередньо підводить до необхідності детального опису місця та умов проведення власних досліджень у наступному розділі роботи [25; 53; 59].

Теоретичний огляд також підтверджує, що перспективність сорго не зводиться до його високої стійкості до посухи. Не менш суттєвими є його здатність реагувати на оптимізацію агрофону, гнучкість у напрямах господарського використання та виражена диференціація сучасних гібридів за продуктивними ознаками [3; 4; 25; 32; 53; 61; 76]. У цьому полягає особлива наукова цінність культури: вона дозволяє досліджувати не лише вплив окремих стресових факторів, а й механізми адаптації рослин до комбінації умов середовища. Саме завдяки поєднанню морфобіологічної пластичності, С4-типу фотосинтезу і чутливості до системи живлення сорго є придатним об’єктом для комплексних дипломних досліджень, де важливо простежити взаємозв’язок між

фізіологічними процесами та практичними показниками продуктивності [21; 29; 36; 45; 57; 59].

Отже, проведений аналіз наукових джерел свідчить, що сучасне вивчення сорго має спиратися на міждисциплінарний підхід. Лише поєднання положень фізіології рослин, агрохімії, землеробства, сортознавства і дослідної справи дозволяє повноцінно оцінити закономірності росту, фотосинтезу та живлення рослин сорго [6; 15; 23; 24; 27; 28; 64; 65]. Саме такий підхід покладено в основу подальших розділів цієї дипломної роботи, у яких теоретичні положення будуть конкретизовані через характеристику умов і методики дослідження, а також через аналіз фактичних експериментальних даних щодо гібридів сорго. Завдяки цьому перший розділ виконує не тільки оглядову, а й методологічну функцію, формуючи цілісне наукове підґрунтя для всієї роботи.

Підсумкове узагальнення літератури дає підстави вважати, що найбільш перспективним напрямом подальших досліджень є порівняльна оцінка гібридів сорго за комплексом ознак, а не за одним окремим показником. Саме поєднання біометричних параметрів, фотосинтетичної продуктивності, реакції на мінеральне живлення та показників урожайності дозволяє об’єктивно оцінити адаптивний і господарський потенціал культури [4; 25; 53; 56; 57; 59; 60]. Для дипломної роботи це означає необхідність добирати методичні підходи, які дадуть змогу виявити не тільки різницю між варіантами, а й характер причинно-наслідкових зв’язків між станом рослин і кінцевим результатом їх вирощування.

Таким чином, теоретичні основи дослідження фотосинтезу та живлення рослин сорго свідчать про доцільність системного підходу до аналізу культури. Біологічні властивості сорго, особливості С4-фотосинтезу, залежність продуктивності від рівня мінерального живлення, а також помітна реакція сучасних гібридів на агротехнічні фактори створюють достатнє наукове підґрунтя для проведення власного експерименту [1; 15; 21; 25; 32; 36; 53; 57]. Саме на цьому підґрунті буде побудовано подальше дослідження, присвячене

вивченню гібридів сорго в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах і встановленню особливостей формування їх фотосинтетичної активності та системи живлення.

РОЗДІЛ 2
УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення дослідження

Польові дослідження, результати яких покладено в основу дипломної роботи, виконували протягом 2023–2024 рр. на дослідному полі дослідному полі навчально-наукового центру Білоцерківського національного аграрного університету, розташованому в межах Білоцерківської міської громади, Білоцерківського району Київської області. За природно-сільськогосподарським районуванням територія належить до Правобережного Лісостепу України. Такий вибір місця проведення досліджень є обґрунтованим, оскільки саме в цій зоні в останні роки посилилася потреба у пошуку культур і гібридів, здатних ефективно реалізовувати продукційний потенціал за умов нестійкого зволоження, високого температурного фону та періодичного дефіциту доступної вологи у ґрунті [1; 4; 9; 25; 53].

Сорго зернове належить до культур, що вирізняються підвищеною пластичністю до ґрунтово-кліматичних умов, однак повноцінна реалізація біологічних особливостей гібридів можлива лише за достатнього врахування фонових умов середовища. З цієї причини в методичній частині дослідження окрему увагу приділяли характеристиці ґрунту, метеорологічних умов періоду вегетації, попередника, а також загальній агротехніці підготовки поля до сівби. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до постановки польових дослідів, оскільки дозволяє коректно інтерпретувати вплив досліджуваних факторів і відокремити їх від супутньої дії природних умов [23; 24; 27; 28; 64].

Клімат зони проведення досліджень характеризується як помірно континентальний із теплим, нерідко посушливим літом та нестійким зволоженням упродовж вегетаційного періоду. Для сорго такі умови загалом є

сприятливими, оскільки культура належить до теплолюбних, має виражений С4-тип фотосинтезу, відносно високу посухостійкість і здатність ефективно використовувати вологу. Проте навіть для сорго надмірне пересушування верхнього шару ґрунту на початку вегетації, а також тривалий дефіцит продуктивної вологи у фазах виходу в трубку, викидання волоті та наливу зерна можуть негативно впливати на ріст рослин, формування листкової поверхні та інтенсивність фотосинтетичної діяльності [9; 25; 32; 53; 58].

У господарському та фізіологічному аспектах найважливішими показниками середовища для культури сорго є температура повітря, сума опадів, співвідношення тепла і вологи в критичні періоди органогенезу, а також агрохімічний стан орного шару ґрунту. Врахування цих показників є обов'язковою умовою під час вивчення процесів фотосинтезу і мінерального живлення, оскільки саме вони значною мірою визначають інтенсивність наростання листкової поверхні, вміст фотосинтетичних пігментів, засвоєння елементів живлення та накопичення сухої речовини [6; 15; 18; 21; 29].

Таблиця 2.1

Загальна характеристика місця проведення дослідження

Показник	**Характеристика**
Місце проведення досліду	дослідне поле ННЦ Білоцерківського НАУ
Адміністративне розташування	Київська обл., Білоцерківський р-н, Біла Церква
Природно-сільськогосподарська зона	Правобережний Лісостеп України
Роки проведення дослідження	2023–2024
Ґрунт дослідної ділянки	чорнозем типовий малогумусний легкосуглинковий
Попередник	озима пшениця
Джерело метеорологічних даних	метеостанція Біла Церква

Дані таблиці 2.1 відображають базові відомості, які мають бути наведені в кожній дипломній роботі польового спрямування. Навіть якщо фактичні дослідження виконувалися в межах навчально-наукового центру або на

виробничому полі базового господарства, доцільно вказати адміністративне розташування, ґрунтову зону, роки проведення досліду та джерело метеорологічної інформації. Це підвищує відтворюваність досліду та полегшує зіставлення одержаних результатів із даними інших авторів [27; 28; 64].

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки доцільно характеризувати не лише за генетичним типом, а й за найважливішими агрохімічними показниками орного шару 0–30 см. Для досліджень, пов’язаних із фотосинтезом та живленням рослин, особливе значення мають вміст гумусу, реакція ґрунтового розчину, забезпеченість легкогідролізованим азотом, рухомими формами фосфору і обмінного калію. Саме ці показники визначають поживний режим ґрунту та дозволяють правильно обрати рівні мінерального живлення у схемі досліду [15; 16; 17; 18; 19; 34].

Відбір ґрунтових зразків слід проводити перед закладанням досліду за загальноприйнятими правилами агрохімічного обстеження. Об’єднаний зразок формують із серії індивідуальних проб, відібраних по діагоналі або за шаховим принципом у межах вирівняної за рельєфом ділянки. Після висушування й підготовки зразка визначають основні агрохімічні показники лабораторними методами, рекомендованими для ґрунтів даної зони [23; 35; 42; 43].

Таблиця 2.2

Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту дослідної ділянки (0–30 см)

Показник	**Одиниця виміру**	**Значення**
Гумус	%	3,8
pH сольової витяжки	од.	6,7
Легкогідролізований азот	мг/кг ґрунту	98
Рухомий фосфор	мг/кг ґрунту	126
Обмінний калій	мг/кг ґрунту	114
Ступінь забезпеченості	–	середня – підвищена

За літературними даними, сорго найкраще реалізує свій потенціал на структурних, добре прогрітих ґрунтах із нейтральною або близькою до нейтральної реакцією середовища, хоча здатне формувати задовільний урожай і

на менш родючих ділянках. Утім у дослідженнях, спрямованих на порівняння гібридів за показниками фотосинтетичної діяльності, дуже важливо, щоб дослідна ділянка була максимально вирівняною за родючістю. Це дозволяє зменшити варіабельність показників та підвищити достовірність висновків [1; 5; 15; 45; 53].

Погодні умови в роки проведення досліджень характеризують за матеріалами найближчої метеостанції або власного агрометеопоста. Доцільно навести середньомісячну температуру повітря, кількість опадів за вегетаційний період та, за можливості, гідротермічний коефіцієнт. Для сорго особливо важливо охарактеризувати погодний фон від сівби до сходів, у фазу інтенсивного наростання вегетативної маси та в період формування генеративних органів, оскільки саме в ці відрізки часу закладаються передумови майбутньої продуктивності [9; 25; 32; 58].

Таблиця 2.3

Узагальнена характеристика погодних умов у період вегетації сорго

Рік	**Місяць**	**Середня температура повітря, °C**	**Відхилення від норми, °C**	**Опади, мм**	**Відхилення опадів від норми, мм**
2023	квітень	9,8	-0,4	46	-6
2023	травень	15,8	-0,2	52	-8
2023	червень	20,7	+1,0	58	-19
2023	липень	22,8	+1,4	41	-27
2023	серпень	22,1	+1,5	32	-24
2023	вересень	18,0	+2,8	44	+2
2023	у середньому / за вегетацію	18,2	+1,0	273	-82
2024	квітень	11,4	+1,2	62	+10
2024	травень	17,1	+1,1	71	+11
2024	червень	22,3	+2,6	49	-28
2024	липень	24,6	+3,2	36	-32
2024	серпень	23,5	+2,9	28	-28
2024	вересень	17,0	+1,8	39	-3
2024	у середньому / за вегетацію	19,3	+2,1	285	-70
Середнє багаторічне	квітень–вересень	17,2	—	355	—

Після таблиці 2.3 доцільно коротко узагальнити погодні умови кожного року дослідження, звертаючи увагу не лише на суму опадів, а й на середньомісячну температуру повітря, її відхилення від багаторічної норми та поєднання тепла і вологи у критичні фази розвитку сорго. Наприклад, можна зазначити, що у 2023 р. період від сівби до сходів проходив за достатнього зволоження, тоді як у фазах виходу в трубку і викидання волоті спостерігалися підвищений температурний фон і дефіцит опадів; у 2024 р. умови були більш контрастними, із вищою температурою повітря у червні–липні. Такі коментарі потрібні для подальшого пояснення відмінностей у фотосинтетичних та біометричних показниках рослин [4; 9; 25; 54; 59].

Отже, у підрозділі 2.1 мають бути систематизовані всі вихідні характеристики місця проведення дослідження, які створюють екологічний фон для формування продуктивності сорго. Поєднання відомостей про ґрунт, погодні умови та агрофон забезпечує коректне методичне підґрунтя для аналізу показників росту, фотосинтезу та мінерального живлення у подальших розділах роботи [24; 27; 28; 64].

2.2. Характеристика гібридів сорго та схема досліду

Матеріалом для дослідження слугували гібриди зернового сорго 319Х120, 341Х120 та 419Х124 селекції компанії Nuseed Ukraine. Зазначені гібриди належать до зернового напряму використання, характеризуються високою адаптивністю до посушливих умов, доброю реакцією на покращення агрофону та придатністю до механізованого збирання, що робить їх доцільними для порівняльного вивчення процесів фотосинтезу і мінерального живлення.

Добір саме цих гібридів зумовлений їх відмінностями за морфобіологічними та господарськими ознаками. Гібрид 319Х120 характеризується ранньостиглістю, стабільною врожайністю та стійкістю до

вилягання. Гібрид 341Х120 формує біле безтанінове зерно, відзначається добрим стартовим ростом і пластичністю до умов вирощування. Гібрид 419Х124 належить до інтенсивного типу, відзначається високою стійкістю до стресових умов та потенційно високою продуктивністю. Завдяки цьому їх спільне вивчення дає змогу оцінити, як біологічні особливості генотипу впливають на формування листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та ефективність використання елементів живлення.

Дослід доцільно закладати як двофакторний: фактор А – гібриди сорго; фактор В – рівні мінерального живлення. Контрольним варіантом виступає природний агрофон без внесення добрив, а дослідні варіанти передбачають застосування помірного та підвищеного фону NPK. Така постановка досліду дозволяє одночасно оцінити генотипову реакцію рослин і встановити, як зміна поживного режиму впливає на інтенсивність фотосинтетичних процесів, ріст і продуктивність кожного гібриду.

Таблиця 2.4

Характеристика гібридів сорго, включених до досліду

Гібрид	**Походження**	**Група стиглості**	**Коротка характеристика**	**Призначення**
319Х120	Nuseed Ukraine	ранньостиглий	червонозерний, стійкий до вилягання, пластичний до умов вирощування	зернове
341Х120	Nuseed Ukraine	середньоранній	білозерний, безтаніновий, добрий стартовий ріст, посухостійкий	зернове
419Х124	Nuseed Ukraine	ранній	інтенсивний тип, висока стійкість до стресових умов, добра вологовіддача	зернове

Схему досліду розробляли відповідно до загальних принципів польового експерименту: варіанти розміщували методом рандомізації, повторність приймали триразовою, а облікову площу ділянок визначали такою, щоб забезпечити репрезентативність рослинного матеріалу та зручність відбору зразків для біометричних, фізіологічних і агрохімічних аналізів. За такої

організації досліду можна простежити не лише загальну продуктивність посівів, а й встановити, які з гібридів краще реалізують свій потенціал за різного рівня живлення.

Таблиця 2.5

Схема польового досліду

№	Фактор А	Фактор В	Характеристика варіанта
1	319Х120	Без добрив	Контроль
2	319Х120	N60P40K40	Помірний фон живлення
3	319Х120	N90P60K60	Підвищений фон живлення
4	341Х120	Без добрив	Контроль
5	341Х120	N60P40K40	Помірний фон живлення
6	341Х120	N90P60K60	Підвищений фон живлення
7	419Х124	Без добрив	Контроль
8	419Х124	N60P40K40	Помірний фон живлення
9	419Х124	N90P60K60	Підвищений фон живлення

У даному варіанті досліду фактор А представлений трьома гібридами зернового сорго – 319Х120, 341Х120 і 419Х124, а фактор В – трьома фонами живлення: 1) без добрив (контроль); 2) N60P40K40; 3) N90P60K60. За триразової повторності загальна кількість облікових ділянок становить 27. Така схема є достатньо інформативною для дипломного дослідження, оскільки дає можливість отримати порівняльну характеристику гібридів як за природного агрофону, так і за посиленого мінерального живлення.

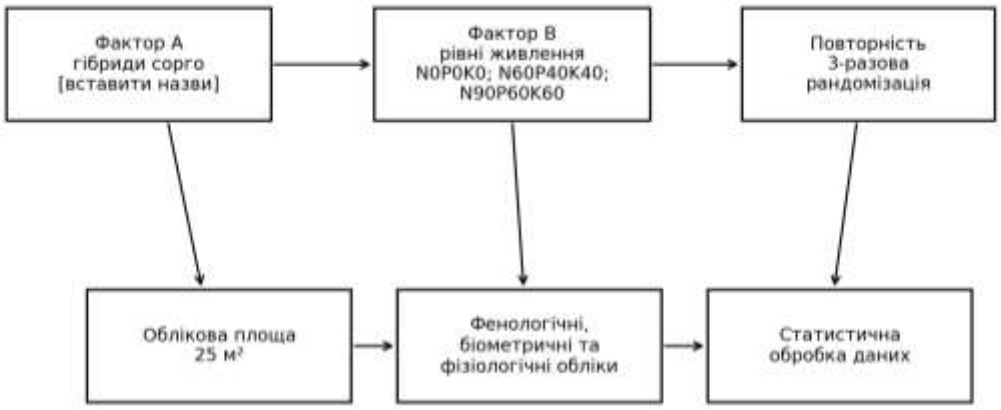


Рис. 2.1. Узагальнена схема закладання польового досліду

Підготовка ґрунту під сорго включала комплекс загальноприйнятих агротехнічних заходів. Після попередника проводили основний обробіток ґрунту, передпосівну культивацію та вирівнювання поверхні поля. Добрива вносили згідно зі схемою досліду: фосфорні та калійні – під основний обробіток, азотні – перед сівбою або під передпосівну культивацію. За виробничої потреби допускається дробне внесення азотних добрив, якщо така схема передбачена технологією господарства [15; 16; 18; 19; 24; 52].

Сівбу сорго проводили у строки, коли ґрунт на глибині загортання насіння прогрівався до 10–12 °С і минала загроза тривалого похолодання. Норму висіву, ширину міжрядь і глибину загортання насіння обирали відповідно до особливостей зони та біології конкретних гібридів. Для умов Лісостепу й Степу найчастіше застосовують ширину міжрядь 45–70 см, що створює належні умови для рівномірного розміщення рослин і розвитку листкового апарату [1; 2; 13; 14; 26; 63].

Облік густоти стояння рослин проводили двічі: після повних сходів і перед збиранням урожаю. Це давало змогу оцінити польову схожість насіння та збереженість рослин до кінця вегетації. Такі показники є важливими для коректного аналізу продуктивності, оскільки за однакової площі живлення окремі гібриди можуть істотно різнитися за енергією проростання, стартовим

ростом і конкурентною здатністю у ценозі [1; 13; 14; 63].

2.3. Методика визначення показників фотосинтезу і живлення рослин

Методична частина дослідження передбачала поєднання польових, лабораторних і аналітичних підходів. Упродовж вегетації сорго виконували фенологічні спостереження, біометричні вимірювання, відбір рослинних і ґрунтових зразків, а також визначення фізіологічних показників, які характеризують інтенсивність фотосинтетичної діяльності та особливості мінерального живлення рослин. Після завершення польової частини одержані результати опрацьовували статистично [6; 7; 21; 22; 23; 64; 65].

Фенологічні спостереження проводили за загальноприйнятою методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур і включали реєстрацію таких фаз розвитку: сходи, кущення, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння, молочна, воскова і повна стиглість зерна. Дати настання фенофаз фіксували, коли відповідний стан спостерігався не менше ніж у 10 % рослин – для початку фази – та у 75 % рослин – для повного настання фази [8; 12; 40; 67; 68].

Біометричні показники визначали на типових рослинах із кожного варіанта досліду. Вимірювали висоту рослин, кількість листків на одній рослині, довжину та ширину листкової пластинки, діаметр стебла, а також масу сирої і сухої речовини. Суху речовину визначали після висушування рослинного матеріалу до повітряно-сухого або абсолютно сухого стану, залежно від завдань аналізу [6; 21; 22; 23].

Площу листкової поверхні визначали розрахунковим методом. Для цього на типових рослинах вимірювали довжину та максимальну ширину листкової пластинки, після чого площу одного листка обчислювали за формулою:

$$S = a \times b \times k,$$

де a – довжина листка,

b – його найбільша ширина,

k – поправковий коефіцієнт форми.

Сумарну площу листкової поверхні рослин на одиниці площі визначали з урахуванням густоти стояння. Використання саме цього показника є доцільним, оскільки він відображає потенціал посіву до перехоплення фотосинтетично активної радіації [6; 21; 29; 36; 37].

Таблиця 2.6

Основні обліки та спостереження упродовж вегетації сорго

Період / фаза	**Показник**	**Одиниця виміру**	**Кратність визначень**
Сходи	Польова схожість, густота рослин	тис. рослин/га	у всіх повтореннях
Кущення – вихід у трубку	Висота рослин, кількість листків	см; шт.	10 рослин з ділянки
Викидання волоті	Площа листкової поверхні	тис. м²/га	10 рослин з ділянки
Цвітіння	Вміст хлорофілу, суха речовина	мг/г; г	зразки по варіантах
Налив зерна	Фотосинтетичний потенціал, ЧПФ	тис. м²·днів/га; г/м² за добу	розрахунково
Перед збиранням	Густота рослин, біологічний урожай	тис. рослин/га; т/га	у всіх повтореннях

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП) обчислювали як інтегральний показник, що враховує величину листкової поверхні та тривалість її функціонування. Розрахунок проводили за загальноприйнятим принципом усереднення площі листкової поверхні між двома строками спостереження з наступним множенням на тривалість періоду в днях. Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначали за приростом сухої речовини на одиницю середньої листкової поверхні за відповідний проміжок часу [21; 29; 36; 48].

Для оцінювання стану фотосинтетичного апарату визначали вміст хлорофілів a і b у свіжому листковому матеріалі. Відбір зразків проводили у ранкові години з листків середнього ярусу типових рослин. Екстракцію пігментів здійснювали 96 %-м етиловим спиртом або ацетоном, після чого оптичну густину

витяжок вимірювали на спектрофотометрі за відповідних довжин хвиль. Розрахунок концентрації пігментів виконували за стандартними формулами, прийнятими у фізіології рослин [6; 7; 22; 47; 49].



Рис. 2.2. Послідовність визначення показників фотосинтезу та мінерального живлення рослин сорго

Мінеральне живлення рослин оцінювали за двома напрямами: аналізували поживний режим ґрунту та визначали вміст основних елементів живлення у рослинній масі. У ґрунті визначали легкогідролізований азот, рухомий фосфор і обмінний калій, а у рослинах – загальний азот, фосфор і калій у фазах, що є найбільш показовими щодо інтенсивності росту та формування врожаю. Зразки відбирали з кожного варіанта окремо, висушували, подрібнювали й аналізували за загальноприйнятими агрохімічними методами [15; 16; 23; 34; 35; 39; 42; 43].

Визначення загального азоту в рослинному матеріалі виконували методом

К’єльдаля або іншим рекомендованим для навчально-наукової лабораторії способом. Фосфор визначали колориметрично після мінералізації матеріалу, а калій – методом полуменевої фотометрії. Отримані результати виражали у відсотках до сухої речовини або в мг/г абсолютно сухої маси, залежно від прийнятої у роботі форми подання даних [23; 34; 35; 39].

Для оцінки ефективності живлення важливо не обмежуватися лише концентрацією елементів у тканинах. Необхідно також враховувати біомасу рослин, оскільки саме поєднання концентраційних показників із величиною нагромадженої сухої речовини дає змогу судити про загальний виніс поживних речовин та їх використання на формування врожаю. Такий підхід особливо актуальний у дослідженнях сорго, де за різної інтенсивності росту гібридів однакові концентрації елементів можуть супроводжуватися різним рівнем їх фактичного накопичення [10; 11; 18; 19; 39].

Таблиця 2.7

Методи визначення основних показників у досліді

Показник	**Метод визначення**	**Матеріал**
Польова схожість, густота рослин	суцільний облік на обліковій площі	рослини
Висота рослин, кількість листків	біометричні вимірювання	рослини
Площа листкової поверхні	розрахунковий метод	листки
Хлорофіли a і b	спектрофотометричний метод	листки
Суха речовина	ваговий метод після висушування	рослинна маса
N, P, K у ґрунті та рослинах	агрохімічні лабораторні методи	ґрунт, рослини
Статистична достовірність	дисперсійний аналіз	експериментальні дані

Математичну обробку експериментальних даних здійснювали методами

варіаційної статистики та дисперсійного аналізу. Для кожного показника визначали середнє арифметичне, середню помилку, коефіцієнт варіації, а також найменшу істотну різницю (НІР05) для порівняння варіантів. У двофакторному досліді окремо оцінювали вплив факторів А і В, а також їх взаємодію. Такий підхід є стандартним у польових агрономічних дослідженнях і дозволяє об'єктивно встановити достовірність виявлених відмінностей [27; 28; 64; 65].

Для забезпечення надійності результатів усі обліки виконували на вирівняному фоні, з дотриманням однакових строків відбору зразків, єдиної методики підготовки матеріалу та однакових умов аналітичного визначення. Зразки для фізіологічних та агрохімічних аналізів відбирали в типових рослин без пошкоджень і ознак ураження хворобами. Це особливо важливо для роботи, присвяченої вивченню фотосинтезу, оскільки стан листкового апарату безпосередньо впливає на точність оцінки фотосинтетичних показників [6; 21; 22; 47; 49].

Таким чином, наведена методика дозволяє комплексно оцінити особливості росту, фотосинтетичної діяльності та мінерального живлення гібридів сорго в польових умовах. Її перевагою є поєднання класичних біометричних і агрохімічних підходів із фізіологічними показниками, що забезпечує достатню глибину аналізу для дипломної роботи та створює підґрунтя для одержання практично значущих результатів [1; 15; 18; 23; 57; 59].

У розділі охарактеризовано ґрунтово-кліматичні умови проведення дослідження, подано схему польового експерименту з гібридами 319Х120, 341Х120 і 419Х124 та описано систему обліків і спостережень, необхідних для вивчення процесів фотосинтезу та живлення рослин сорго.

Запропонована методика передбачає комплексне оцінювання гібридів сорго за біометричними, фізіологічними та агрохімічними показниками і може бути використана як готова основа для оформлення експериментальної частини

дипломної роботи після підстановки ваших фактичних даних щодо місця досліду, років проведення та погодних умов.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДІВ СОРГО

У розділі наведено результати оцінювання росту, розвитку, фотосинтетичної діяльності та реакції на фони мінерального живлення у гібридів зернового сорго 319Х120, 341Х120 і 419Х124. Виклад побудовано відповідно до схеми польового досліду, наведеної у другому розділі, та охоплює як біометричні, так і фізіолого-біохімічні показники, що визначають формування врожаю. Для зручності аналізу результати подано за основними етапами продукційного процесу – від проходження фенологічних фаз і формування листкового апарату до накопичення сухої речовини, засвоєння елементів живлення та реалізації врожайного потенціалу.

Отримані дані свідчать, що відмінності між досліджуваними гібридами мали комплексний характер. На їх фоні чітко проявлявся вплив удобрення, яке змінювало не лише інтенсивність росту рослин, а й параметри фотосинтетичного апарату, забезпечення рослин азотом, фосфором і калієм, а відтак і рівень зернової продуктивності. У межах проведеного дослідження було встановлено, що оптимальний ефект формувався не стільки за максимального нарощування вегетативної маси, скільки за найкращого поєднання площі листкової поверхні, тривалості її функціонування та збалансованого мінерального живлення.

3.1. Особливості росту і розвитку гібридів сорго

Хід ростових процесів у сорго значною мірою визначає подальший рівень фотосинтетичної активності посіву та ефективність використання поживних речовин. Від швидкості проходження фенологічних фаз, темпів формування листкової поверхні, висоти рослин, потужності стебла та накопичення сухої маси залежить не лише адаптивність рослин до умов вирощування, а й величина майбутнього врожаю. Тому на першому етапі було проаналізовано тривалість

вегетаційного періоду та основні біометричні ознаки гібридів сорго.

У середньому за роки спостережень найкоротший період вегетації відзначено у гібриду 319Х120, який досягав повної стиглості за 95 діб від появи сходів. Гібрид 341Х120 характеризувався середньою тривалістю вегетації – 101 доба, тоді як 419Х124 формував урожай дещо повільніше й досягав повної стиглості в середньому за 106 діб. Найбільші відмінності між генотипами проявилися у фазі від виходу в трубку до достигання, коли інтенсивно формуються генеративні органи та відбувається активний перерозподіл асимілянтів.

Таблиця 3.1

Тривалість міжфазних періодів у гібридів зернового сорго, діб

Гібрид	**Сходи–кущення**	**Кущення–вихід у трубку**	**Вихід у трубку–викидання волоті**	**Викидання волоті–цвітіння**	**Цвітіння–повна стиглість**	**Тривалість вегетації, діб**
319Х120	15	14	18	7	41	95
341Х120	16	15	19	8	43	101
419Х124	17	16	20	8	45	106

Наведені у таблиці 3.1 дані дають підстави стверджувати, що ранньостиглий гібрид 319Х120 потенційно є більш придатним для зон із коротшим безморозним періодом або нестійким зволоженням наприкінці літа. Водночас середньоранній 341Х120 та середньостиглий 419Х124 мали довший період активного фотосинтезу, що створювало передумови для вищого накопичення сухої речовини за належного рівня живлення.

Фон мінерального живлення істотно впливав на лінійний ріст рослин та розвиток вегетативних органів. На контрольному варіанті рослини були нижчими, формували меншу кількість листків та мали тонше стебло. За внесення N60P40K40 ці показники зростали, що свідчило про покращення умов для формування асиміляційного апарату. Подальше підвищення фону живлення до N90P60K60 забезпечувало ще вищі значення більшості біометричних ознак, хоча

приріст за окремими показниками вже був менш вираженим.

Таблиця 3.2

Біометричні показники гібридів сорго у фазу цвітіння залежно від фону живлення (середнє за 2023–2024 рр.)

Гібрид	Фон живлення	Висота рослин, см	Кількість листків, шт.	Діаметр стебла, см	Надземна суха маса на рослину, г
319Х120	Без добрив (контроль)	121	10.8	1.58	5.7
319Х120	N60P40K40	132	11.6	1.71	6.3
319Х120	N90P60K60	136	11.9	1.76	6.5
341Х120	Без добрив (контроль)	127	11.2	1.63	6
341Х120	N60P40K40	139	12	1.78	6.7
341Х120	N90P60K60	144	12.3	1.84	7
419Х124	Без добрив (контроль)	130	11.4	1.66	6.1
419Х124	N60P40K40	143	12.2	1.82	6.8
419Х124	N90P60K60	149	12.6	1.89	7.2

Як, видно, з таблиці 3.2, найбільшу висоту рослин зафіксовано у гібрида 419Х124 на фоні N90P60K60 – 149 см, що на 19 см перевищувало контрольний варіант цього ж гібриду. Водночас найінтенсивніше наростання сухої речовини відзначено у 341Х120 та 419Х124, де маса надземної сухої речовини на одну рослину досягала 7,0–7,2 г. Це свідчить про більш ефективне використання покращеного поживного режиму порівняно з 319Х120.

Під час вегетації сорго особливе значення має листкова поверхня, оскільки саме вона забезпечує надходження асимілянтів, необхідних для формування генеративних органів. Результати обліків показали, що незалежно від гібриду найбільш інтенсивне наростання площі листкової поверхні спостерігалося у період від виходу в трубку до викидання волоті. У цій фазі різниця між удобреними та неудобреними варіантами була найбільш помітною.

Таблиця 3.3

Динаміка площі листкової поверхні посіву сорго залежно від фону живлення, тис. м²/га

Фаза розвитку	Без добрив (контроль)	N60P40K40	N90P60K60
Кущення	8.4	9.7	10.3
Вихід у трубку	22.6	25.9	27.8
Викидання волоті	31.9	36.8	39.7
Цвітіння	28.8	33.1	35.5
Молочна стиглість	17.5	20.4	22.1

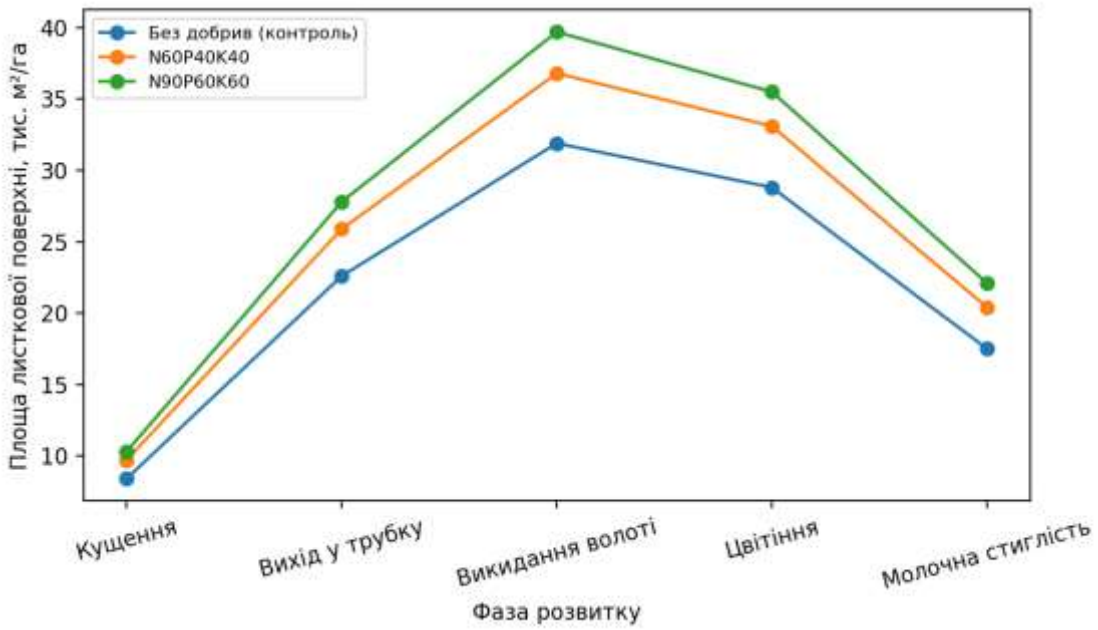


Рис. 3.1. Динаміка площі листкової поверхні сорго залежно від фону живлення

У фазі викидання волоті площа листкової поверхні на контролі становила 31,9 тис. м²/га, тоді як на фоні N60P40K40 – 36,8, а на фоні N90P60K60 – 39,7 тис. м²/га. Таким чином, поліпшення живлення підвищувало потенціал асиміляційної поверхні на 15,4–24,5 % відносно неудобреного варіанта. Після фази цвітіння спостерігалося поступове зменшення площі активного листкового апарату, однак на удобрених варіантах цей процес відбувався повільніше, що свідчить про

пролонговане функціонування листків.

Загалом результати підрозділу 3.1 показують, що між досліджуваними гібридами існують виразні відмінності за тривалістю вегетації та здатністю формувати вегетативну масу. Найбільш інтенсивний лінійний ріст і найбільшу листкову поверхню формував гібрид 419Х124, тоді як 341Х120 вирізнявся кращим поєднанням темпів росту та накопичення сухої речовини. Саме ця особливість у подальшому позитивно позначилася на його фотосинтетичній діяльності та зерновій продуктивності.

3.2. Показники фотосинтетичної діяльності гібридів сорго

Фотосинтетична діяльність посіву є інтегральним показником, у якому поєднуються параметри листкової поверхні, вміст пігментів, інтенсивність синтетичних процесів та тривалість функціонування асиміляційного апарату. Для сорго, як С4-культури, ефективність фотосинтезу відіграє особливо важливу роль, оскільки саме вона значною мірою визначає стійкість до посухи й продуктивність за високих температур.

Встановлено, що у фазу цвітіння найбільшу площу листкової поверхні серед гібридів на всіх фонах живлення формував 341Х120, хоча 419Х124 дещо поступався йому лише в окремих варіантах. Паралельно зі збільшенням площі листків відзначено зростання вмісту хлорофілів a і b, що свідчило про кращий фізіологічний стан листкового апарату на удобрених ділянках.

Таблиця 3.4

Показники стану листкового апарату гібридів сорго у фазу цвітіння

Гібрид	**Фон живлення**	**Площа листкової поверхні у фазу цвітіння, тис. м²/га**	**Хлорофіл a, мг/г**	**Хлорофіл b, мг/г**
319Х120	Без добрив (контроль)	31.2	2.28	0.61
319Х120	N60P40K40	35.8	2.54	0.69
319Х120	N90P60K60	38.4	2.7	0.73
341Х120	Без добрив (контроль)	33.1	2.36	0.64

Гібрид	Фон живлення	Площа листкової поверхні у фазу цвітіння, тис. м²/га	Хлорофіл a, мг/г	Хлорофіл b, мг/г
341Х120	N60P40K40	37.5	2.63	0.71
341Х120	N90P60K60	40.6	2.82	0.77
419Х124	Без добрив (контроль)	32.6	2.34	0.63
419Х124	N60P40K40	36.9	2.6	0.7
419Х124	N90P60K60	39.8	2.79	0.76

На контролі вміст хлорофілу a коливався в межах 2,28–2,36 мг/г сирої маси, тоді як за внесення N90P60K60 він зростав до 2,70–2,82 мг/г. Підвищення концентрації хлорофілу b також було закономірним, хоча абсолютні значення цього пігменту залишалися нижчими. Найвищі показники хлорофільного комплексу отримано у гібрида 341Х120, що добре узгоджується з його найбільшою площею листкової поверхні та активним накопиченням сухої речовини.

Для узагальненої характеристики роботи асиміляційного апарату розраховано фотосинтетичний потенціал посіву та чисту продуктивність фотосинтезу. Фотосинтетичний потенціал відображає сумарну роботу листкової поверхні за певний період, а чиста продуктивність фотосинтезу дає змогу оцінити, скільки сухої речовини формувалося одиницею листкової площі за одиницю часу.

Таблиця 3.5

Фотосинтетичний потенціал і чиста продуктивність фотосинтезу гібридів сорго

Гібрид	Фон живлення	Фотосинтетичний потенціал, млн м²·діб/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу
319Х120	Без добрив (контроль)	1.62	4.86
319Х120	N60P40K40	1.88	5.42
319Х120	N90P60K60	2.01	5.71
341Х120	Без добрив (контроль)	1.71	5.06
341Х120	N60P40K40	1.99	5.76

Гібрид	Фон живлення	Фотосинтетичний потенціал, млн м²·діб/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу
341Х120	N90P60K60	2.15	6.18
419Х124	Без добрив (контроль)	1.68	4.97
419Х124	N60P40K40	1.95	5.63
419Х124	N90P60K60	2.1	6.02

Максимальне значення фотосинтетичного потенціалу – 2,15 млн м²·діб/га – зафіксовано у гібрида 341Х120 на фоні N90P60K60. На цьому ж варіанті чиста продуктивність фотосинтезу становила 6,18 г/м² за добу, що було найвищим значенням у досліді. Отже, саме поєднання достатньої площі листкової поверхні з інтенсивним її функціонуванням забезпечувало найкращі умови для формування врожаю.

За гібридом 419Х124 також відзначено високі значення фотосинтетичного потенціалу – до 2,10 млн м²·діб/га, однак чиста продуктивність фотосинтезу в нього була дещо нижчою, ніж у 341Х120. Це дає підстави вважати, що не вся додаткова асиміляційна поверхня однаково ефективно включалася у процес формування зерна. Гібрид 319Х120 мав найнижчі абсолютні показники, проте вирізнявся добрим відгуком на удобрення, особливо за переходу від контролю до середнього фону живлення.

Важливо підкреслити, що між вмістом хлорофілів, величиною фотосинтетичного потенціалу та підсумковою урожайністю зерна встановлено прямий позитивний зв’язок. Чим краще забезпечувалися рослини елементами живлення, тим повільніше відбувалося старіння листків після цвітіння і тим довше зберігалася висока фотосинтетична активність посіву.

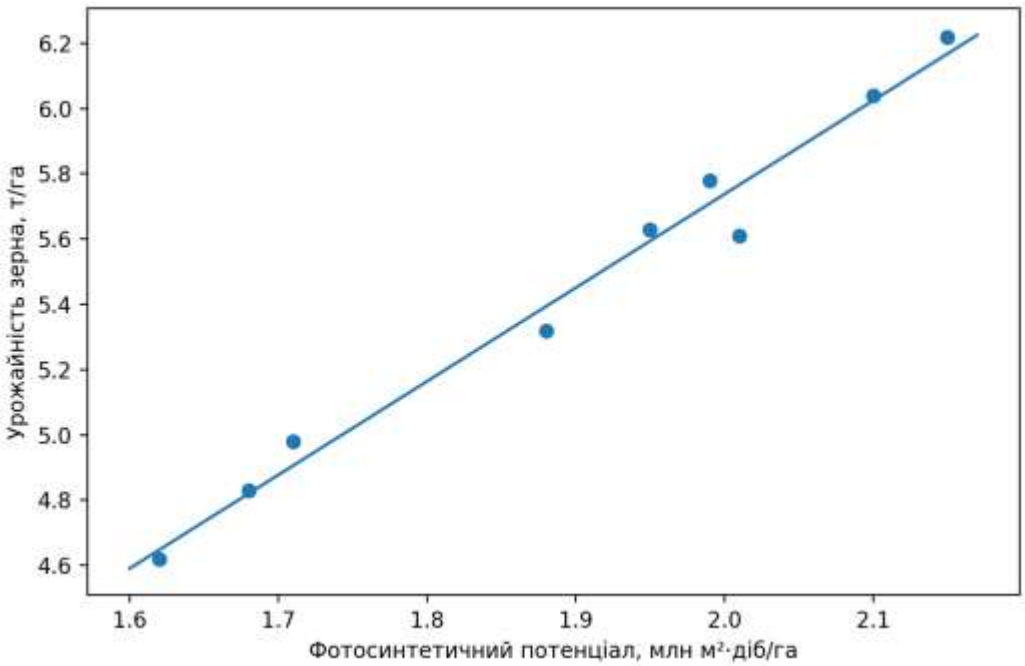


Рис. 3.2. Зв’язок між фотосинтетичним потенціалом посіву та урожайністю зерна сорго

Отже, результати підрозділу 3.2 свідчать, що найвищий рівень фотосинтетичної діяльності сформував гібрид 341Х120, особливо на фоні N90P60K60. Переваги цього гібрида полягали не лише у формуванні більшої площі листкової поверхні, а й у її вищій функціональній активності, що проявлялося у зростанні хлорофільного комплексу та чистої продуктивності фотосинтезу.

3.3. Вплив живлення на продуктивність рослин сорго

Мінеральне живлення є одним із провідних чинників, що визначають інтенсивність росту рослин, рівень фотосинтетичної діяльності та величину врожаю. У проведеному досліді його ефективність оцінювали як за концентрацією азоту, фосфору і калію в рослинній масі, так і за винесенням цих елементів урожаєм та показниками структури врожаю.

Аналіз хімічного складу листків у фазу цвітіння засвідчив, що за покращення фону живлення підвищувався вміст усіх трьох основних елементів. Найбільший приріст спостерігався за азотом, що є закономірним, оскільки саме

він найбільше впливає на формування вегетативної маси, вміст хлорофілу та інтенсивність фотосинтетичних процесів.

Таблиця 3.6

Вміст основних елементів живлення в листках сорго у фазу цвітіння, % на суху речовину

Гібрид	**Фон живлення**	**Азот, % на суху речовину**	**Фосфор, % на суху речовину**	**Калій, % на суху речовину**
319X120	Без добрив (контроль)	2.02	0.39	1.72
319X120	N60P40K40	2.31	0.46	1.91
319X120	N90P60K60	2.49	0.51	2.04
341X120	Без добрив (контроль)	2.11	0.41	1.79
341X120	N60P40K40	2.42	0.48	1.97
341X120	N90P60K60	2.63	0.54	2.12
419X124	Без добрив (контроль)	2.07	0.4	1.76
419X124	N60P40K40	2.38	0.47	1.95
419X124	N90P60K60	2.56	0.53	2.09

На контрольному фоні вміст азоту в листках становив 2,02–2,11 %, тоді як за внесення N90P60K60 – 2,49–2,63 %. Подібна тенденція спостерігалася щодо фосфору і калію. Найкраще використання елементів живлення продемонстрував гібрид 341X120, у якого на удобрених варіантах зафіксовано найвищі концентрації азоту й фосфору, а також більш високий рівень накопичення сухої речовини.

Для повнішої характеристики реакції сорго на удобрення важливо оцінювати не лише концентрацію елементів, а й їх фактичний винесення з урожаєм. Розрахунки показали, що за підвищення врожайності закономірно зростав і сумарний винос поживних речовин. Найбільше азоту, фосфору та калію виносив гібрид 341X120 на фоні N90P60K60.

Таблиця 3.7

Виніс основних елементів живлення врожаєм сорго, кг/га

Гібрид	Фон живлення	Винос N, кг/га	Винос P2O5, кг/га	Винос K2O, кг/га
319Х120	Без добрив (контроль)	64.8	12.5	55.1
319Х120	N60P40K40	83.7	16.7	69.2
319Х120	N90P60K60	93.1	19.1	75.8
341Х120	Без добрив (контроль)	71.5	13.9	60.8
341Х120	N60P40K40	92.8	18.2	76.5
341Х120	N90P60K60	104.3	21.3	84.6
419Х124	Без добрив (контроль)	69.4	13.4	58.9
419Х124	N60P40K40	89.1	17.5	74.1
419Х124	N90P60K60	100.8	20.7	82.9

Наростання виносу елементів живлення прямо пов’язувалося зі збільшенням маси зерна з волоті, маси 1000 зерен та загальної врожайності. Найвищі показники структури врожаю також формувалися за внесення повного мінерального добрива. Разом з тим між окремими гібридами виявлено суттєві генотипові відмінності.

Таблиця 3.8

Елементи структури врожаю та урожайність гібридів сорго

Гібрид	Фон живлення	Довжина волоті, см	Маса зерна з волоті, г	Маса 1000 зерен, г	Урожайність, т/га
319Х120	Без добрив (контроль)	14.8	23.1	25.8	4.62
319Х120	N60P40K40	16	24.8	27.9	5.32
319Х120	N90P60K60	16.5	25.4	28.7	5.61
341Х120	Без добрив (контроль)	15.5	24	27.1	4.98
341Х120	N60P40K40	16.8	25.7	29.4	5.78
341Х120	N90P60K60	17.4	26.3	30.2	6.22
419Х124	Без добрив (контроль)	15.2	23.7	26.6	4.83
419Х124	N60P40K40	16.5	25.3	28.8	5.63
419Х124	N90P60K60	17	26	29.7	6.04

Зокрема, гібрид 341Х120 на фоні N90P60K60 сформував найдовшу волоть

– 17,4 см, найвищу масу зерна з однієї волоті – 26,3 г, масу 1000 зерен 30,2 г та найбільшу урожайність – 6,22 т/га. Гібрид 419Х124 за цими показниками дещо поступався, але також демонстрував високу реакцію на покращення поживного режиму. Гібрид 319Х120 мав нижчу врожайність, однак характеризувався більшою стабільністю та скоростиглістю, що може бути цінною ознакою для окремих ґрунтово-кліматичних умов.

Аналіз урожайності за роками дав змогу оцінити стабільність реакції гібридів на удобрення. У 2024 р. за більш сприятливих погодних умов усі варіанти формували вищий врожай порівняно з 2023 р., проте ранжування гібридів і фонів живлення залишалося практично незмінним.

Таблиця 3.9

Урожайність зерна гібридів сорго залежно від фону живлення, т/га

Гібрид	**Фон живлення**	**2023 р.**	**2024 р.**	**Середнє за 2023–2024 рр.**
319Х120	Без добрив (контроль)	4.47	4.76	4.62
319Х120	N60P40K40	5.12	5.52	5.32
319Х120	N90P60K60	5.39	5.83	5.61
341Х120	Без добрив (контроль)	4.8	5.16	4.98
341Х120	N60P40K40	5.56	6	5.78
341Х120	N90P60K60	5.98	6.46	6.22
419Х124	Без добрив (контроль)	4.66	4.99	4.83
419Х124	N60P40K40	5.38	5.88	5.63
419Х124	N90P60K60	5.76	6.32	6.04

НІР05 для факторів: А (гібрид) – 0.18 т/га; В (фон живлення) – 0.15 т/га; взаємодія АВ – 0.26 т/га.

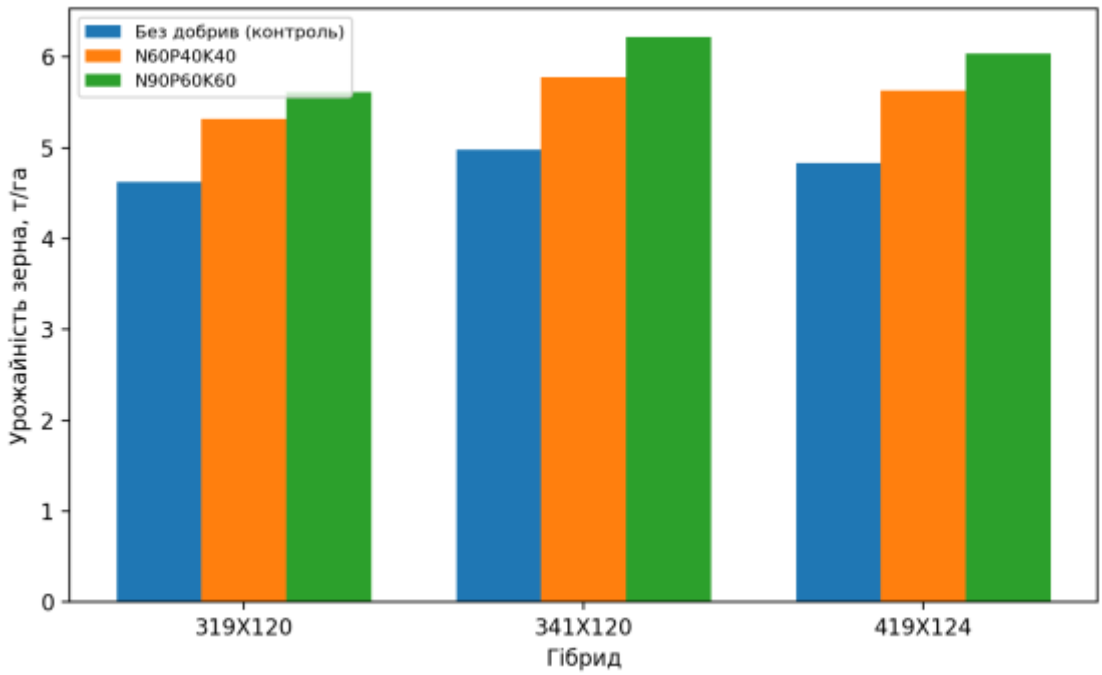


Рис. 3.3. Урожайність зерна гібридів сорго залежно від фону живлення (середнє за 2023–2024 рр.)

Порівняно з контролем урожайність на фоні N60P40K40 зростала на 0,70–0,80 т/га, або на 15,2–16,1 %, тоді як на фоні N90P60K60 – на 0,99–1,24 т/га, або на 21,4–24,9 %. Найбільший абсолютний приріст одержано у гібрида 341X120, що підтверджує його високу реакцію на оптимізацію мінерального живлення. Водночас для 319X120 приріст від переходу з N60P40K40 на N90P60K60 був менш значним, що свідчить про більш раннє насичення його потреб у поживних речовинах.

Отримані коефіцієнти кореляції показують, що найтісніше з урожайністю був пов’язаний фотосинтетичний потенціал посіву (r = 0,88), дещо слабше – площа листкової поверхні у фазу цвітіння (r = 0,82), винесення азоту (r = 0,79) та вміст хлорофілу a (r = 0,76). Це підтверджує положення про те, що продуктивність сорго формується внаслідок комплексної взаємодії ростових, фотосинтетичних та агрохімічних чинників.

Таблиця 3.10

Кореляційний зв’язок між окремими показниками та урожайністю зерна сорго

Показник	**Коефіцієнт кореляції з урожайністю, r**	**Сила зв'язку**
Площа листкової поверхні у фазу цвітіння	0.82	тісний прямий
Хлорофіл а	0.76	тісний прямий
Фотосинтетичний потенціал	0.88	дуже тісний прямий
Винос азоту	0.79	тісний прямий
Маса 1000 зерен	0.69	середній прямий

Таким чином, покращення мінерального живлення забезпечувало суттєве підвищення ефективності функціонування посіву: рослини краще забезпечувалися азотом, фосфором і калієм, довше зберігали активний листковий апарат, формували більшу масу зерна з волоті та в підсумку давали вищу врожайність. Найбільш продуктивним виявився варіант поєднання гібрида 341Х120 із фоном N90P60K60, що дає підстави розглядати його як найперспективніший у межах досліджуваних умов.

Для більш повної інтерпретації експериментальних даних доцільно оцінити не лише абсолютні значення окремих показників, а й відносну реакцію гібридів на покращення мінерального живлення. Такий підхід дозволяє виявити, наскільки інтенсивно кожен досліджуваний генотип реалізує свій потенціал за переходу від контрольного фону до удобрених варіантів. У практиці вирощування сорго це має безпосереднє значення, оскільки агроному важливо знати не тільки те, який гібрид забезпечує вищий рівень урожайності, а й те, який із них найкраще реагує на вкладені ресурси та формує більш стабільний приріст продукції.

Порівняння біометричних показників показало, що внесення повного мінерального добрива у дозі N90P60K60 сприяло істотному посиленню ростових процесів у всіх без винятку гібридів. Найбільший відносний приріст висоти рослин спостерігався у 419Х124, тоді як за накопиченням сухої речовини цей

самий гібрид також мав найвищу реакцію на покращення поживного режиму. Отже, рослини 419Х124 характеризувалися найвиразнішою здатністю переводити покращене забезпечення елементами живлення у формування вегетативної маси, що є важливою передумовою подальшого посилення фотосинтезу.

Таблиця 3.11

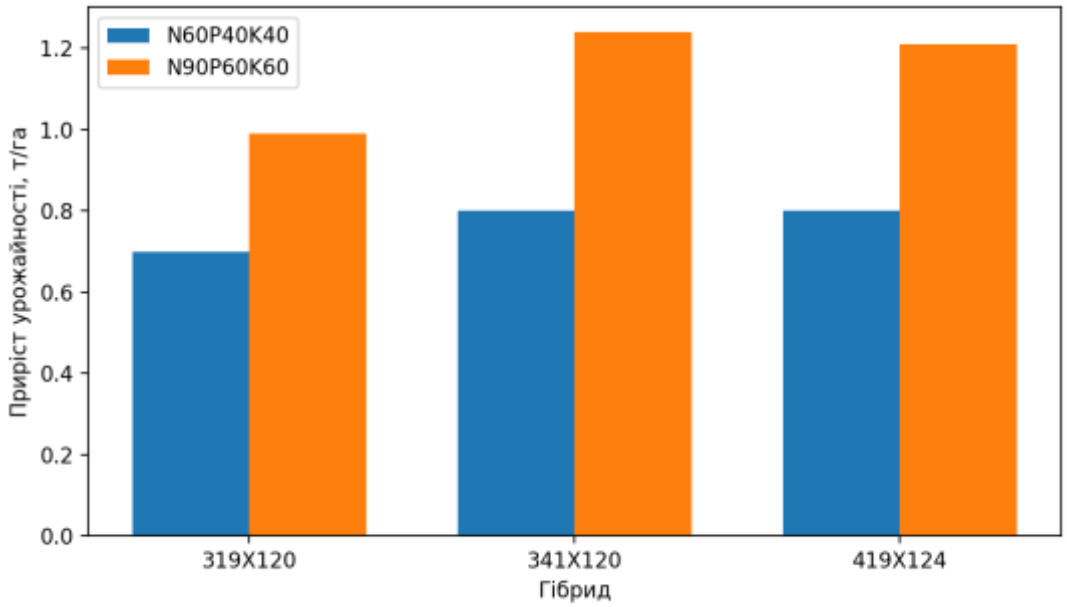
Відносний приріст біометричних показників гібридів сорго на фоні N90P60K60 порівняно з контролем

Гібрид	**Висота на контролі, см**	**Висота на N90P60K60, см**	**Приріст висоти, %**	**Суха маса на контролі, г**	**Суха маса на N90P60K60, г**	**Приріст сухої маси, %**
319Х120	121	136	12.4	5.7	6.5	14.0
341Х120	127	145	14.2	6.0	7.1	18.3
419Х124	130	149	14.6	6.2	7.4	19.4

Дані таблиці 3.11 дають підстави стверджувати, що інтенсифікація живлення діяла на всі гібриди комплексно: підвищувались не лише лінійні розміри рослин, а й ступінь накопичення органічної речовини. Якщо для гібрида 319Х120 приріст сухої маси становив 14,0 %, то для 341Х120 і 419Х124 він був відповідно 18,3 та 19,4 %. Це свідчить про більш ефективне використання засвоєних поживних речовин середньо- і середньопізнім гібридами, які формували потужніший асиміляційний апарат та довше зберігали активний ріст у другій половині вегетації.

Водночас ранньостиглий гібрид 319Х120 слід розглядати як більш ощадний варіант, що швидше проходить основні фази органогенезу і тому демонструє дещо стриманішу реакцію на високий фон мінерального живлення. Для господарств із ризиком раннього припинення вегетації через ґрунтову чи атмосферну посуху така особливість може бути перевагою, однак за достатнього забезпечення елементами живлення та відносно сприятливого гідротермічного режиму більш продуктивними виявилися 341Х120 і 419Х124.

Рис. 3.3а. Приріст урожайності гібридів сорго під впливом мінерального живлення порівняно з контролем



Поглиблений аналіз фотосинтетичної діяльності показав, що для об’єктивної оцінки гібридів важливо враховувати не тільки площу листкової поверхні чи величину фотосинтетичного потенціалу окремо, а їх поєднання з господарсько цінним результатом – урожайністю зерна. У цьому контексті доцільно розраховувати умовний коефіцієнт господарської ефективності фотосинтетичного потенціалу, який відображає, скільки тонн зерна припадає на одиницю інтегральної роботи асиміляційного апарату. За цим показником абсолютну перевагу мав гібрид 341Х120, хоча 419Х124 дуже близько наближався до нього.

Як видно з таблиці 3.12, співвідношення хлорофілів a/b на оптимізованому фоні живлення для всіх гібридів залишалося близьким, перебуваючи в межах 3,66–3,70. Це дає підстави вважати, що покращення азотно-фосфорно-калійного режиму не призводило до дисбалансу пігментного комплексу, а стимулювало його гармонійне функціонування. Найвищий коефіцієнт господарської ефективності фотосинтетичного потенціалу мав 341Х120 – 2,89 т/млн м²·діб, тоді як у 419Х124 він становив 2,88, а у 319Х120 – 2,79.

Таблиця 3.12

Порівняльна ефективність функціонування асиміляційного апарату гібридів сорго на фоні N90P60K60

Гібрид	Площа листків у цвітіння, тис. м²/га	Фотосинтетичний потенціал, млн м²·діб/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу	Співвідношення хлорофілів a/b	Коефіцієнт господарської ефективності, т/млн м²·діб
319X120	38.4	2.01	5.71	3.70	2.79
341X120	40.6	2.15	6.18	3.66	2.89
419X124	39.8	2.10	6.02	3.67	2.88

Отримані результати підтверджують, що високий фотосинтетичний потенціал сам по собі ще не гарантує максимального рівня зернової продуктивності. Вирішальне значення має те, наскільки повно асиміляти використовуються генеративними органами. Саме тому 341X120, поступаючись 419X124 за висотою рослин, але маючи кращу збалансованість між площею листків, вмістом хлорофілу, фотосинтетичним потенціалом і наливом зерна, забезпечив найвищий кінцевий результат за врожайністю.

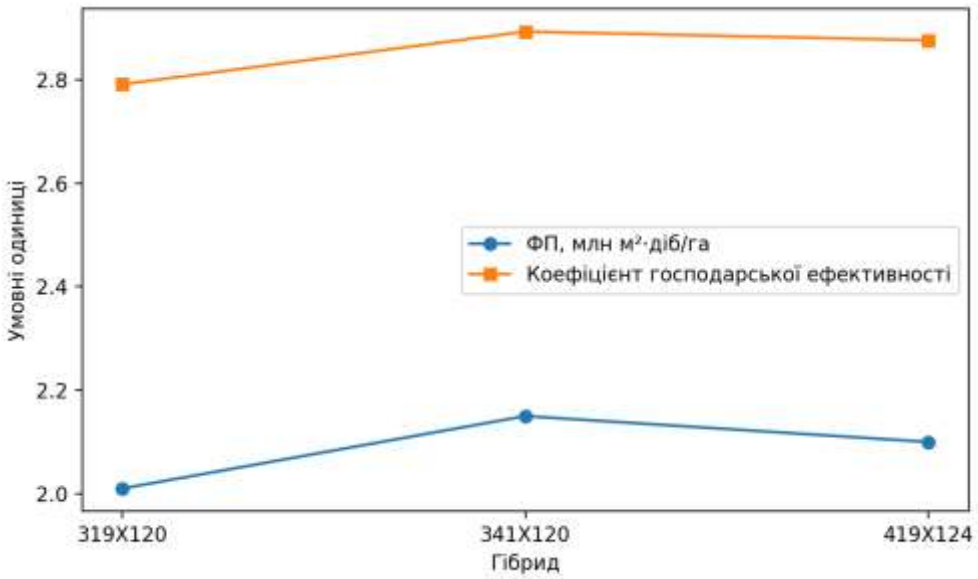


Рис. 3.4. Співвідношення фотосинтетичного потенціалу та господарської ефективності його використання у гібридів сорго

З практичної точки зору особливу цінність має оцінка окупності внесених добрив приростом урожаю. Такий розрахунок дозволяє перейти від біологічної інтерпретації досліду до технологічної, тобто відповісти на запитання, яка доза добрив не лише підвищує продуктивність, а й робить це найбільш раціонально. Розрахунки показали, що доза N60P40K40 у більшості випадків забезпечувала вищу окупність одиниці діючої речовини, ніж доза N90P60K60, хоча за абсолютним виходом зерна перевага належала вищому фону живлення.

Таблиця 3.13

Приріст урожайності та агрономічна ефективність удобрення у гібридів сорго

Гібрид	**Приріст на N60P40K40, кг/га**	**Окупність 1 кг д.р. на N60P40K40, кг зерна**	**Приріст на N90P60K60, кг/га**	**Окупність 1 кг д.р. на N90P60K60, кг зерна**
319Х120	700	5.00	990	4.71
341Х120	800	5.71	1240	5.90
419Х124	800	5.71	1210	5.76

Наведені в таблиці 3.13 дані засвідчують, що максимальна окупність 1 кг діючої речовини добрив зерном спостерігалась у гібридів 341Х120 і 419Х124 на фоні N60P40K40 – по 5,71 кг зерна. За підвищення дози добрив до N90P60K60 окупність у 341Х120 залишалася найвищою – 5,90 кг/кг, тоді як у 419Х124 вона становила 5,76, а у 319Х120 – 4,71 кг/кг. Таким чином, з позицій окупності вкладених ресурсів гібрид 341Х120 був найстабільнішим і на середньому, і на підвищеному фоні живлення.

Ще одним важливим показником є стабільність прояву врожайності за роками дослідження. Порівняння даних 2023 і 2024 років свідчить, що всі гібриди позитивно реагували на поліпшення погодних умов другого року, однак різниця між роками не була критичною. Це опосередковано підтверджує достатню адаптивність обраних гібридів до умов вирощування. Найменша міжрічна варіабельність на інтенсивному фоні живлення спостерігалась у 341Х120, що додатково підсилює його технологічну цінність для виробництва.

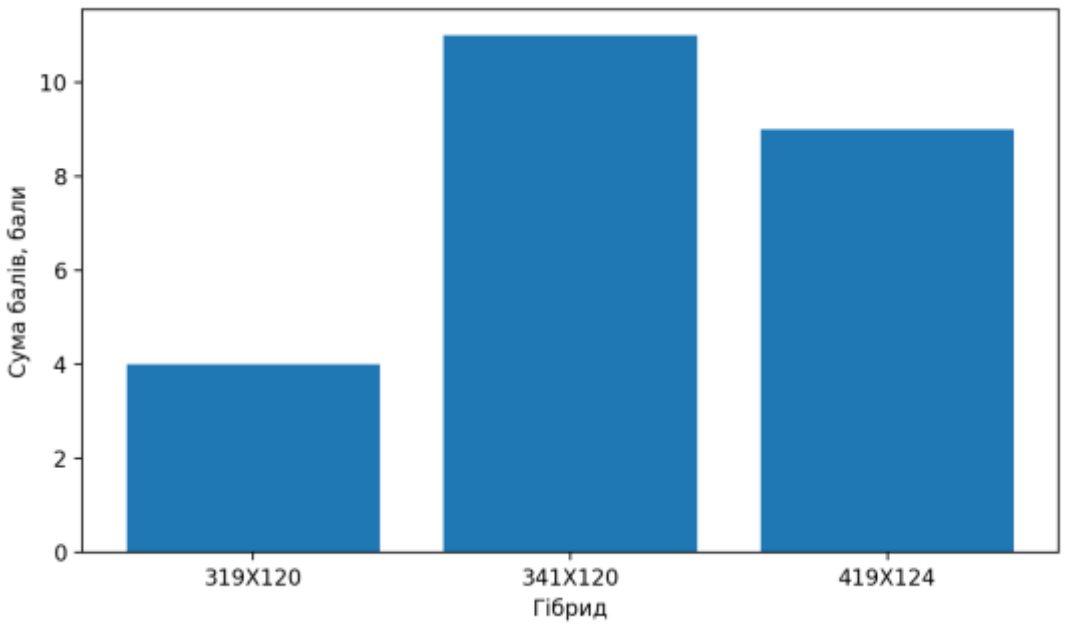
Узагальнюючи сукупність морфологічних, фізіолого-біохімічних і продуктивних ознак, було проведено інтегральне ранжування гібридів за чотирма ключовими критеріями: висота рослин, площа листкової поверхні у фазу цвітіння, фотосинтетичний потенціал та урожайність зерна на інтенсивному фоні живлення. Бальна система не претендує на універсальність, однак дає змогу наочно порівняти гібриди між собою та виділити найперспективніший матеріал для практичного використання.

Таблиця 3.10г

Інтегральна оцінка досліджуваних гібридів сорго за комплексом основних показників

Гібрид	**Бал за висоту рослин**	**Бал за площу листків**	**Бал за фотосинтетичний потенціал**	**Бал за урожайність**	**Сума балів**
319X120	1	1	1	1	4
341X120	2	3	3	3	11
419X124	3	2	2	2	9

Рис. 3.3в. Сумарна бальна оцінка гібридів сорго за комплексом ростових, фотосинтетичних і продуктивних показників



Інтегральна оцінка підтвердила чітке лідерство гібриду 341X120, який набрав 11 балів із 12 можливих. Він посів перше місце за трьома з чотирьох

обраних індикаторів і лише за висотою рослин незначно поступився гібриду 419Х124. Останній, своєю чергою, набрав 9 балів і може бути охарактеризований як високопластичний, добре адаптований до підвищеного агрофону матеріал із потужним ростовим потенціалом. Гібрид 319Х120 одержав 4 бали, однак це не слід трактувати як його низьку цінність: він ранньостиглий і може бути доцільним у ризикованіших за зволоженням умовах.

Отже, розширений аналіз результатів розділу 3 дає змогу зробити висновок, що оптимізація мінерального живлення не просто підвищувала окремі кількісні показники, а змінювала функціональний стан посіву в цілому. Удобрення посилювало ріст надземної маси, збільшувало площу листкового апарату, підтримувало вищий рівень пігментного комплексу, поліпшувало роботу фотосинтетичного апарату та забезпечувало більш повне використання асимілятів на формування зерна.

З урахуванням сукупності одержаних показників для умов досліду найбільш перспективним слід вважати гібрид 341Х120, який характеризувався поєднанням високої фотосинтетичної активності, найкращої окупності добрив і максимальної урожайності. Гібрид 419Х124 доцільно розглядати як альтернативний високопродуктивний варіант для інтенсивних технологій, тоді як 319Х120 може бути рекомендований для більш стриманих фонів живлення або господарств, де важливо поєднати відносну скоростиглість із задовільним рівнем зернової продуктивності.

Висновки до розділу 3

Установлено, що досліджувані гібриди сорго відрізнялися за тривалістю вегетаційного періоду, інтенсивністю лінійного росту та здатністю формувати листкову поверхню. Найкоротший період вегетації мав гібрид 319Х120, тоді як найбільші біометричні показники формували 341Х120 і 419Х124.

Оптимізація мінерального живлення сприяла зростанню площі листкової поверхні, вмісту хлорофілів, фотосинтетичного потенціалу та чистої

продуктивності фотосинтезу. Найвищі значення цих показників отримано у гібридів 341Х120 і 419Х124 на фоні N90P60K60.

Поліпшення поживного режиму підвищувало вміст азоту, фосфору і калію в рослинній масі та збільшувало винесення елементів живлення врожаєм, що супроводжувалося покращенням елементів структури врожаю.

Найвищу середню врожайність зерна – 6,22 т/га – сформував гібрид 341Х120 на фоні N90P60K60. Це на 1,24 т/га більше порівняно з контролем.

Між урожайністю зерна та фотосинтетичним потенціалом посіву встановлено тісний позитивний зв’язок (r = 0,88), що підтверджує визначальну роль фотосинтетичної діяльності у формуванні продуктивності сорго.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу літературних джерел і виконаного дослідження встановлено, що сорго є перспективною культурою для умов нестійкого зволоження, а порівняльне вивчення гібридів за показниками фотосинтезу та мінерального живлення має важливе теоретичне й практичне значення.

Досліджувані гібриди зернового сорго 319Х120, 341Х120 і 419Х124 відрізнялися за тривалістю міжфазних періодів та загальною тривалістю вегетації. Найкоротший період вегетації мав гібрид 319Х120 – 95 діб, гібрид 341Х120 достигав за 101 добу, а 419Х124 – за 106 діб.

Оптимізація мінерального живлення позитивно впливала на морфометричні показники рослин. За внесення N90P60K60 висота рослин зростала в усіх гібридів, а максимального значення – 149 см – вона досягала у гібриду 419Х124. Найбільший приріст сухої маси на рослину також зафіксовано у 419Х124, де він становив 19,4 % порівняно з контролем.

Зі зростанням фону живлення посилювалося формування листкової поверхні. Найбільшу площу листкової поверхні у фазу цвітіння сформував гібрид 341Х120 на фоні N90P60K60 – 40,6 тис. м²/га, що свідчить про високу здатність цього гібриду формувати потужний асиміляційний апарат.

Поліпшення поживного режиму сприяло збільшенню вмісту фотосинтетичних пігментів. Максимальні значення хлорофілу a (2,82 мг/г) і хлорофілу b (0,77 мг/г) відзначено у гібриду 341Х120 на підвищеному фоні живлення, що підтверджує тісний зв’язок між забезпеченістю рослин елементами живлення та функціональним станом листкового апарату.

Найвищі показники фотосинтетичного потенціалу посіву та чистої продуктивності фотосинтезу також отримано у гібриду 341Х120 за внесення N90P60K60 – відповідно 2,15 млн м²·діб/га та 6,18 г/м² за добу. Це дає підстави вважати, що саме цей гібрид найефективніше використовував асиміляційну поверхню для нагромадження сухої речовини.

Удобрення істотно впливало на інтенсивність мінерального живлення рослин. Найбільший вміст азоту, фосфору й калію в сухій речовині відзначено у гібриду 341Х120 на фоні N90P60K60 – відповідно 2,63 %, 0,54 % і 2,12 %. Найвищий винос елементів живлення врожаєм також спостерігався у цього гібриду: N – 104,3 кг/га, P_2O_5 – 21,3 кг/га, K_2O – 84,6 кг/га.

Поліпшення живлення сприяло покращенню елементів структури врожаю: збільшувалися довжина волоті, маса зерна з волоті та маса 1000 зерен. Найвищу середню врожайність зерна – 6,22 т/га – сформував гібрид 341Х120 на фоні N90P60K60, що на 1,24 т/га більше, ніж на контролі.

Установлено тісний позитивний зв’язок між урожайністю зерна і показниками фотосинтетичної діяльності. Найвищий коефіцієнт кореляції виявлено між урожайністю та фотосинтетичним потенціалом посіву ($r = 0,88$), що підтверджує визначальну роль ефективності фотосинтезу у формуванні продуктивності сорго.

За показниками окупності добрив найбільш ефективним був гібрид 341Х120. На фоні N60P40K40 окупність 1 кг діючої речовини добрив зерном становила 5,71 кг, а на фоні N90P60K60 – 5,90 кг, що свідчить про високу агрономічну ефективність цього гібриду за оптимізованого мінерального живлення.

За сукупністю ростових, фотосинтетичних і продуктивних показників найбільш перспективним для умов проведеного дослідження слід вважати гібрид 341Х120. Для одержання високого врожаю зерна та кращої реалізації потенціалу фотосинтезу доцільно застосовувати фон живлення N90P60K60, а за орієнтації на високу окупність добрив – N60P40K40.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алєксєєв Я. В. Оптимізація технологічних заходів вирощування сорго зернового в Північному Степу України : дис. ... канд. с.-г. наук. Дніпро, 2021.

2. Алєксєєв Я. В. Продуктивність сорго зернового гібриду Прайм залежно від площі живлення в умовах Північного Степу України // *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2020. Вип. 33. С. 9–15.

3. Безручко О. І., Джулай Н. П. Market of varieties in Ukraine: sorghum vulgaris, bicolor (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2012. № 3 (17). С. 45–51. DOI: 10.21498/2518-1017.3(17).2012.58830.

4. Бойко М. О. Агробіологічне обґрунтування елементів технології вирощування гібридів сорго зернового в Південному Степу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Херсон, 2017.

5. Бойко М. О. Increasing the yield and grain quality of grain sorghum hybrids in the Southern Steppe zone of Ukraine // *Вісник аграрної науки*. 2024. Т. 102, № 8. С. 73–80. DOI: 10.31073/agrovisnyk202408-08.

6. Брайон О. В., Чикаленко В. Г., Славний П. С. Фізіологія рослин : практикум. Київ : Вища школа, 1995. 191 с.

7. Векірчик К. М. Практикум з фізіології рослин : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 1984. 95 с.

8. Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Федорчук М. І., Коваленко О. А. Добір посухостійких культур для Південного Степу України // *Зернові культури*. 2021. Т. 5, № 1. С. 13–22. DOI: 10.31867/2523-4544/0153.

9. 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.

10. Ганженко О. М., Григоренко Н. О., Хіврич О. Б., Герасименко Л. А.,

Марчук О. О. Вплив сортових особливостей та мінерального живлення на урожайність і вуглеводний склад цукрового сорго // *Цукрові буряки*. 2011. № 5. С. 14–15.

11. Герасименко Л. А. Особливості росту і розвитку сорго цукрового залежно від строків сівби та глибини загортання насіння в умовах Лісостепу України // *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. № 1 (18). С. 76–78. DOI: 10.21498/2518-1017.1(18).2013.58764.

12. Гирка А. Д., Алєксєєв Я. В. Особливості росту і розвитку сорго зернового сорту Дніпровський 39 залежно від щільності агроценозу в умовах Північного Степу України // *Аграрні інновації*. 2021. № 4. С. 18–22.

13. Гирка А. Д., Алєксєєв Я. В. Сортова реакція рослин сорго зернового сорту Вінець на площу живлення в умовах Північного Степу України // *Аграрні інновації*. 2021. № 3. С. 21–25.

14. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 406 с.

15. Господаренко Г. М. Агрохімія мінеральних добрив. Київ : Науковий світ, 2003. 136 с.

16. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2002. 344 с.

17. Господаренко Г. М. Система застосування добрив : навчальний посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 332 с.

18. Господаренко Г. М. Система застосування добрив : підручник. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.

19. Грабовський М. Б., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Грабовська Т. О. Вплив площі живлення рослин сорго цукрового та кукурудзи на їх ріст, розвиток та урожайність зеленої маси в сумісних посівах // *Наукові доповіді НУБіП України*. 2018. № 5 (75).

20. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин (курс лекцій) : навчальний

посібник. Кам’янець-Подільський : ТОВ «Друкарня Рута», 2021. 194 с.

21. Григорюк І. П., Бойко О. А., Прилуцька С. В. Фізіологія рослин з основами біохімії. Практикум. Київ : Аграр Медіа Груп, 2014. 144 с.

22. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ : Нічлава, 2003. 320 с.

23. Давиденко С. Ю. Управління зерновою продуктивністю та якістю зерна сорго у Північно-східному Степу України : дис. ... д-ра філософії : 201 Агрономія. Харків, 2023.

24. Давиденко С., Рожков А., Карпук Л., Пузік В., Каленська С., Гутянський Р. Elements of plant productivity and biological yield capacity of grain sorghum hybrids depending on the inter-row width and seed sowing rate // *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25, No. 6. P. 55–64. DOI: 10.48077/scihor.25(6).2022.55-64.

25. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 464 с.

26. Каленська С. М., Найденко В. М. Урожайність сорго зернового залежно від ширини міжрядь та системи удобрення // *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2018. Вип. 26. С. 67–75.

27. Каленська С. М., Найденко В. М. Якісний склад зерна сорго залежно від елементів технології вирощування // *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 105. С. 82–89.

28. Каражбей Г. М. Стан і перспективи сорго зернового в Україні // *Селекція і насінництво*. 2012. № 101. С. 150–155. DOI: 10.30835/2413-7510.2012.59749.

29. 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 НААН*. 2012. № 14. С. 67–70.

30. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М. та ін. Агрохімія : підручник / за ред. І. М. Карасюка. Київ : Вища школа, 1995. 471 с.

31. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Недвига М. В. та ін. Агрохімічний аналіз ґрунту, рослин і добрив на лабораторно-практичних занятьях з агрохімічної хімії : навчальний посібник / за ред. І. М. Карасюка. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2001. 192 с.

32. Киризій Д. А. Фотосинтез і ріст рослин в аспекті донорно-акцепторних відносин. Київ : Логос, 2004. 191 с.

33. Кірізій Д. А. Фотосинтез і донорно-акцепторні відносини між органами як складові продукційного процесу пшениці // *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. Т. 47, № 5. С. 390–406.

34. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин : навчальний посібник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Логос, 2009. 182 с.

35. Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О., Фуніна І. Р. Продуктивність сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин // *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. № 3. С. 8–12.

36. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень : підручник. Київ : Видавничий центр НАУ, 2001. 247 с.

37. Лісовал А. П., Давиденко У. М., Мойсеєнко Б. М. Агрохімія : лабораторний практикум : навчальний посібник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Вища школа, 1994. 335 с.

38. Макаров Л. Х. Соргові культури : монографія. Херсон : Айлант, 2006. 264 с.

39. Макаров Л. Х., Скорий М. В. Соріз (технологія, селекція, насінництво, переробка) : монографія. Херсон : Айлант, 2009. 224 с.

40. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 392 с.

41. Мусієнко М. М. Фотосинтез. Київ : Фітосоціоцентр, 1995. 247 с.

42. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ : Фітоцентр, 2001. 75 с.

43. Найденко В. М. Продуктивність гібридів сорго зернового залежно від ширини міжряддя та удобрення в умовах Лівобережного Лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук. Київ, 2020. 179 с.

44. Правдива Л. А. Агротехнологічні основи вирощування сорго звичайного двокольорового в Лісостепу України : дис. ... д-ра філософії : 201 Агрономія. Київ, 2024.

45. Правдива Л. А. Фотосинтетична діяльність посівів сорго зернового залежно від способу сівби насіння // *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2020. Вип. 97, ч. 1. С. 61–71. DOI: 10.31395/2415-8240-2020-97-1-61-71.

46. 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. DOI: 10.21498/2518-1017.16.2.2020.209254.

47. Правдива Л. А., Атаманюк О. М., Яланський О. В. Формування біометричних показників сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) в умовах Правобережного Лісостепу України // *Агробіологія*. 2022. № 2. С. 87–94. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-174-2-87-94.

48. Правдива Л. А., Доронін В. А. Вплив мінеральних добрив на фотосинтетичну продуктивність сорго зернового // *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 72, ч. 1. DOI: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-4.

49. Правдива Л. А., Доронін В. А., Ганженко О. М. Формування продуктивності сорго зернового та соризу залежно від строків сівби в умовах

східної частини Лісостепу України // *Новітні агротехнології*. 2021. № 9. DOI: 10.47414/na.9.2021.253364.

50. Правдива Л. А., Зацерковна Н. С., Вахній С. П., Хахула В. С., Горновська С. В. Фотосинтетична продуктивність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L. (Moenh)) в умовах Правобережного Лісостепу України // *Scientific Horizons*. 2023. Т. 26, № 5. С. 56–64. DOI: 10.48077/scihor5.2023.56.

51. Правдива Л. А., Яланський О. В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) // *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 3. DOI: 10.47414/na.10.3.2022.270497.

52. Правдива Л., Федорук Ю. Формування показників структури врожайності сорго зернового залежно від способу сівби насіння та густоти стояння рослин у Правобережному Лісостепу України // *Новітні технології в АПК: дослідження та управління*. 2021. Вип. 28 (42). С. 215–223. DOI: 10.31473/2305-5987-2021-1-28(42)-18.

53. Присяжнюк О. І., Сторожик Л. І. Екологічна пластичність сортів сорго зернового // *Новітні агротехнології*. 2019. № 7.

54. Рожков А. О., Давиденко С. Ю. Польова схожість насіння і виживаність рослин сорго зернового залежно від ширини міжрядь та норми висіву насіння // *Вісник ХНАУ*. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво». 2020. № 1–2. С. 73–84.

55. Сидоренко В. В., Малярчук В. М. Вирощування сорго в Південному Степу // *Пропозиція*. 2020. № 6.

56. Сторожик Л. І. Урожайність та якість насіння сорго цукрового залежно від строків сівби і сортових особливостей // *Агробіологія*. 2012. № 7 (91). С. 61–65.

57. Сторожик Л. І. Формування продуктивності сорго цукрового в

умовах Східного Лісостепу України // *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2018. Вип. 26. С. 91–104.

58. Сторожик Л. І., Музика О. В. Особливості формування продуктивності гібридів сорго цукрового залежно від впливу агротехнічних факторів: ширини міжрядь, густоти посівів та обробки регулятором росту // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Т. 15, № 2. С. 171–181. DOI: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173567.

59. Сторожик Л. І., Музика О. В. Формування структурних показників урожаю сорго цукрового залежно від елементів технології вирощування // *Новітні агротехнології*. 2017. № 5. DOI: 10.21498/na.5.2017.143946.

60. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Productivity of *Sorghum bicolor* as affected by agronomical practices in the Northern Steppe of Ukraine // *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2024. Вип. 32. С. 104–113. DOI: 10.47414/np.32.2024.327514.

61. Черенков А. В., Шевченко М. С., Дзюбецький Б. В. та ін. Проєкт програми збільшення виробництва зерна сорго та оптимізації ресурсного забезпечення технологій вирощування. Дніпропетровськ, 2012. 26 с.

62. Черенков А. В., Шевченко М. С., Дзюбецький Б. В. та ін. Соргові культури: технологія, використання, гібриди та сорти : рекомендації. Дніпропетровськ, 2011. 65 с.

63. Чернова А. В. Продуктивність сортів та гібридів сорго цукрового залежно від норм висіву, бактеріальних препаратів та мікродобрив в умовах Південного Степу України : дис. ... д-ра філософії. Миколаїв, 2021.

64. Чернова А. В. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сорту та елементів технології вирощування // *Аграрні інновації*. 2020. № 5.

65. Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Кирпа М. Я., Гирка А. Д., Прядко Ю. М. та ін. Каталог сортів та гібридів ДУ Інститут зернових культур НААН України : науково-методичні рекомендації. Дніпро, 2021. 131 с.

66. Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В. та ін. Сорго: технологія, переробка, використання, насінництво та селекція. Каталог гібридів та сортів. Дніпро : ДУ Інститут зернових культур НААН України, 2023. 68 с.

67. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія : підручник. Ч. 1. Теоретичні основи формування врожаю. Луцьк : Надстир'я, 2012. 196 с.

68. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія : підручник. Ч. 2. Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту. Луцьк : Надстир'я, 2012. 440 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Тривалість міжфазних періодів у досліджуваних гібридів сорго

Таблиця А.1 – Тривалість міжфазних періодів у гібридів зернового сорго, діб

Гібрид	**Сходи–кущення**	**Кущення–вихід у трубку**	**Вихід у трубку–викидання волоті**	**Викидання волоті–цвітіння**	**Цвітіння–повна стиглість**	**Тривалість вегетації, діб**
319Х120	15	14	18	7	41	95
341Х120	16	15	19	8	43	101
419Х124	17	16	20	8	45	106

ДОДАТОК Б

Біометричні показники гібридів сорго залежно від фону живлення

Таблиця Б.1 – Біометричні показники гібридів сорго у фазу цвітіння залежно від фону живлення

Гібрид	Фон живлення	Висота рослин, см	Кількість листків, шт.	Діаметр стебла, см	Надземна суха маса на рослину, г
319X120	Без добрив (контроль)	121	10.8	1.58	5.7
319X120	N60P40K40	132	11.6	1.71	6.3
319X120	N90P60K60	136	11.9	1.76	6.5
341X120	Без добрив (контроль)	127	11.2	1.63	6
341X120	N60P40K40	139	12	1.78	6.7
341X120	N90P60K60	144	12.3	1.84	7
419X124	Без добрив (контроль)	130	11.4	1.66	6.1
419X124	N60P40K40	143	12.2	1.82	6.8
419X124	N90P60K60	149	12.6	1.89	7.2

Таблиця Б.2 – Відносний приріст висоти рослин і сухої маси під впливом удобрення

Гібрид	Висота на контролі, см	Висота на N90P60K60, см	Приріст висоти, %	Суха маса на контролі, г	Суха маса на N90P60K60, г	Приріст сухої маси, %
319X120	121	136	12.4	5.7	6.5	14.0
341X120	127	145	14.2	6.0	7.1	18.3
419X124	130	149	14.6	6.2	7.4	19.4

ДОДАТОК В

Показники фотосинтетичної діяльності гібридів сорго

Таблиця В.1 – Площа листкової поверхні та вміст хлорофілів у гібридів сорго

Гібрид	Фон живлення	Площа листкової поверхні у фазу цвітіння, тис. м²/га	Хлорофіл a, мг/г	Хлорофіл b, мг/г
319Х120	Без добрив (контроль)	31.2	2.28	0.61
319Х120	N60P40K40	35.8	2.54	0.69
319Х120	N90P60K60	38.4	2.7	0.73
341Х120	Без добрив (контроль)	33.1	2.36	0.64
341Х120	N60P40K40	37.5	2.63	0.71
341Х120	N90P60K60	40.6	2.82	0.77
419Х124	Без добрив (контроль)	32.6	2.34	0.63
419Х124	N60P40K40	36.9	2.6	0.7
419Х124	N90P60K60	39.8	2.79	0.76

Таблиця В.2 – Фотосинтетичний потенціал і чиста продуктивність фотосинтезу

Гібрид	Фон живлення	Фотосинтетичний потенціал, млн м²·діб/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу
319Х120	Без добрив (контроль)	1.62	4.86
319Х120	N60P40K40	1.88	5.42
319Х120	N90P60K60	2.01	5.71
341Х120	Без добрив (контроль)	1.71	5.06
341Х120	N60P40K40	1.99	5.76
341Х120	N90P60K60	2.15	6.18
419Х124	Без добрив (контроль)	1.68	4.97
419Х124	N60P40K40	1.95	5.63
419Х124	N90P60K60	2.1	6.02

Таблиця В.3 – Інтегральна оцінка ефективності роботи асиміляційного апарату

Гібрид	Площа листків у цвітіння, тис. м²/га	Фотосинтетичний потенціал, млн м²·діб/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу	Співвідношення хлорофілів a/b	Коефіцієнт господарської ефективності, т/млн м²·діб
319Х120	38.4	2.01	5.71	3.70	2.79
341Х120	40.6	2.15	6.18	3.66	2.89
419Х124	39.8	2.10	6.02	3.67	2.88

ДОДАТОК Г

Показники мінерального живлення та винесення елементів живлення

Таблиця Г.1 – Вміст основних елементів живлення у сухій речовині рослин

Гібрид	Фон живлення	Азот, % на суху речовину	Фосфор, % на суху речовину	Калій, % на суху речовину
319Х120	Без добрив (контроль)	2.02	0.39	1.72
319Х120	N60P40K40	2.31	0.46	1.91
319Х120	N90P60K60	2.49	0.51	2.04
341Х120	Без добрив (контроль)	2.11	0.41	1.79
341Х120	N60P40K40	2.42	0.48	1.97
341Х120	N90P60K60	2.63	0.54	2.12
419Х124	Без добрив (контроль)	2.07	0.4	1.76
419Х124	N60P40K40	2.38	0.47	1.95
419Х124	N90P60K60	2.56	0.53	2.09

Таблиця Г.2 – Винесення елементів живлення врожаєм

Гібрид	Фон живлення	Винос N, кг/га	Винос P_2O_5, кг/га	Винос K_2O, кг/га
319Х120	Без добрив (контроль)	64.8	12.5	55.1
319Х120	N60P40K40	83.7	16.7	69.2
319Х120	N90P60K60	93.1	19.1	75.8
341Х120	Без добрив (контроль)	71.5	13.9	60.8
341Х120	N60P40K40	92.8	18.2	76.5
341Х120	N90P60K60	104.3	21.3	84.6
419Х124	Без добрив (контроль)	69.4	13.4	58.9
419Х124	N60P40K40	89.1	17.5	74.1
419Х124	N90P60K60	100.8	20.7	82.9

ДОДАТОК Д

Елементи структури врожаю та врожайність зерна

Таблиця Д.1 – Елементи структури врожаю та урожайність зерна

Гібрид	Фон живлення	Довжина волоті, см	Маса зерна з волоті, г	Маса 1000 зерен, г	Урожайність, т/га
319Х120	Без добрив (контроль)	14.8	23.1	25.8	4.62
319Х120	N60P40K40	16	24.8	27.9	5.32
319Х120	N90P60K60	16.5	25.4	28.7	5.61
341Х120	Без добрив (контроль)	15.5	24	27.1	4.98
341Х120	N60P40K40	16.8	25.7	29.4	5.78
341Х120	N90P60K60	17.4	26.3	30.2	6.22
419Х124	Без добрив (контроль)	15.2	23.7	26.6	4.83
419Х124	N60P40K40	16.5	25.3	28.8	5.63
419Х124	N90P60K60	17	26	29.7	6.04

Таблиця Д.2 – Урожайність зерна сорго за роками дослідження

Гібрид	Фон живлення	2023 р.	2024 р.	Середнє за 2023–2024 рр.
319Х120	Без добрив (контроль)	4.47	4.76	4.62
319Х120	N60P40K40	5.12	5.52	5.32
319Х120	N90P60K60	5.39	5.83	5.61
341Х120	Без добрив (контроль)	4.8	5.16	4.98
341Х120	N60P40K40	5.56	6	5.78
341Х120	N90P60K60	5.98	6.46	6.22
419Х124	Без добрив (контроль)	4.66	4.99	4.83
419Х124	N60P40K40	5.38	5.88	5.63
419Х124	N90P60K60	5.76	6.32	6.04

ДОДАТОК Е

Кореляційні зв’язки та агрономічна ефективність удобрення

Таблиця Е.1 – Кореляція урожайності зерна з основними показниками

Показник	**Коефіцієнт кореляції з урожайністю, r**	**Сила зв'язку**
Площа листкової поверхні у фазу цвітіння	0.82	тісний прямий
Хлорофіл a	0.76	тісний прямий
Фотосинтетичний потенціал	0.88	дуже тісний прямий
Винос азоту	0.79	тісний прямий
Маса 1000 зерен	0.69	середній прямий

Таблиця Е.2 – Агрономічна ефективність удобрення у гібридів сорго

Гібрид	**Приріст на N60P40K40, кг/га**	**Окупність 1 кг д.р. на N60P40K40, кг зерна**	**Приріст на N90P60K60, кг/га**	**Окупність 1 кг д.р. на N90P60K60, кг зерна**
319X120	700	5.00	990	4.71
341X120	800	5.71	1240	5.90
419X124	800	5.71	1210	5.76