

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ
НАУК УКРАЇНИ»

ПРАВДИВА ЛЮДМИЛА АНАТОЛІЇВНА



УДК 633.174:631.5:620.9

**АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО
ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

06.01.09 – рослинництво

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора сільськогосподарських наук

Чабани – 2024

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України упродовж 2016–2022 рр.

Науковий консультант – доктор сільськогосподарських наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України
ДОРОНІН Володимир Аркадійович,
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, завідувач лабораторії насіннезнавства, насінництва та розсадництва

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор,
ДЗЮБАЙЛО Андрій Григорович,
Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, головний науковий співробітник

доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН України,
КАЛЕНСЬКА Світлана Михайлівна,
Національний університет біоресурсів і природокористування МОН України,
завідувач кафедри рослинництва

доктор сільськогосподарських наук, професор
КУЛИК Максим Іванович, Полтавський державний аграрний університет МОН України,
професор кафедри селекції, насінництва і генетики

Захист відбудеться «23» травня 2024 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 27.361.01 при ННЦ «ІЗ НААН» за адресою: 08162, вул. Машинобудівників, 2-Б, смт Чабани, Фастівський район, Київська область

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ННЦ «ІЗ НААН» за адресою: 08162, вул. Машинобудівників, 2-Б, смт Чабани, Фастівський район, Київська область

Реферат розіслано «19» квітня 2024 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради,
доктор сільськогосподарських наук



А. В. Голодна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Нині, досить актуальною є проблема забезпечення потреб населення в альтернативних джерелах енергії. Нагальним питанням сьогодення є поліпшення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики. Нестача природних енергоресурсів (нафти, газу й вугілля), виникнення проблеми забруднення навколишнього середовища і недостатня кількість енергетичних джерел енергії спонукають вчених до пошуку альтернативних. У зв'язку з цим виробники здійснюють добір культур, які формують високу урожайність зерна й надземної біомаси в різних ґрунтово–кліматичних умовах.

В Україні наявні необхідні передумови, які забезпечують вирощування культур енергетичного спрямування з високою продуктивністю. Використання адаптивних технологій, оптимізація технологічних процесів вирощування біоенергетичних культур, переробляння надземної маси та використання біопалива дасть змогу збільшити частку біоенергетики в структурі енергетичного балансу країни.

Основними напрямками біоенергетичної галузі є пошук дешевої біосировини, нових технологічних рішень та створення потрібної інфраструктури для вирощування й переробляння біомаси рослин за допомогою біологічних і хімічних процесів у різні види біопалива: рідкі, газоподібні та тверді. Тому для забезпечення зростання цієї галузі необхідно створити належну кількість сировинної бази, провідне місце у формуванні якої відводиться крохмалемістким культурам, зокрема, сорго звичайному двокольоровому або зерновому (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Актуальність теми. Актуальність досліджень обумовлена потребою обґрунтування агротехнологічних основ вирощування сорго звичайного двокольорового, формування та функціонування умов його стабільного виробництва, необхідністю в удосконаленні елементів технології вирощування культури та оптимізації їх дії, впровадження яких забезпечить стабілізацію виробництва високоякісного зерна сорго звичайного двокольорового в Лісостепу України.

Сорго звичайне двокольорове – унікальна за своїми біологічними особливостями та господарсько цінними ознаками культура. Основними з них є посухостійкість, стабільна врожайність, універсальність використання, значний потенціал біомаси та висока адаптованість до умов вирощування в Україні. Забезпечення продовольчої та енергетичної безпеки з використанням зерна та вегетативної маси сільськогосподарських культур є важливим завданням для будь-якої країни.

Селекційними та агротехнологічними питаннями вирощування сорго звичайного двокольорового займалися такі вчені: О. В. Яланський, В. Л. Гамандій, В. І. Серeda, С. М. Каленська, Л. І. Сторожик, О. М. Ганженко, Д. Б. Рахметов, Б. В. Дзюбецький, С. В. Красенков, Я. В. Алексєєв, І. П. Гринюк та ін. Однак, у більшості досліджень сорго вивчали як продовольчу культуру та для використання в кормовиробництві. Водночас, комплексне дослідження і впровадження елементів технології вирощування сорго звичайного двокольорового у виробництво як сировини для харчової промисловості й виробництва рідкого біопалива у вигляді біоетанолу та твердого палива у вигляді брикетів і пелетів є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані упродовж 2016–2022 рр. і є складовою частиною науково-дослідної роботи відділу технологій вирощування біоенергетичних культур Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН на 2016–2020 рр. згідно з ПНД 16 “Селекція, насінництво і розсадництво та технологія вирощування біоенергетичних культур як сировини для виробництва рідких, твердих і газоподібних видів палива” завдання 16.00.02.03.Ф «Розробити методичні основи та здійснити порівняльну оцінку енергетичного потенціалу зернового сорго як сировини для виробництва біопалива» (номер державної реєстрації 0116U002198); відділу селекції і сталих технологій вирощування та переробляння біоенергетичних культур ІБКЦБ НААН на 2021–2025 рр. згідно з ПНД 26 “Біотехнологія, селекція, насінництво, розсадництво та технологія сталого вирощування біоенергетичних культур як сировини для виробництва біоматеріалів та біопалива” завдання 26.00.02.03.Ф «Розроблення екологічних та біологічних основ високопродуктивного вирощування сорго зернового у різних ґрунтово-кліматичних зонах України» (номер державної реєстрації 0121U100401); відділу агрохімічних досліджень ІБКЦБ НААН на 2021–2025 рр. згідно з ПНД 26 “Біотехнологія, селекція, насінництво, розсадництво та технологія сталого вирощування біоенергетичних культур як сировини для виробництва біоматеріалів та біопалива” завдання 26.00.02.07.Ф «Розроблення агрохімічних основ управління генетичним потенціалом сорго зернового в умовах змін клімату» (номер державної реєстрації 0121U100597).

Мета і завдання дослідження. Мета досліджень полягала у теоретичному обґрунтуванні та удосконаленні агротехнологічних основ вирощування сорго звичайного двокольорового на підставі встановлення параметрів формування і функціонування умов стабільного виробництва, та поєднання комплексу основних агротехнічних заходів в умовах Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення наступних завдань:

- узагальнити принципи формування умов стабільного виробництва сорго звичайного двокольорового, їх дієвого функціонування, враховуючи біологічні потреби рослин за впливу ґрунтово-кліматичних і технологічних чинників;
- визначити особливості інтенсивного росту та розвитку рослин залежно від сортових ознак, метеорологічних та агротехнічних умов вирощування;
- встановити критерії формування врожаю сорго звичайного двокольорового залежно від умов його вирощування;
- встановити особливості впливу сорту, стимулятора росту рослин, строку сівби, глибини загортання насіння, способу сівби, норми висіву насіння на проходження морфологічних та фізіологічних процесів і формування зернової та вегетативної маси;
- визначити вплив доз мінеральних добрив на формування продуктивності сортів сорго звичайного двокольорового;
- встановити ефективність способів контролювання чисельності бур'янів у посівах;

– обґрунтувати строки збирання насіння сорго звичайного двокольорового та визначити їх вплив на насінневі показники (лабораторна та польова схожість насіння, чистота, маса 1000 насінин тощо), надземної вегетативної маси, та їх якісні показники (маса, суха речовина тощо);

– провести економічну та енергетичну оцінку досліджуваних елементів технології вирощування культури для виробництва біопалива.

Об'єкт дослідження – процес формування продуктивності сорго звичайного двокольорового та закономірності росту і розвитку рослин залежно від елементів технології вирощування в Лісостепу України.

Предмет дослідження – сорти сорго звичайного двокольорового, елементи технології вирощування: стимулятор росту рослин, строк та спосіб сівби, глибина загортання насіння, доза добрив, способи контролювання чисельності бур'янів, збирання зерна та біомаси.

Методи дослідження. Польовий – спостереження за ростом і розвитком рослин, формуванням урожайності, умовами зовнішнього середовища упродовж періоду вегетації культури. Лабораторний – визначення посівних якостей насіння, хімічного складу сировини, вмісту сухої речовини в рослинах. Вимірювально-ваговий – визначення вологості ґрунту на період сівби, обліку біометричних показників рослин та врожайності. Математично-статистичний – оцінка достовірності експериментальних даних методом дисперсійного, кореляційного і регресійного та кластерного аналізів. Розрахунково-порівняльний – встановлення економічної ефективності та енергетичної оцінки досліджуваних факторів.

Наукова новизна одержаних результатів досліджень полягає у тому, що *вперше*:

– обґрунтовано агротехнологічні та екологічні положення інтенсифікації вирощування сорго звичайного двокольорового, формування та функціонування умов його виробництва враховуючи біологічні потреби рослин за впливу ґрунтово-кліматичних та технологічних чинників;

– встановлено параметри основних даних ґрунтово-кліматичних умов впродовж періоду вегетації на формування врожаю, залежності та тісноти зв'язку між показниками погодних умов, урожайністю та стабільністю вирощування сорго звичайного двокольорового в Лісостепу України;

– визначено особливості впливу елементів технології вирощування (сорти, строки та способи сівби, удобрення, способи контролювання чисельності бур'янів) на перебіг формування продуктивності сортів сорго звичайного двокольорового;

– розроблено математичні моделі залежності продуктивності сорго звичайного двокольорового від дії основних елементів технології вирощування;

– обґрунтовано та розроблено методичні положення щодо розрахункового виходу біопалива та енергії з насіння і вегетативної маси сорго звичайного двокольорового, стабільного виробництва необхідної кількості біосировини і впровадження у виробництво високопластичних сортів за удосконаленої технології вирощування сорго звичайного двокольорового.

Удосконалено:

– технологію вирощування сорго звичайного двокольорового (підтверджено патентами: № 126252 Двофазний спосіб збирання сорго зернового, № 126245 Спосіб підгортання просапних культур на схилах, № 126251 Спосіб підготовки поля для сівби сорго, № 133238 Спосіб вирощування зернового сорго).

Набули подальшого розвитку:

– наукові положення щодо фотосинтетичної продуктивності агрофітоценозу сорго звичайного двокольорового та формування урожайності, якості насіння і біомаси залежно від сортових особливостей та елементів технології вирощування.

Практичне значення одержаних результатів. На основі результатів польових та лабораторних досліджень удосконалено технологію вирощування сорго звичайного двокольорового і формування високопродуктивних посівів, яку викладено в методичних рекомендаціях: «Методичні рекомендації з технології вирощування сорго зернового як сировини для харчової промисловості та виробництва біопалива», 2020 р., «Методичні рекомендації з проведення спостережень, обліків та визначення якісних показників у дослідженнях сорго зернового», 2021 р., «Методичні рекомендації з розрахунку виходу біогазу та біоетанолу з біоенергетичних культур», 2021 р., «Науково-методичні рекомендації. Сорго: технологія, переробка, використання, насінництво та селекція. Каталог гібридів та сортів», 2023 р. та впроваджені на дослідно-селекційних станціях ІБКЦБ і в господарствах Київської, Сумської, Хмельницької та Кіровоградської областей на площі близько 105 га.

Результати наукових досліджень широко використовують в науково-дослідному процесі, програмах підвищення кваліфікації агрономічного спрямування та у навчальному процесі Білоцерківського національного аграрного університету.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота написана автором на основі результатів польових і лабораторних досліджень. Здобувачем здійснено інформаційний пошук, проаналізовано та узагальнено літературні джерела за темою дисертаційної роботи, визначено мету і завдання досліджень, обґрунтовано напрям роботи, розроблено програму польових, лабораторних досліджень і спостережень. Експериментальні дані, отримані автором, проаналізовані та узагальнені, статистично обраховані, сформульовані наукові положення, висновки та рекомендації виробництву. Самостійно та в співавторстві опубліковано наукові праці за результатами досліджень (частка в яких становить 30–70 %).

Апробація результатів дисертації. Матеріали досліджень, викладені в дисертації, доповідалися на засіданнях методичних комісій (2017–2023 рр.), координаційно-методичних рад (2018–2022 рр.), на засіданнях вченої ради Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (2020–2023 рр.) та конференціях. Публікація тез доповідей: Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми ведення сільського господарства та підготовки фахівців аграрного профілю» (15 лютого 2018 р., м. Біла Церква); Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні агротехнології» (10 вересня 2020 р.,

м. Київ); Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту» (30 жовтня 2020 р., м. Біла Церква); Міжнародній науково-практичній конференції «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур» (26 листопада 2020 р., м. Дніпро); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання сучасної аграрної науки» (21 грудня 2020 р., м. Умань); Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку» (4–5 березня 2021 р., м. Біла Церква); Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні агротехнології» (3 червня 2021 р., м. Київ); Міжнародній науково-практичній конференції «Гончарівські читання» (25 травня 2021 р., м. Суми); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми аграрного виробництва на сучасному етапі і шляхи їх вирішення» (1–2 липня 2021 р., м. Харків); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні аспекти підвищення продуктивного та адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур у контексті європейського зеленого курсу» (16 листопада 2022 р., с. Центральне); Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення та перспективи розвитку» (30 березня 2023 р., м. Біла Церква); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, присвяченої до дня науки в Україні «Формування інноваційних агротехнологій в умовах змін клімату для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України» (18–19 травня 2023 р., м. Одеса); Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації у сучасному агропромисловому виробництві» (21–22 вересня 2023 р., м. Одеса); Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту» (26 жовтня 2023 р., м. Біла Церква).

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертаційної роботи викладено в 68 наукових працях: з них 22 – у фахових виданнях України, 4 – у виданнях, що входять до бази Scopus, 1 – у виданні іншої держави, що додатково висвітлює результати досліджень, 4 – у науково-практичних рекомендаціях виробництву, 33 – у тезах доповідей і матеріалів наукових конференцій, 4 – патентах України на корисну модель.

Обсяг і структура дисертаційної роботи. Дисертація викладена на 490 сторінках комп'ютерного тексту, з них 325 – основного, і складається зі вступу, 8 розділів, висновків та списку використаної літератури до кожного розділу, основних висновків, рекомендацій виробництву. Містить 144 таблиці і 94 рисунки, 7 додатків. Список використаних джерел – 445, з них латиницею – 154.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ВИСОКО-ПРОДУКТИВНИХ ПОСІВІВ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО (огляд наукової літератури)

У розділі проаналізовано результати досліджень українських та зарубіжних дослідників щодо основ формування високопродуктивних посівів сорго звичайного двокольорового. Наведено посівні площі, валовий збір та урожайність зерна сорго звичайного двокольорового в Україні та світі. Відмічено

сортний потенціал культури, значення та морфобіологічні особливості, потреби до умов вирощування. Показано вплив агротехнологічних заходів на продуктивність сорго звичайного двокольорового. Встановлено, що наразі недостатньо вивчено елементи технології вирощування сорго звичайного двокольорового як біоенергетичної культури, зокрема стимулятора росту рослин, строку сівби та глибини загортання насіння, способу сівби та норми висіву насіння, дози добрив, способу контролювання чисельності бур'янів, особливостей збирання, та властивостей сортів різних груп стиглості. На основі аналізу наукової літератури обґрунтовано необхідність проведення досліджень щодо впливу елементів технології вирощування в Лісостепу України, що сприятиме отриманню високої продуктивності і якості культури.

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в умовах підзони нестійкого зволоження Білоцерківської дослідно-селекційної станції (частина Правобережного Лісостепу України), Ялтушківської дослідно-селекційної станції (частина Західного Лісостепу) та Іванівської дослідно-селекційної станції (частина Лівобережного Лісостепу), й підзони недостатнього зволоження Веселоподільської дослідно-селекційної станції (частина Лівобережного Лісостепу).

В умовах Білоцерківської ДСС ІБКІЦБ НААН України досліди проводили на чорноземах типових крупнопилувато-середньосуглинкового гранулометричного складу. Агрохімічні властивості шару ґрунту (0–25 см) характеризувалися такими показниками: вміст гумусу – 3,5 % (за Тюрінім), гідролітична кислотність – 2,41 мг-екв. (за Каппеном), лужногідролізованого азоту (N) – 134 мг (за Корнфільдом), P_2O_5 – 276 мг, K_2O – 98 мг на 1 кг ґрунту (за Чиріковим). Ступінь насиченості основами – 90 %.

В умовах Ялтушківської ДСС ІБКІЦБ НААН України досліди були розміщені на сірих лісових слабозмитих, крупнопилувато-середньосуглинкових ґрунтах. Агрохімічні властивості шару ґрунту (0–25 см) мали такі показники: вміст гумусу – 1,87 % (за Тюрінім), лужногідролізованого азоту в 1 кг ґрунту – 63 мг (за Корнфільдом), рухомих форм фосфору – 109 мг, обмінного калію – 119 мг (за Чиріковим). Гідролітична кислотність – 2,9 мг-екв. на 100 г ґрунту (за Каппеном), рН ґрунту – 5,3, сума вбірних основ – 22,4 мг-екв./100 г. Ступінь насиченості основами – 80–83 %.

В умовах Іванівської ДСС ІБКІЦБ НААН України дослідження проводили на чорноземі типовому слабосолонцюватому важкосуглинковому. Агрохімічні показники шару ґрунту (0–25 см) такі: вміст гумусу – 4,5–4,7 % (за Тюрінім); pH_{H_2O} – 7,2–7,4; лужногідролізованого азоту – 180 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом); вміст P_2O_5 – 190–200 мг/кг, K_2O – 100–110 мг/кг ґрунту (за Чиріковим). Ємність поглинання обмінних катіонів становить 26–31 мг-екв. на 100 г ґрунту.

В умовах Веселоподільської ДСС ІБКІЦБ НААН України дослідження проводили на чорноземі типовому слабосолонцюватому малогумусному середньосуглинковому. Агрохімічні показники шару ґрунту (0–25 см) такі: загальний вміст гумусу – від 4,8 до 5,1 % (за Тюрінім), вміст лужногідролізованого

азоту – 110–115 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих форм P_2O_5 – 25–50, K_2O – 90–130 мг/кг ґрунту (за Мачигінім). Реакція ґрунтового розчину орного шару слаболужна (рН 7,4–7,6). Гідролітична кислотність – 0,37–0,39 мг-екв. на 100 г ґрунту (за Каппеном).

Погодні умови. В умовах Білоцерківської ДСС гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК) у 2016, 2017 та 2018 рр. в середньому за вегетаційний період (квітень–вересень) становив 0,74, 0,60 та 0,78, що характеризує умови вегетації як середньопосушливі, у 2019 та 2020 роках він становив 0,96 та 0,87 – в межах слабкої посухи, у 2021 році – 1,22, що характеризує умови вегетації як достатньо вологі та у 2022 році – 0,45, спостерігається сильна посуха.

Проведений аналіз погодних умов на Ялтушківській ДСС показав, що за вологозабезпеченістю роки були доволі контрастними. Середня посуха спостерігалася у 2016 та 2022 роках – ГТК = 0,57 та 0,56. Слабка посуха була відмічена у 2018 та 2020 роках – ГТК = 0,84 та 0,89. Достатньо вологими були 2019 та 2021 роки, де ГТК становив 1,40 та 1,02. Надмірно вологим був 2017 рік – ГТК становив 2,13.

В умовах Іванівської ДСС відмічали сприятливі погодні умови для росту і розвитку рослин сорго звичайного двокольорового. Зокрема, у 2016, 2017 та 2022 роках відмічено достатнє вологозабезпечення ГТК = 1,1, 2,01 та 1,17. У 2018 та 2019 рр. – середня посуха, ГТК = 0,65 і 0,67. У 2020 та 2021 роках вегетація рослин проходила в умовах слабкої посухи, ГТК = 0,89 та 0,95.

Узагальнюючи погодні умови на Веселоподільській ДСС загалом відмічено, що 2016 та 2017 роки є достатньо та надмірно вологими ГТК = 1,3 та 1,77. Умови середньої посухи спостерігали у 2018 (ГТК = 0,67) та 2019 рр. (ГТК = 0,9), слабка посуха відмічена у 2020 році (ГТК становить 0,88).

У середньому за роки проведення досліджень погодні умови були типовими для зони Лісостепу України та сприятливими для вирощування сорго звичайного двокольорового в цій зоні.

Програма науково-дослідних робіт передбачала закладання і проведення наступних дослідів.

Дослід 1. Вплив стимулятора росту на формування продуктивності сорго звичайного двокольорового (2016–2019 рр., БЦДСС). Схема досліду: оброблення насіння (фактор А): оброблення водою (контроль); оброблення стимулятором росту. Обприскування посівів стимулятором росту (фактор В): без оброблення насіння+обприскування посівів стимулятором росту; оброблення насіння+обприскування посівів стимулятором росту.

Дослід 2. Дослідити вплив сортових особливостей, строків сівби та глибини загортання насіння на продуктивність сорго звичайного двокольорового (2016–2020 рр., БЦДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Вінець. Строк сівби (фактор В): за температури ґрунту на глибині 10 см 5–6 °С (ІІІ декада квітня); 12–14 °С (І декада травня); 16–18 °С (ІІ декада травня). Глибина загортання насіння (фактор С): 2; 4; 6; 8 см.

Дослід 3. Дослідити вплив строків сівби на продуктивність сортів сорго звичайного двокольорового (2016–2020 рр., ЯДСС, ІДСС, ВПДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Самаран 6. Строк сівби

(фактор В): за температури ґрунту на глибині 10 см – 5–6 °С (ІІІ декада квітня); 12–14 °С (І декада травня); 16–18 °С (ІІ декада травня).

Дослід 4. Формування продуктивності сорго звичайного двокольорового залежно від сортових особливостей, способів сівби і норми висіву насіння (2016–2020 рр., БЦДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Вінець. Спосіб сівби (фактор В): звичайний рядковий (міжряддя 15 см), широкорядний (міжряддя 45 і 70 см). Норма висіву насіння (фактор С): 150, 200 і 250 тис. шт./га.

Дослід 5. Формування продуктивності сортів сорго звичайного двокольорового залежно від норми висіву насіння (2016–2020 рр., ЯДСС, ІДСС, ВПДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Вінець. Норма висіву насіння (фактор В): 150, 200 і 250 тис. шт./га.

Дослід 6. Продуктивність сорго звичайного двокольорового залежно від доз мінеральних добрив (2016–2020 рр., БЦДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Вінець. Доза добрив (фактор В): без добрив (контроль); $N_{30}P_{30}K_{30}$; $N_{60}P_{60}K_{60}$; $N_{90}P_{90}K_{90}$; $N_{120}P_{120}K_{120}$; $N_{50}P_{40}K_{70}$ – розрахована на заплановану урожайність 7 т/га.

Дослід 7. Формування продуктивності сортів сорго звичайного двокольорового залежно від доз мінеральних добрив (2018–2020 рр., ЯДСС, ВПДСС; 2019–2022 рр., ІДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Самаран 6. Доза добрив (фактор В): без добрив (контроль); $N_{60}P_{60}K_{60}$; $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Дослід 8. Формування продуктивності сорго звичайного двокольорового залежно від способу контролювання чисельності бур'янів (2016–2019 рр., БЦДСС, 2018–2020 рр., ЯДСС, ВПДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Вінець, Самаран 6. Спосіб контролювання чисельності бур'янів (фактор В): без прополювання (контроль 1); механічний спосіб; хімічний спосіб; ручне прополювання (контроль 2).

Дослід 9. Вплив строків збирання сорго звичайного двокольорового на посівну якість насіння та урожайність (2016–2019 рр., БЦДСС). Схема досліду: сорт (фактор А): Дніпровський 39, Вінець. Побуріння волоті (фактор В): 50; 75; 100 %.

Дослід 10. Ріст, розвиток та продуктивність сортів сорго звичайного двокольорового різних груп стиглості залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування (2020–2022 рр.). Схема досліду: Сорт, гібрид (фактор А): Сват – ранньостиглий гібрид; Смотрич – середньостиглий сорт; Ярона – пізньостиглий сорт. Умови вирощування (фактор В): БЦДСС, ЯДСС.

Площа посівної ділянки у дослідках становила 50–125 м², облікової – 25–50 м², повторність досліду – чотириразова. Розміщення ділянок за методом систематичних повторювань: в кожному повторенні варіанти досліду розміщено по ділянках послідовно.

В дослідках проводили наступні обліки та спостереження:

Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом перед сівбою або одразу після сівби та на період збирання культури (ДСТУ ISO 11465:2001).

Розрахункову дозу добрив визначали на заплановану урожайність

балансово-розрахунковим методом з врахуванням вмісту поживних речовин у ґрунті (Господаренко Г.М.).

Впродовж року фіксували подекадно температуру повітря та кількість опадів, порівнюючи їх із середніми багаторічними даними для кожної зони. Гідротермічний коефіцієнт Селянінова розраховували на основі подекадних значень температури повітря та кількості опадів.

Масу 1000 насінин, лабораторну схожість насіння визначали за ДСТУ 4138-2002.

Фенологічні спостереження проводили візуально, відмічаючи початок фази росту і розвитку рослин після настання її у 10–15 % рослин і повну фазу – у 70–75 % рослин. У сорго відмічали фази повних сходів (коли зійшло близько 75 % рослин), кущіння, повного викидання волоті (75 %), початкового (10–15 %) і повного (75 %) цвітіння, молочно-воскової, воскової і повної стиглості зерна (Вовкодав В. В.).

Густоту стояння рослин визначали після появи сходів та перед збиранням, способом підрахунку рослин на 1 метрі рядка в 5 місцях по діагоналі ділянки з наступним перерахунком на 1 га (Єщенко В.О.).

Біометричні показники: висоту рослин, діаметр стебла та фотосинтетичні показники у період вегетації рослин. Облік врожаю з облікової площі проводили суцільним способом відповідно до схеми досліду (Єщенко В.О.).

Якісні показники: вміст крохмалю в зерні визначали за допомогою поляриметричного методу за Еверсом; вміст в зерні сирій клейковини – ваговим методом; вмісту жиру – методом знежиреного залишку; вміст білка (сирого протеїну) – за методом Кьельдаля (ДСТУ 4117: 2007).

Вміст хлорофілу в листках сорго визначали за фазами відбору культури в спиртовій витяжці за допомогою екстракції хлорофілу спектрофотометричним методом за довжини хвилі 649 Нм (хлорофіл а) та 665 Нм (хлорофіл в) (Бессонова В.П.).

Вихід біопалива із зерна і біомаси та вихід енергії розраховували відповідно до методичних рекомендацій, розроблених та затверджених в ІБКІЦБ.

Параметри екологічної стабільності та пластичності урожайності сорго розраховували згідно з методикою Ебергарда-Рассела. Розрахунки виконували в пакеті прикладних програм PTC Mathcad Prime 3.1.

Економічну оцінку досліджуваних елементів технології вирощування культури здійснювали згідно з методикою оцінки завершених наукових досліджень (Роїк М.В., Збарський В.К.).

Енергетичну оцінку здійснювали за методикою О.К. Медведовського.

Результати досліджень опрацьовували за допомогою дисперсійного та кореляційно-регресійного методів, а також методу кластеризації із застосуванням пакету «STATISTICA 12». Зокрема, для кластеризації даних використовували комплекс показників врожайності сорго звичайного двокольорового та структури врожаю. За проведення розрахунків користувались методом найближчого сусіда з врахуванням Евклідових відстаней (Присяжнюк О.І.).

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ДІЇ ФАКТОРІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ

Екологічна оцінка умов вирощування сорго звичайного двокольорового в Україні. Встановлено, що в умовах України основним фактором впливу на формування урожайності сорго звичайного двокольорового є температура повітря та опади, які впливають на зміну врожайності, що пов'язано з посухостійкістю сорго та можливістю раціонально витратити воду й отримувати її з нижніх шарів ґрунту. Рівняння залежності урожайності від суми опадів і середньодобових температур повітря має вигляд: $Y = 12,59 + 0,001O - 0,772T$, де Y – урожайність, т/га; O – сума опадів, мм; T – середньодобові температури повітря, °С.

Вплив дії факторів інтенсифікації на польову схожість насіння сорго звичайного двокольорового. Наведено результати динаміки росту і розвитку сортів сорго звичайного двокольорового різних груп стиглості рослин залежно від стимулятора росту рослин, строку сівби, глибини загортання насіння, норми висіву, способу сівби, доз добрив, способу контролювання чисельності бур'янів.

Найвищу польову схожість насіння відмічали за сівби при температурі 12–14 °С та глибині загортання насіння 6 см, яка становила у сортів Дніпровський 39 – 86,8 %, Вінець – 85,4 %, відповідно (БЦДСС). За цього строку сівби рослини оптимально забезпечені теплом і вологою, що позначилось на формуванні показників росту і розвитку рослин.

За сівби широкорядним способом (міжряддя 45 см) та норми висіву насіння 200 тис. шт./га його польова схожість була найвищою й становила 88,7 % у сорту Дніпровський 39 та 86,9 % – у сорту Вінець. Із збільшенням норми висіву польова схожість підвищувалась, сходи були дружнішими. У сорту Дніпровський 39 вона змінювалась від 82,6 до 84,1 % за вирощування на Іванівській ДСС, від 83,2 до 85,9 % – на Веселоподільській ДСС та від 84,9 до 86,2 % – на Ялтушківській ДСС. У сорту Самаран 6 польова схожість була дещо меншою, що пояснюється його біологічними особливостями.

Вплив передпосівної обробки насіння стимулятором росту на його схожість, інтенсивний ріст і розвиток рослин. Обприскування посівів стимулятором росту та комплексне застосування стимулятора росту для передпосівного оброблення насіння і обприскування посівів забезпечило достовірне підвищення польової схожості насіння, біометричних показників рослин та сприяло збільшенню тривалості періоду вегетації культури, порівняно як з контролем, так із обробленим насінням.

Особливості формування агрофітоценозу культури залежно від умов та елементів технології вирощування. Результати досліджень показали, що залежно від груп стиглості тривалість періоду вегетації різнилася на 7–8 діб в умовах нестійкого зволоження Білоцерківської ДСС, та на 9–10 діб в умовах Ялтушківської ДСС. Зокрема, у гібрида Сват період вегетації становив 108–109 діб, у сорту Смотрич – 116–119 діб, у сорту Ярона – 123–128 діб. Тривалість міжфазних періодів також різнилась залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування, різниця становила 2–5 діб (табл. 1).

Тривалість міжфазних періодів росту та розвитку сорго звичайного двокольорового залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування та груп стиглості сортів, діб, середнє за 2020–2022 р.

Місце проведення досліджень	Гібрид / сорт, їх стиглість	Міжфазний період, діб								
		сходи – 3–4 листки	3–4 листки – кущіння	кущіння – вихід у трубку	вихід у трубку – стеблування	стеблування – викидання волоті – цвітіння	цвітіння – формування зернівки	формування зернівки – воскова стиглість	воскова – повна стиглість	Тривалість періоду вегетації
БЦДСС	Сват (ранньостиглий)	12	15	13	12	8	18	19	11	108
	Смотрич (середньостиглий)	14	16	13	13	9	18	21	12	116
	Ярона (пізньостиглий)	14	17	14	13	10	19	20	16	123
ЯДСС	Сват (ранньостиглий)	13	13	13	12	8	19	19	12	109
	Смотрич (середньостиглий)	15	15	14	13	8	20	20	14	119
	Ярона (пізньостиглий)	14	17	13	15	9	22	22	17	128
НІР _{0,05}		2	2	1	2	1	2	3	1	4

На основі отриманих показників росту і розвитку рослин за нестійкого зволоження Білоцерківської та Ялтушківської ДСС оптимальні умови відмічали для ранньостиглих і середньостиглих сортів.

Оптимізація мінерального живлення рослин сорго звичайного двокольорового. Максимальні показники польової схожості насіння сорго звичайного двокольорового отримані у досліді з внесенням N₅₀P₄₀K₇₀, N₆₀P₆₀K₆₀ і N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀. Застосування добрив у посівах сорго сприяло росту і розвитку рослин упродовж періоду вегетації, формуючи високу урожайність зерна та біомаси. Кореляційно-регресійний аналіз даних показав сильну залежність між діаметром стебла та висотою рослин. Коефіцієнт кореляції становив R=0,741 (Дніпровський 39) та R=0,720 (Вінець).

Ефективність способів контролювання чисельності бур'янів у посівах. Досліджено, що на початку вегетації кількість бур'янів була високою і становила від 108,4 до 119,7 шт./м², після застосування хімічного і механічного обробітків їх чисельність зменшилась, ефективність дії становила 76–79 %, що менше на 18 % за контроль 2 (ручне прополювання). У контролі 1 (без прополювання) кількість бур'янів збільшилась майже на 10 % (БЦДСС, ЯДСС).

ФОТОСИНТЕТИЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Фотосинтетичний потенціал посіву сорго звичайного двокольорового. Актуальною проблемою сільського господарства є підвищення продуктивності

фотосинтезу, що забезпечує формування високої урожайності культур.

За сівби насіння при температурі 12–14 °С (I декада травня) та глибини загортання 4–6 см площа листової поверхні була найбільшою і в середньому за період вегетації становила у сорту Дніпровський 39 – 36,18–38,89 тис. м²/га, у сорту Вінець – 34,34–36,88 тис. м²/га. Найвищий фотосинтетичний потенціал також сформувався у рослин сорго за цього ж строку сівби і глибини загортання, в середньому за період вегетації становив 1,26–1,33 млн м²/га у сорту Дніпровський 39 і 1,18–1,23 млн м²/га у сорту Вінець. Чиста продуктивність фотосинтезу становила у сорту Дніпровський 39 – 3,81–4,06 г/м² за добу, у сорту Вінець – 3,76–3,95 г/м² за добу (БЦДСС).

За результатами дисперсійного аналізу було встановлено частку впливу досліджуваних факторів на чисту продуктивність фотосинтезу рослин сорго звичайного двокольорового (рис. 1).

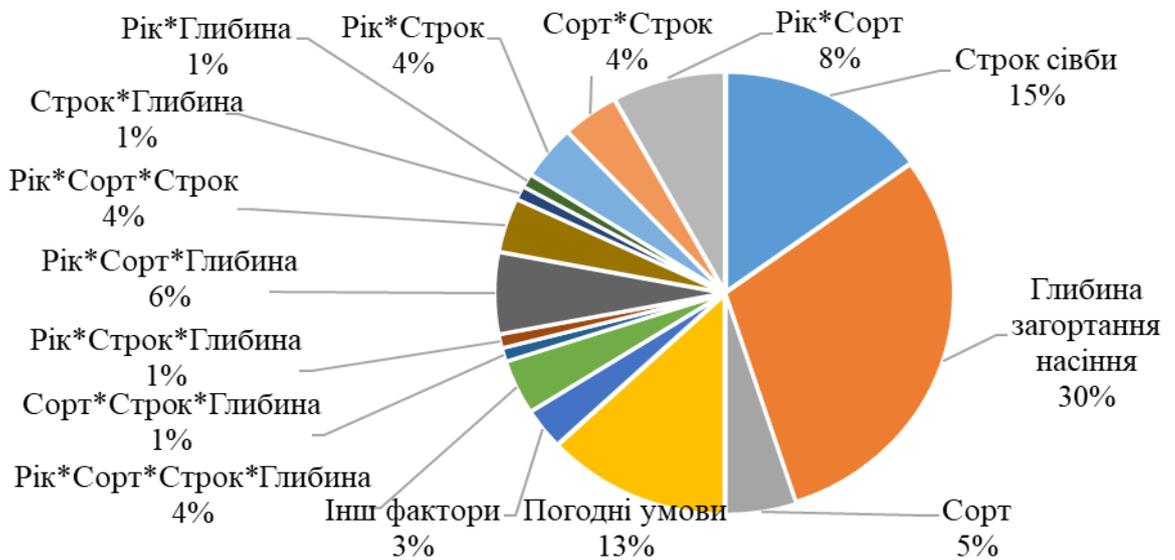


Рис. 1. Частка впливу досліджуваних факторів на чисту продуктивність фотосинтезу, %, середнє за 2016–2020 рр., БЦДСС

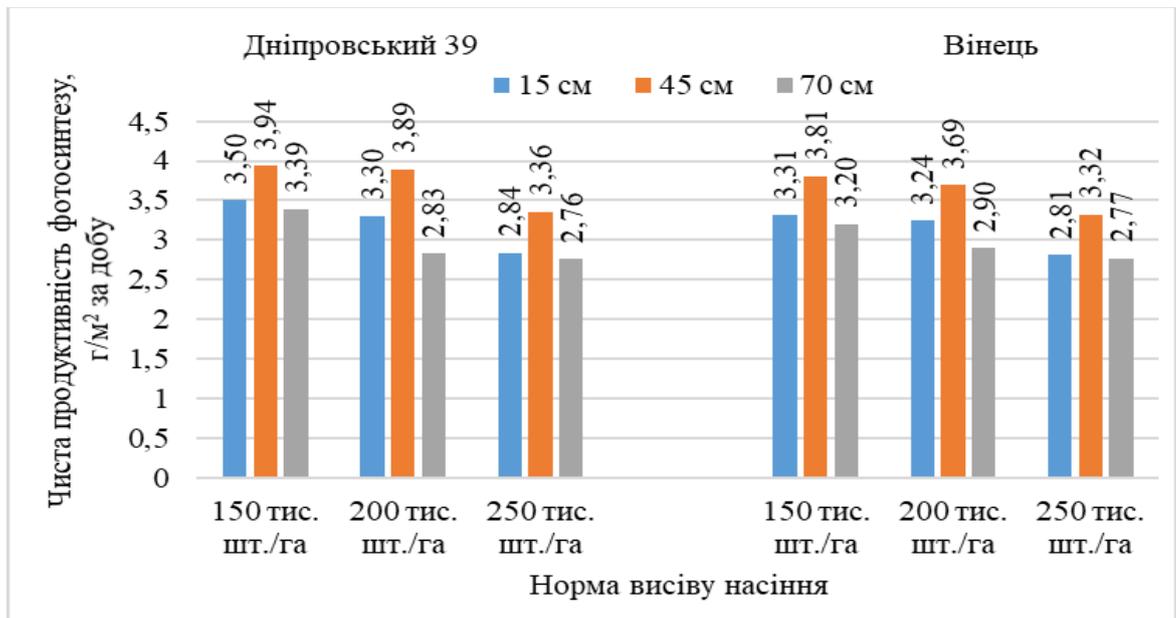
Встановлено, що площа листової поверхні різнилася як за періодами росту і розвитку рослин, так і від варіанта застосування стимулятора росту. Оброблення насіння та обприскування посівів підвищувало площу листової поверхні, порівняно з контролем, на 20–55 % залежно від фази розвитку.

У фазу цвітіння площа листової поверхні рослин мала максимальні значення, і становила 36,1 тис. м²/га з обробленням насіння стимулятором росту, 38,9 тис. м²/га – за обприскування лише посівів та 40,32 тис. м²/га – з обробленням насіння і обприскуванням посівів. У контролі площа листової поверхні була найнижчою – 33,5 тис. м²/га.

Фотосинтетичний потенціал змінювався залежно від розміру площі листової поверхні впродовж періоду вегетації. Найвищим він був у разі застосування стимулятора росту для оброблення насіння та обприскування рослин у посівах і становив 1,31 млн м²×діб /га; за оброблення лише насіння він був нижчим на 3–5 %. Найменший показник фотосинтетичного потенціалу (1,21 млн м²×діб/га) відмічали в контролі, без застосування стимулятора росту.

Чиста продуктивність фотосинтезу посіву залежала від варіанта використання стимулятора росту, зокрема найбільш високі значення були отримані за оброблення насіння та обприскування посівів і становили 6,12 г/м² за добу, що менше за контроль на 1,45 г/м² за добу.

Фотосинтетична продуктивність залежно від сортових особливостей та способів сівби. Збільшення площі листової поверхні рослин сприяло підвищенню фотосинтетичного потенціалу і формуванню кращих умов для розвитку генеративних органів рослин та, відповідно, отримання високої продуктивності. Фотосинтетична продуктивність сягала максимуму за сівби насіння широкорядним способом (міжряддя 45 см) (рис. 2). За даними дисперсійного аналізу встановлено, що найбільший вплив мали ширина міжрядь та норма висіву насіння.



НІР_{0,05}: А–0,04; В–0,04; С–0,03; АВС – 0,31; АВ–0,03; АС–0,02; ВС–0,02

Рис. 2. Чиста продуктивність фотосинтезу сорго звичайного двокольорового залежно від ширини міжрядь та норм висіву насіння, середнє за 2016 – 2020 рр., БЦДСС

Фотосинтетична діяльність посівів сорго звичайного двокольорового залежно від доз мінеральних добрив та способів контролювання бур'янів. Максимальною чиста продуктивність фотосинтезу рослин була за внесення N₅₀P₄₀K₇₀, N₉₀P₉₀K₉₀ і N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ (БЦДСС). Відмічено лінійну кореляцію між площею листової поверхні та чистою продуктивністю фотосинтезу, яка описується рівнянням регресії $Y = 2,0818x + 26,668$ ($R^2 = 0,9596$) і $Y = 2,8377x + 21,114$ ($R^2 = 0,975$), де Y – площа листової поверхні, (млн м²/га)×діб; x – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу.

Чиста продуктивність фотосинтезу із збільшенням доз добрив зростала на всіх варіантах дослідів. Найменшою вона була на контролі без добрив і максимуму сягала за внесення N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀. У міжфазний період «воскова – повна стиглість» становила 3,56 г/м² за добу у сорту Дніпровський 39 та 3,35 г/м² за добу у сорту Самаран 6 (ЯДСС); 3,60 та 3,57 г/м² за добу, відповідно, в умовах ІДСС; і 3,55 та

3,51 г/м² за добу у досліджуваних сортів в умовах ВПДСС.

Серед факторів впливу на формування ЧПФ були дози добрив (28 %), погодні умови років досліджень (19 %), сорти (10 %) та взаємодія факторів (31 %).

Фотосинтетична продуктивність також залежала від технологій догляду за посівами сорго. В умовах Білоцерківської ДСС за хімічного способу контролювання чисельності бур'янів площа листкової поверхні була вищою порівняно з контролем 1 (без прополювання) у сорту Дніпровський 39 на 12,5 та у сорту Вінець на 12,8 %, за механічного – на 23,9 та 27,3 %, і за контроль 2 (ручне прополювання) – на 34,2 та 35,8 %. Фотосинтетичний потенціал та чиста продуктивність фотосинтезу мали аналогічну закономірність.

В умовах Ялтушківської ДСС за хімічного та механічного захистів посівів площа листкової поверхні у міжфазний період «викидання волоті – цвітіння» становила 29,8 та 26,3 тис. м²/га у сорту Дніпровський 39 і 29,3 та 27,81 тис. м²/га у сорту Самаран 6. Фотосинтетичний потенціал у середньому за період вегетації у сорту Дніпровський 39 становив 1,20 та 1,13 млн м²/га×діб, чиста продуктивність фотосинтезу – 3,24 та 3,48 г/м² за добу, у сорту Самаран 6, відповідно, 1,19 і 1,14 млн м²/га×діб та 3,39 і 3,17 г/м² за добу. Показники фотосинтезу були вищими за контроль 1 (без прополювання) і дещо нижчими порівняно з контролем 2 (ручне прополювання). Таку ж закономірність спостерігали в умовах Веселоподільської ДСС.

Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу в середньому за період вегетації відмічено у ранньостиглого гібрида Сват – 3,77 г/м² за добу (БЦДСС) та 3,65 г/м² за добу (ЯДСС) і середньостиглого сорту Смотрич (3,82 г/м² та 3,74 г/м² за добу). Дещо нижчими показниками характеризувався пізньостиглий сорт Ярона (3,46 г/м² та 3,32 г/м² за добу).

ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Залежність урожайності сорго звичайного двокольорового від способу підготовки насіння до сівби. Використання стимулятора росту Вермистим впливало на формування врожайності зерна та біомаси, і у варіанті з обробленням насіння та обприскуванням посівів ці показники становили 7,10 та 35,9 т/га, що нижче за контроль на 2,70 та 6,70 т/га. Підвищувався також і вміст сухої речовини в зерні та надземній масі і становив 86,9 та 28,2 %, що менше на 1,7 та 4,8 % порівняно з контролем.

Оброблення насіння та обприскування посівів стимулятором росту сприяло істотному підвищенню показників структури врожаю сорго звичайного. Отримано максимальні показники довжини та маси волоті (29,4 см та 52,3 г), кількості зерна у волоті (1625 штук), а також масу зерна з волоті та масу 1000 насінин (47,5 та 29,8 г), за показників в контролі: довжина волоті – 23,8 см, маса волоті – 47,2 г, кількість зерен у волоті – 1460 штук, маса зерна з волоті – 39,2 г та маса 1000 насінин – 24,2 г.

Комплексний вплив факторів інтенсифікації на урожайність сорго звичайного двокольорового. У зоні нестійкого зволоження Білоцерківської ДСС

найвищу врожайність зерна (7,4 т/га у сорту Дніпровський 39 і 6,7 т/га у сорту Вінець) та біомаси (44,4 т/га у сорту Дніпровський 39 і 39,5 т/га у сорту Вінець) отримано за сівби насіння при температурі ґрунту 12–14 °С (І декада травня) та за глибини загортання насіння 6 см. Встановлено, що найбільш вагомими чинниками впливу на врожайність сорго був строк сівби (21 %), сорт (19 %) та глибина загортання насіння (17 %).

В умовах ІДСС висока продуктивність сорго звичайного двокольорового формувалася за сівби насіння при температурі 12–14 °С та 16–18 °С – І та ІІ декада травня (рис. 3). Аналогічну закономірність відмічали і за вирощування сорго в умовах Ялтушківської ДСС.

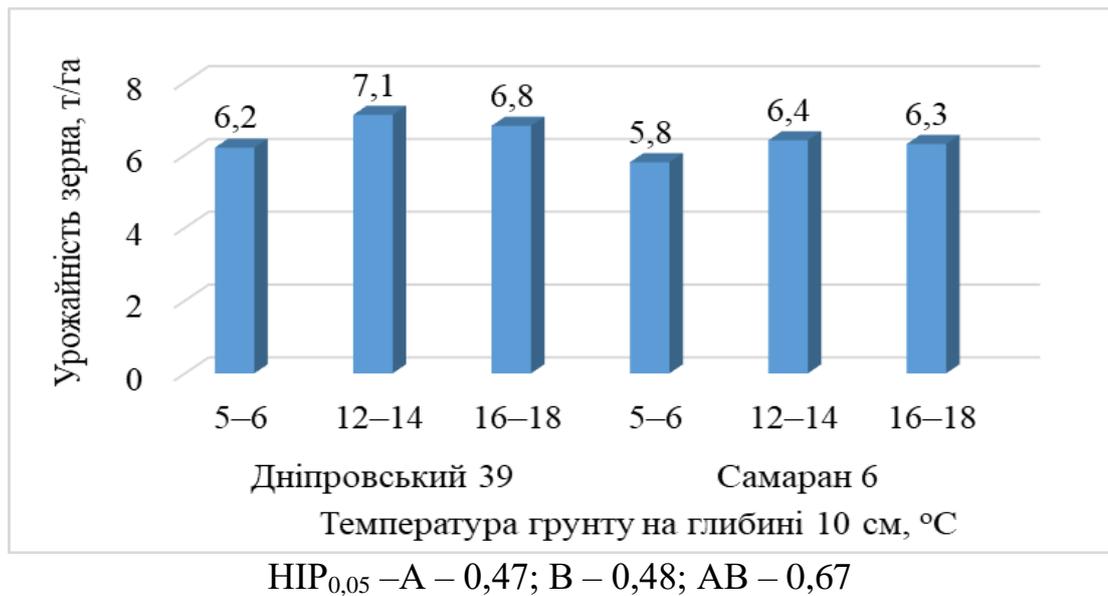


Рис. 3. Урожайність сорго звичайного двокольорового залежно від строку сівби, т/га, 2016–2020 рр., ІДСС

В умовах Веселоподільської ДСС максимальна урожайність зерна та біомаси у сортів Дніпровський 39 та Самаран 6 отримана за сівби насіння у І декаді травня за температури ґрунту 12–14 °С. В середньому за роки досліджень у сорту Дніпровський 39 урожайність зерна становила 7,5 т/га, біомаси – 46,7 т/га. У сорту Самаран 6 урожайність зерна та біомаси, відповідно становила 5,4 та 36,9 т/га. За сівби насіння при температурі 16–18 °С урожайність зерна та біомаси була нижчою і становила 6,8 та 44,1 т/га у сорту Дніпровський 39 і 4,9 та 34,0 т/га у сорту Самаран 6.

Максимальну врожайність зерна сорго звичайного двокольорового відмічали за сівби широкорядним способом (міжряддя 45 см) та норми висіву насіння 200 і 250 тис. шт./га. Доведено, що зменшення ширини міжрядь (до 15 см) і збільшення (до 70 см) та відхилення від оптимальної норми висіву зумовлювало зниження врожайності зерна сорго звичайного двокольорового.

Вплив доз мінеральних добрив та способів контролювання чисельності бур'янів на формування врожаю сорго звичайного двокольорового. За використання доз мінеральних добрив від N₃₀P₃₀K₃₀ до N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ урожайність зерна збільшувалась у сортів Дніпровський 39 та Вінець на Ялтушківській ДСС

від 2,85 до 3,45 т/га, на Іванівській ДСС – від 5,40 до 6,11 т/га та на Веселоподільській ДСС – від 6,10 до 6,5 т/га. У сорту Самаран 6, відповідно, від 2,74 до 3,30 т/га (ЯДСС), від 4,86 до 5,94 т/га (ІДСС) та від 4,50 до 5,42 т/га (ВПДСС) (табл. 3). В умовах БЦДСС найвищу врожайність відмічали за внесення $N_{50}P_{40}K_{70}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$ та $N_{120}P_{120}K_{120}$.

В умовах Білоцерківської ДСС урожайність зерна та біомаси залежно від хімічного способу контролювання чисельності бур'янів становила у сорту Дніпровський 39 – 5,30 т/га зерна та 26,5 т/га біомаси, що перевищувало контроль 1 на 2,5 та 4,2 т/га й було нижче за контроль 2, відповідно, на 1,1 та 2,5 т/га. За механічного способу урожайність зерна та біомаси становила 4,40 та 25,10 т/га, що порівняно з контролем 1 більше на 1,6 та 2,8 т/га й менше на 2,0 та 3,9 т/га за контроль 2. Аналогічну закономірність спостерігали і у сорту Вінець.

В умовах Ялтушківської ДСС за механічного способу контролювання бур'янів урожайність сорту Дніпровський 39 була значно вищою порівняно з контролем на 0,55 т/га зерна та на 5,4 т/га біомаси. За хімічного способу та ручного прополювання урожайність становила 3,40 та 3,90 т/га зерна і 29,07 та 31,23 т/га біомаси, що також вище за контроль 1. Аналогічні результати отримали і по сорту Самаран 6.

В умовах Веселоподільської ДСС спостерігається така ж послідовність щодо продуктивності сортів сорго залежно від забур'яненості посіву та способів контролювання бур'янів. Зокрема, у контролі 1 (без прополювання) по сорту Дніпровський 39 отримали найнижчу урожайність зерна та біомаси – 2,90 та 24,80 т/га. За механічного способу контролювання бур'янів урожайність зерна та біомаси становила 3,40 і 26,33 т/га. За хімічного способу та ручного прополювання урожайність значно вища і становила 4,60 та 5,70 т/га зерна і 28,0 та 32,13 т/га біомаси. Аналогічна залежність з урожайності культури та способів контролювання чисельності бур'янів спостерігалася і по сорту Самаран 6, урожайність зерна та біомаси була найнижчою у варіанті без прополювання і становила 2,10 та 23,07 т/га, за механічного, відповідно, 3,10 і 26,5 т/га, та хімічного способу – 4,90 і 27,73 т/га.

Формування продуктивності та елементів структури врожаю сорго звичайного двокольорового залежно від умов вирощування та групи стиглості сортів. За умов нестійкого зволоження на Білоцерківській ДСС високу врожайність зерна та біомаси отримано у ранньо- та середньостиглих сортів. Урожайність зерна гібрида Сват та сорту Смотрич була 4,0 та 4,6 т/га, що на 0,5 та 1,1 т/га вище за врожайність пізньостиглого сорту Ярона, яка становила 3,5 т/га. У зоні нестійкого зволоження Ялтушківської ДСС відмічали аналогічну залежність.

Якість зерна сорго звичайного двокольорового залежно від сортових особливостей та елементів технології вирощування.

Застосування добрив значно покращувало якість зерна сорго, зокрема у сорту Дніпровський 39 вміст білка в зерні збільшився від 9,7 (контроль) до 12,4 % за внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$, та від 9,1 до 12,2 % у сорту Вінець, відповідно. Вміст жиру у сортів Дніпровський 39 та Вінець: за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ становив, відповідно – 3,37 та 3,34 %, а за $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 3,62 та 3,52 %. За внесення розрахункової дози вміст жиру був майже таким як і за $N_{120}P_{120}K_{120}$. Добрива позитивно впливали на

накопичення крохмалю в зерні сорго. Зокрема, зі збільшенням дози від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{120}P_{120}K_{120}$ вміст крохмалю у сорту Дніпровський 39 підвищувався до 70,1 %, у сорту Вінець – до 68,8 %. Значно менший його вміст відмічали у варіанті без внесення добрив – 65,4 та 63,7 % (табл. 2).

Таблиця 2

Якісні показники насіння сорго звичайного двокольорового залежно від доз мінеральних добрив, % на суху речовину, середнє за 2016 – 2019 рр., БЦДСС

Сорт	Варіант	Вміст сирого, %				
		білка	жиру	золи	клітковини	крохмалю
Дніпровський 39	Без добрив (контроль)	9,70	3,12	1,68	2,16	65,4
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	10,1	3,37	1,79	2,24	67,1
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	11,2	3,41	1,82	2,39	68,2
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	11,8	3,57	1,86	2,47	68,6
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	12,4	3,62	1,91	2,50	70,1
	Розрахункова доза добрив	12,1	3,56	1,84	2,48	69,8
Вінець	Без добрив (контроль)	9,10	3,10	1,71	2,15	63,7
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	9,60	3,34	1,78	2,22	65,8
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	10,8	3,38	1,83	2,37	66,7
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	11,8	3,45	1,87	2,46	67,4
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	12,2	3,51	1,90	2,49	68,6
	Розрахункова доза добрив	11,9	3,52	1,89	2,47	68,3
НІР _{0,05}		0,66	0,16	0,09	0,03	3,67

За хімічного способу контролювання чисельності бур'янів вміст білка у зерні становив 10,6 % у сорту Дніпровський 39 та 10,7 % – у сорту Вінець, що вище за контроль 1 (без прополювання) на 0,8 % та 1,0 % і нижче на 0,5 та 0,9 % за контроль 2 (ручне прополювання); вміст жиру та золи становив 3,38 і 1,82 % у сорту Дніпровський 39, що вище на 0,24 та 0,12 % порівняно з варіантом без прополювання (контроль 1) та на 0,07 і 0,06 % нижче за варіант з ручним прополюванням (контроль 2), у сорту Вінець ці показники становили 3,36 та 1,84 %, що вище за контроль 1 на 0,21 і 0,16 % та нижче контролю 2 на 0,06 і 0,05 %. У сорту Дніпровський 39 вміст клітковини в середньому по досліді становив від 2,11 до 2,34 %, крохмалю – від 64,2 до 71,0 %. У сорту Вінець вміст клітковини 2,14–2,31 %, крохмалю – 65,0–69,3 %.

Вплив строків та способів збирання на якість насіння сорго звичайного двокольорового. За побуріння волоті на 50 та 75 % – знижувались якісні показники насіння. За побуріння волоті на 100 %, вологість зерна зменшувалась до 14,0 % у сорту Дніпровський 39 та до 13 % у сорту Вінець, водночас як за

побуріння волоті на 50 та 75 % вона становила 47,0 та 32,0 % у сорту Дніпровський 39 і 42,0 та 28,4 % у сорту Вінець. Водночас підвищувалась енергія проростання до 87,9 % у сорту Дніпровський 39 і до 88,2 % у сорту Вінець та лабораторна схожість насіння – до 92,3 % у сорту Дніпровський 39 і до 95,2 % у сорту Вінець. Відповідно, збирання сорго рекомендуємо у фазу повної стиглості.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Формування продуктивності посівів сорго звичайного двокольорового залежно від елементів технології вирощування впливає на отримання значної кількості біопалива та енергії з нього.

Оцінка енергетичного потенціалу сорго звичайного двокольорового залежно від стимулятора росту рослин. За оброблення насіння сорго звичайного двокольорового стимулятором росту та обприскування посівів отримано найвищий вихід біоетанолу – 2,37 т/га, розрахунковий вихід енергії становив 59,1 ГДж/га (рис. 4). Вихід твердого палива також сягав максимуму – 11,1 т/га, вихід енергії був найвищим і становив 181,5 ГДж/га. Застосування препарату лише на насінні або лише на посівах призводило до зниження виходу біоетанолу та твердого палива.

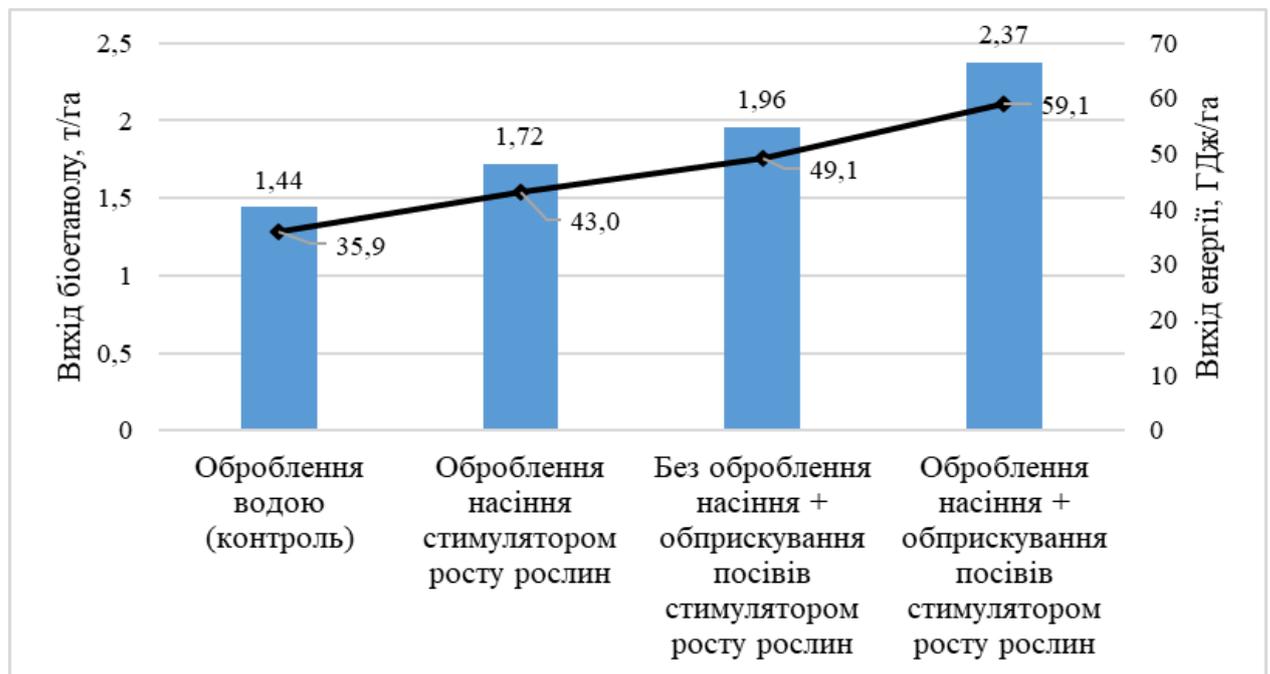


Рис. 4. Розрахунковий вихід біопалива та енергії залежно від способу застосування стимулятора росту рослин, середнє за 2016–2019 рр., БЦДСС

Кореляційно-регресійний аналіз даних показав сильну залежність виходу біоетанолу від урожайності зерна, що описується лінійним рівнянням $Y=0,3441x-0,0719$, де Y – вихід біоетанолу; x – урожайність зерна. Коефіцієнт кореляції становив $R = 0,990$, а коефіцієнт детермінації – $R^2 = 0,980$. Залежність

виходу твердого палива від урожайності біомаси можна описати поліноміальним рівнянням другого порядку: $Y=0,0338x^2 - 1,6556x + 27,035$, де Y – вихід твердого палива; x – урожайність біомаси; коефіцієнт кореляції становив $R = 0,993$, а коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,986$.

Енергетична продуктивність сорго звичайного двокольорового залежно від комплексної дії факторів інтенсифікації. Дослідження з вивчення строків сівби і глибини загортання насіння в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України (БЦДСС) показали, що найбільший вихід біоетанолу з гектара посіву отримано за сівби насіння сорго звичайного двокольорового у I декаді травня за температури ґрунту 12–14 °С та глибини загортання насіння 6 см. Вирощування сорту Дніпровський 39 дозволяє отримати 2,46 т/га біоетанолу, сорту Вінець – 2,21 т/га; твердого біопалива – 10,3 т/га у сорту Дніпровський 39 і 9,12 т/га у сорту Вінець. Загальний вихід енергії, відповідно, у сорту Дніпровський 39 був 228,9 ГДж/га, у сорту Вінець – 203,9 ГДж/га. Аналогічна закономірність відмічена і на інших станціях проведення досліджень.

Найбільший вихід біоетанолу з одиниці площі отримано за сівби насіння сорго звичайного двокольорового широкорядним способом (міжряддя 45 см) та нормою висіву насіння 200 тис. шт./га, на вказаному варіанті вирощування сорту Дніпровський 39 дозволяє отримати 2,44 т/га, сорту Вінець – 1,68 т/га. Максимальний вихід твердого палива відмічали на цьому ж варіанті досліду і він становив у сорту Дніпровський 39 – 10,3 т/га, у сорту Вінець – 8,52 т/га. Відхилення від оптимальної ширини міжрядь та норми висіву призводило до зменшення виходу біопалива, яке можна отримати з одиниці площі та енергії з нього (БЦДСС).

Дослідження, проведені в умовах Іванівської, Ялтушківської та Веселоподільської ДСС показали, що найнижча енергетична продуктивність сорго звичайного двокольорового відмічена за найменшої норми висіву насіння.

Особливості формування енергетичної продуктивності сорго звичайного двокольорового залежно від сортових особливостей, доз мінеральних добрив, способів контролювання чисельності бур'янів. На Білоцерківській ДСС найвищий вихід біоетанолу отримано за внесення $N_{50}P_{40}K_{70}$ та $N_{120}P_{120}K_{120}$ і у сорту Дніпровський 39 становить 1,98 та 1,82 т/га, у сорту Вінець ці показники були дещо нижчими – 1,88 та 1,70 т/га. Найменшим вихід біоетанолу обох сортів був в контролі і становив 1,14 та 0,89 т/га.

Суша біомаса сорго звичайного двокольорового є цінною сировиною для виробництва твердого біопалива – паливних гранул і брикетів. Зокрема, з одного гектара сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 зі збільшенням добрив від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{120}P_{120}K_{120}$ можна отримати від 7,81 до 8,48 т/га твердого палива, сорту Вінець – вихід твердого біопалива становив від 7,28 до 8,06 т/га.

В умовах Іванівської ДСС зі збільшенням дози внесення добрив енергетична продуктивність зростала. Така ж закономірність відмічена на Ялтушківській та Веселоподільській ДСС (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахунковий вихід біоетанолу та енергії з сорго звичайного двокольорового залежно від мінеральних добрив, середнє за 2018–2020 рр.

Сорт	Доза добрив	Вихід біоетанолу, т/га			Вихід енергії, ГДж/га		
		ІДСС	ЯДСС	ВПДСС	ІДСС	ЯДСС	ВПДСС
Дніпровський 39	Без добрив (контроль)	1,58	0,84	1,75	39,6	21,1	43,8
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,97	1,05	2,11	49,3	26,4	52,9
	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	2,05	1,14	2,13	51,2	28,4	53,32
Самаран 6	Без добрив (контроль)	1,39	0,83	1,32	34,7	20,7	33,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,87	0,99	1,59	46,7	24,6	39,7
	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	1,98	1,09	1,74	49,4	27,2	43,5
НІР _{0,05}		0,28	0,12	0,31	4,52	2,35	4,60

Дослідження з вивчення способів контролювання чисельності бур'янів показали, що найефективнішим є хімічний спосіб, який забезпечує отримання високого виходу біопалива та енергії (БЦДСС, ЯДСС, ВПДСС). В умовах Ялтушківської ДСС розрахунковий вихід біоетанолу та твердого палива з одиниці площі отримано за вирощування сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 (1,12 і 8,28 т/га) та Самаран 6 (0,95 і 7,86 т/га) із застосуванням хімічного способу, загальний вихід енергії становив 162,9 та 152,0 ГДж/га. Із застосуванням механічного способу вихід біоетанолу та твердого палива був дещо меншим і становив 0,95 та 7,41 т/га у сорту Дніпровський 39 і 0,95 та 7,27 т/га у Самаран 6, а загальний вихід енергії, відповідно, 144,5 та 142,3 т/га. В контролі 1 (без прополювання), вихід біопалива був найнижчим, і становив 0,78 та 0,84 т/га біоетанолу, 5,81 та 5,97 т/га твердого палива, загальний вихід енергії був 114,1 та 118,2 ГДж/га. Вищу енергетичну ефективність сорго відмічали в контролі 2 (ручне прополювання) порівняно з контролем 1 (без прополювання), на цьому варіанті досліду вихід біоетанолу був вищим на 38,1–65,4 %, твердого палива – на 52,3–57,6 %, вихід енергії – на 67,8–78,5 %.

Кореляційно-регресійний аналіз отриманих даних показав сильну поліноміальну кореляцію між урожайністю зерна та виходом біоетанолу, яка виражена рівнянням: $Y = -0,0286x^2 + 0,4155x - 0,1579$ (Дніпровський 39) та $Y = 0,0114x^2 - 0,0076x + 0,8237$ (Самаран 6), де Y – вихід біоетанолу, т/га; x – урожайність зерна, т/га (рис. 5). Коефіцієнт кореляції та детермінації становив: $R^2 = 0,959$ та $R = 0,979$ (Дніпровський 39) та $R^2 = 0,773$ та $R = 0,879$ (Самаран 6).

Відмічена сильна кореляція між урожайністю біомаси та виходом твердого палива (рис. 6). Коефіцієнт детермінації та кореляції становив: $R^2 = 0,857$ та $R = 0,926$ (Дніпровський 39) і $R^2 = 0,998$ та $R = 0,999$ (Самаран 6).

Кореляційно-регресійний аналіз даних показав високу кореляцію між урожайністю зерна та виходом енергії з біоетанолу (рис. 7).

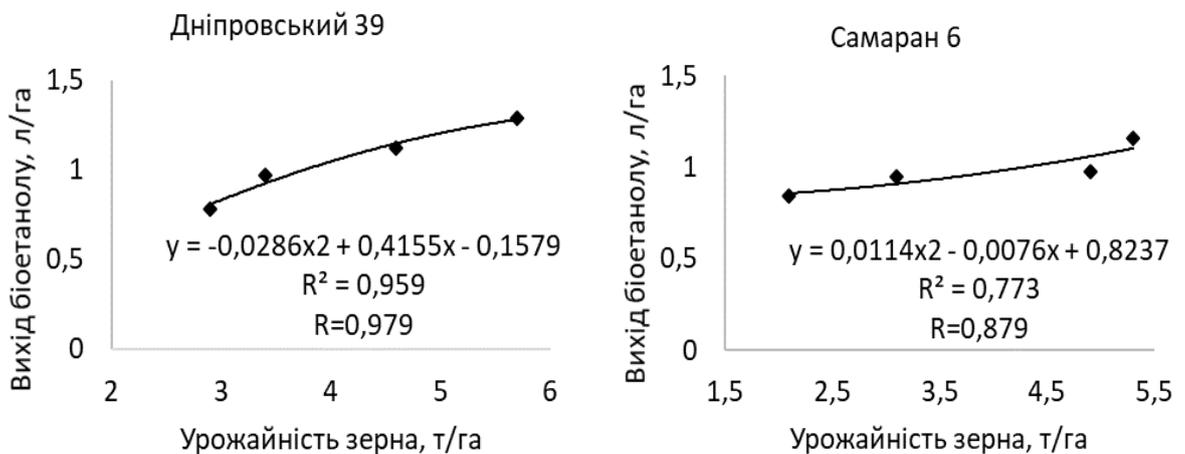


Рис. 5. Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю зерна та виходом біоетанолу, 2018–2020 рр., ЯДСС

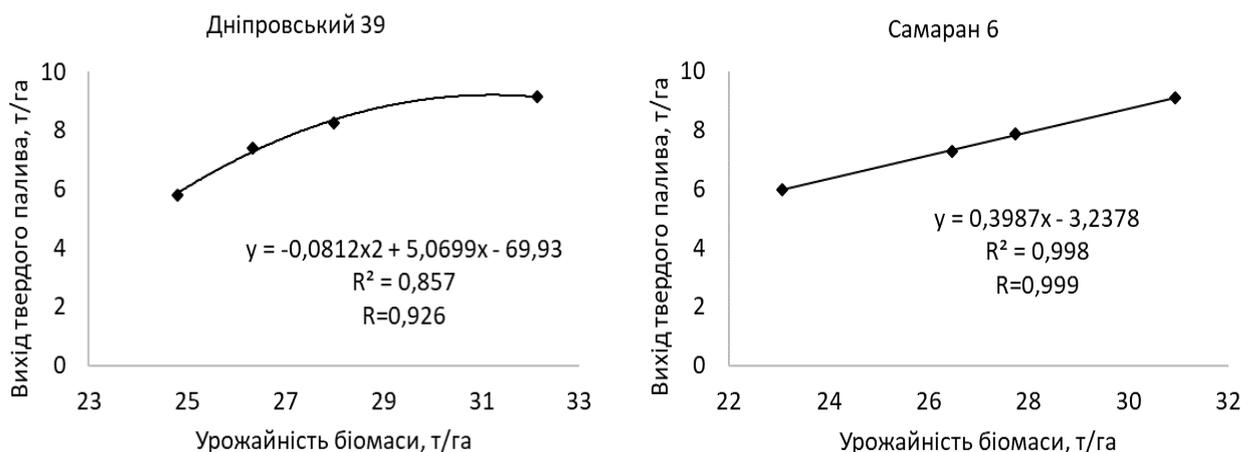


Рис. 6. Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю біомаси та виходом твердого палива, 2018–2020 рр., ЯДСС

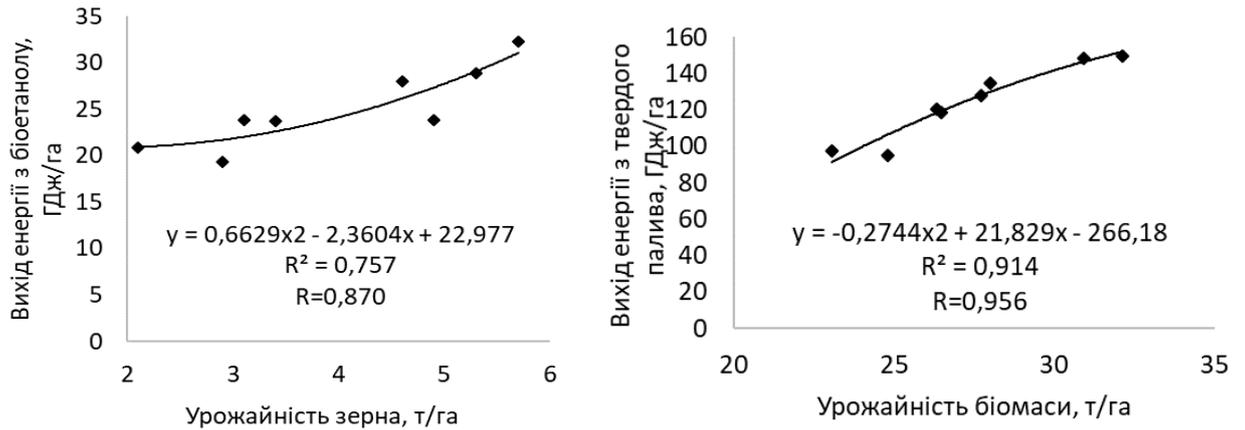


Рис. 7. Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю зерна та виходом енергії з біоетанолу й між урожайністю біомаси та виходом енергії з твердого палива, 2018–2020 рр., ЯДСС

Коефіцієнт детермінації та кореляції становив: $R^2 = 0,757$ та $R = 0,870$, і між урожайністю біомаси та виходом енергії з твердого палива відмічений сильний зв'язок, коефіцієнт детермінації та кореляції становив: $R^2 = 0,914$ та $R = 0,956$.

В умовах нестійкого зволоження Білоцерківської ДСС за вирощування ранньостиглого гібрида Сват та сорту Смотрич розрахунковий вихід біоетанолу становив 1,32 та 1,50 т/га, твердого палива – 11,72 та 11,92 т/га. Сумарний вихід енергії становив 223,90 та 231,89 ГДж/га. За вирощування пізньостиглого сорту Ярона можливо отримати 1,15 т/га біоетанолу, 9,28 т/га твердого палива, і 179,88 ГДж/га сумарної енергії. В умовах Ялтушківської ДСС за вирощування ранньостиглого гібрида Сват вихід біоетанолу був меншим на 0,24 т/га, а твердого палива більше на 5,17 т/га, загальний вихід енергії вищий на 78,35 ГДж/га. У середньостиглого сорту Смотрич та пізньостиглого Ярона встановлена така ж закономірність: вихід біоетанолу був меншим, а твердого палива більше, загальний вихід енергії також вищий.

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО

Для визначення реакції досліджуваних сортів сорго звичайного двокольорового на формування врожайності та вплив елементів технології вирощування було проведено дослідження стабільності та пластичності формування врожаю.

За врожайністю зерна сорго на період активного розвитку мало високі показники пластичності та інтенсивності формування врожаю зерна (варіант оброблення насіння стимулятором росту), а за врожайністю біомаси визначено низьку пластичність та ліміт факторів, що обумовлено, ймовірно дефіцитом елементів живлення на формування більшої біомаси посівів сорго (табл. 4).

Водночас за оброблення насіння стимулятором росту, рослини активніше розвивались на початкових фазах, маючи оптимальну кількість доступних елементів живлення і, як результат – інтенсивне формування біомаси.

**Характеристика умов формування урожайності сорго звичайного
двокольорового залежно від застосування стимулятора росту**

Варіант		Позначення варіантів	Зерно	Біомаса
Оброблення насіння	Оброблення водою (контроль)	C_1	-	висока пластичність
	Оброблення стимулятором росту	C_2	-	висока пластичність, інтенсивний
Обприскування посівів	Насіння без обробле- ння + обприскування посівів стимулятором росту рослин	C_3	висока пластичність, інтенсивний	низька пластичність, ліміт факторів
	Оброблення насіння + обприскування посівів стимулятором росту рослин	C_4	висока пластичність, інтенсивний	низька пластичність, ліміт факторів

Проведено групування варіантів вирощування сорго звичайного двокольорового за оброблення насіння та обприскування посівів стимулятором росту за комплексом факторів.

Комплексне формування показників якості та структури врожаю залежало від факторів технології вирощування. Оброблення насіння стимулятором росту недостатньо для формування істотних змін в показниках якості та структури урожаю сорго і лише обприскування посівів та з обробленням насіння значно відрізнялись за показниками порівняно з базовими.

За агротехнічними факторами вирощування оптимальні умови для формування високої пластичності сорго сорту Дніпровський 39 з інтенсивним типом розвитку складались за сівби насіння при температурі 12–14 °С на глибині 10 см (II декада травня) за глибини загортання 6 см, що сприяло отриманню високих показників стабільності та пластичності формування ознак сорго як за врожайністю зерна так і біомаси.

Фактор удобрення повною мірою засвідчив можливості досліджуваних сортів. Зокрема, за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ та $N_{50}P_{40}K_{70}$ сорт Дніпровський 39 мав оптимальні умови для формування врожаю насіння, а за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ – біомаси (табл. 5). Щодо сорту Вінець, то кращою для формування як врожаю насіння, так і біомаси була розрахункова доза добрив. Високу ефективність формування зерна відмічали за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Слід також відмітити, що за внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$ обидва сорти не змогли ефективно використати і реалізувати свій генетичний потенціал. А для сорту Вінець надмірною була й доза добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ кг/га д.р.

Аналіз кластерів, отриманих від порівняння комплексу елементів структури врожаю показує, що найбільш близькими були варіанти удобрення

сорту Дніпровський 39 з внесенням $N_{50}P_{40}K_{70}$ і $N_{90}P_{90}K_{90}$, а також $N_{120}P_{120}K_{120}$ і $N_{30}P_{30}K_{30}$ та сорту Вінець з внесенням $N_{50}P_{40}K_{70}$ та $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Таблиця 5

Характеристика умов формування урожайності сортів сорго залежно від доз мінеральних добрив (БЦДСС)

Сорт	Доза добрив	Позначення варіантів	Зерно	Біомаса
Дніпровський 39	Без добрив (контроль)	C_1	-	висока пластичність
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	C_2	-	висока пластичність, інтенсивний
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	C_3	-	висока пластичність, інтенсивний
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	C_4	висока пластичність, інтенсивний	низька пластичність, ліміт факторів
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	C_5	низька пластичність, ліміт факторів	низька пластичність, ліміт факторів
	$N_{50}P_{40}K_{70}$ (розрахункова)	C_6	висока пластичність, інтенсивний	низька пластичність, ліміт факторів
Вінець	Без добрив (контроль)	C_7	-	-
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	C_8	висока пластичність	висока пластичність
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	C_9	висока пластичність, інтенсивний	висока пластичність
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	C_10	низька пластичність, ліміт факторів	-
	$N_{120}P_{120}K_{120}$	C_11	низька пластичність, ліміт факторів	низька пластичність, ліміт факторів
	$N_{50}P_{40}K_{70}$ (розрахункова)	C_12	висока пластичність, інтенсивний	висока пластичність, інтенсивний

За вирощування сорго звичайного двокольорового в умовах ЯДСС механічний спосіб контролювання бур'янів у посівах сорту Дніпровський 39 сприяв високій реалізації формування рослинами біомаси, а ручне

прополювання – врожайності зерна. Аналогічно, ручне прополювання посівів сорту Вінець сприяло формуванню оптимальних умов для накопичення біомаси. В умовах ВПДСС за вирощування сорго звичайного двокольорового хімічний спосіб захисту посівів сприяв формуванню високих показників біомаси в сорту Дніпровський 39 та зерна і біомаси в сорту Вінець. За комплексом факторів варіант без прополювання (контроль 1), 5 та 13 належать до одного кластера. Також в умовах ВПДСС є спільний кластер, що стосується вирощування різних сортів сорго та проведення на їх посівах механічних обробітків для контролювання чисельності бур'янів. Аналогічно згруповані й ознаки за хімічним способом в умовах ВПДСС, що вказує на важливість правильного вибору способів захисту посівів сорго звичайного двокольорового за умови меншої кількості опадів.

Застосування методу визначення стабільності та пластичності урожайності зерна сорго звичайного двокольорового дозволяє встановити міру реакції досліджуваних сортів на контрольовані фактори досліду, і як результат, дає можливість визначити доцільність подальшої оптимізації цих факторів та комплексного їх застосування з метою формування максимально ефективної технології вирощування, адаптованої до умов регіону.

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЇ ФАКТОРІВ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО

Оцінку економічної ефективності елементів технології вирощування сорго звичайного двокольорового розраховували на основі технологічних карт.

Економічна ефективність вирощування сорго звичайного двокольорового. Найвищу вартість урожаю отримали за вирощування сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 в умовах БЦДСС за сівби при температурі ґрунту 12–14 °С та глибини загортання насіння 6 см – 29600 грн/га. За вирощування сорту Дніпровський 39 в умовах ВПДСС за сівби при температурі ґрунту 12–14 °С – 30000 грн/га, що забезпечило отримання рівня рентабельності 123 та 125 % за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та 165 і 168 % – за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$.

За вирощування сорту Дніпровський 39 широкорядним способом (міжряддя 45 см) з нормою висіву 200 тис. шт./га в умовах БЦДСС отримано прибуток 29600 грн/га, а рентабельність за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ становила 123 %, за $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 165 %. Вирощування цього сорту в умовах ІДСС з нормою висіву 200 тис. шт./га сприяло отриманню рентабельності виробництва на рівні 113 та 152 % за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та $N_{30}P_{30}K_{30}$. Високі показники рентабельності – 135 та 182 % та прибутку 32520 грн/га отримані за вирощування сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 в умовах ВПДСС за норми висіву 250 тис. шт./га.

Використання добрив не дозволяє досягнути навіть мінімального рівня повернення витрачених коштів на технологію вирощування сорго звичайного двокольорового. Зокрема, за вирощування сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 в умовах ВПДСС отримано рентабельність 71 % за внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$. Вирощування з такими дозами добрив в умовах ЯДСС не

вигідне навіть за високої вартості отриманої продукції. Вирощування сорту Дніпровський 39 в умовах БЦДСС за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ отримано рентабельність 125 % та сорту Вінець – 116 %, а за внесення $N_{50}P_{40}K_{70}$ – 125 та 120 %.

Рівень рентабельності вирощування сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 в умовах БЦДСС за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та застосування гербіциду Гвардіан тетра становив 105 %, а за $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 150 %, сорту Вінець – 91 та 131 %. За вирощування сорту Дніпровський 39 в умовах ЯДСС за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та застосування гербіциду Гвардіан тетра рівень рентабельності становив 67 %, а за $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 97 %, сорту Самаран 6 – 55 та 80 %. За вирощування сорту Дніпровський 39 в умовах ЯДСС за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ і застосування гербіциду Гвардіан тетра рівень рентабельності становив 91 %, а за $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 131 %, сорту Самаран 6 – 97 та 139 %.

Економічна ефективність вирощування сорго звичайного двокольорового за переробки на біопаливо. За переробляння сорго звичайного двокольорового на біопаливо, отримання з зерна біоетанолу та переробки сухої маси на тверді види палива можна отримати додатковий прибуток від вирощування, однак переробляння продукції також потребує витрат. Вартість від реалізації продукції (зерна) становила 30000 грн, а переробляння на біопаливо дозволяє отримати 170 тис. грн/га.

За вирощування сорго як сировини для виробництва біопалива, кращими за рентабельністю були варіанти вирощування сорго звичайного двокольорового в умовах БЦДСС за оброблення насіння стимулятором росту Вермистим + обприскування посівів, зокрема за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ отримано рентабельність 185 %, а за $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 198 %.

За вирощування сорту Дніпровський 39 в умовах ВПДСС під час сівби за температури ґрунту 12–14 °С рентабельність становила 183 та 196 %.

Найвищу рентабельність отримано за вирощування сортів сорго Дніпровський 39 та Самаран 6 в умовах ЯДСС з нормою висіву 200 тис. шт./га за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 209 та 208 %, а за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 225 та 223 %. Варто зазначити, що собівартість однієї тонни біопалива становить 2800 грн, без врахування вартості сировини, а ціна одиниці біопалива в сучасних умовах не менше 10200 грн, що досить суттєво позначається на формуванні остаточного прибутку та рентабельності виробництва. Враховуючи, що ціна біоетанолу становить 26,4 грн/кг, а собівартість виробництва становить не менше 16,8 грн/кг.

Вирощування сортів Дніпровський 39 та Самаран 6 в умовах ЯДСС за внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$ отримано рентабельність – 175 та 172 %, що обумовлено високою урожайністю біомаси. Високу рентабельність виробництва біопалива – 173 % забезпечив сорт Дніпровський 39 в умовах БЦДСС за удобрення у дозі $N_{50}P_{40}K_{70}$.

Враховуючи умови вирощування Ялтушківської ДСС варто зазначити, що вони не можуть бути економічно вигідними для вирощування сорго звичайного двокольорового з метою отримання зерна для переробляння на біоетанол. Водночас вирощування надземної маси для твердих видів палива дозволяє отримати високу рентабельність виробництва – понад 200 %.

Енергетична ефективність вирощування сорго звичайного двокольорового. Аналіз енергетичної ефективності та К_е показав високу оцінку рекомендованих елементів технології вирощування, враховуючи сумарні витрати енергії та отриману кількість енергії з урожаєм. К_е був найвищим за оброблення насіння та обприскування посівів стимулятором росту рослин і становив 13,08. За оптимального строку сівби, залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування, К_е змінюється в межах від 8,62 до 14,67. За широкорядного способу сівби (міжряддя 45 см) та норм висіву 200–250 тис. шт./га К_е був у межах від 10,83 до 20,69.

Визначено, що в контролі та за внесення N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ коефіцієнт енергетичної ефективності зменшувався від 9,01 до 4,46 у сорту Дніпровський 39 та від 8,21 до 4,24 у сорту Вінець (БЦДСС). Залежно від способу контролювання чисельності бур'янів показник К_е високим був у варіанті з хімічним способом захисту посівів.

Вирощування ранньостиглого гібрида Сват та середньостиглого сорту Смотрич сприяє отриманню високих значень коефіцієнта енергетичної ефективності і в умовах Білоцерківської ДСС він становив 13,65 та 14,14, в умовах Ялтушківської ДСС – 18,43 та 18,49.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і практичне вирішення наукової проблеми щодо закономірностей формування високопродуктивних посівів сорго звичайного двокольорового як сировини для виробництва біопалива (біоетанолу та твердого палива) залежно від стимулятора росту, строку сівби, глибини загорання насіння, способу сівби насіння – ширини міжрядь та норми висіву, дози добрив, способу контролювання чисельності бур'янів, строку збирання.

1. В умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України (БЦДСС) найвища польова схожість насіння була за сівби при температурі ґрунту 12–14 °С – I декада травня за оптимальної глибини загорання насіння 4 та 6 см – сорту Дніпровський 39 – 84,2 та 86,8 %, сорту Вінець – 83,1 та 85,4 %. В умовах нестійкого зволоження Західного Лісостепу України (ЯДСС) та нестійкого зволоження (ІДСС) й недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу України (ВПДСС) найвища польова схожість насіння отримана за сівби насіння при температурі ґрунту 12–14 та 16–18 °С – I і II декада травня.

2. За сівби насіння у I декаді травня і глибини загорання 6 см в умовах Правобережного Лісостепу площа листкової поверхні була найбільшою і становила у сорту Дніпровський 39 – 38,89 тис. м²/га, Вінець – 36,88 тис. м²/га. Відповідно, найвищий фотосинтетичний потенціал та чиста продуктивність фотосинтезу були у рослин сорго на цьому ж варіанті досліду. В умовах Лівобережного Лісостепу найкращі показники площі листкової поверхні, ФП та ЧПФ були за сівби у I та II декадах травня. Найбільший вплив на фотосинтетичну продуктивність мали такі фактори як строки сівби, погодні умови, сорти та їх взаємодія.

3. Найвищу польову схожість незалежно від ґрунтово-кліматичних умов отримано за широкорядного способу (міжряддя 45 см) та норми висіву насіння 200 і 250 тис. шт./га. Частка впливу фактору ширина міжрядь становила 23–26 %, норма висіву насіння – 19–20 %, погодних умов – 20–29 %, сорт – 10–11 %, взаємодія факторів та вплив інших факторів – 17–23 %.

4. Внесення добрив забезпечило достовірне збільшення чистої продуктивності фотосинтезу рослин сорго за розрахункової дози $N_{50}P_{40}K_{70}$ та внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ і $N_{120}P_{120}K_{120}$ в умовах Правобережного Лісостепу, така ж закономірність відмічена і в умовах Західного та Лівобережного Лісостепу. Найменша чиста продуктивність фотосинтезу була в контролі, де добрива не вносили.

5. Достовірно вищу ефективність контролювання чисельності бур'янів, порівняно з контролем, забезпечили хімічний спосіб захисту посівів на 77,0 % та механічний – на 78 %.

6. Оброблення насіння стимулятором росту та обприскування посівів сприяло скороченню періоду вегетації на 5 діб, покращилися показники росту і розвитку рослин і, як результат, збільшилася урожайність на 2,7 т/га, біоетанолу – на 0,93 т/га, твердого біопалива – на 3,62 т/га, вихід енергії – на 82,2 ГДж/га. Чиста продуктивність була найвищою і становила 6,12 г/м², якісні показники зерна також були найвищими: вміст білка – 11,9 %, жиру – 3,47 %, золи – 1,79 %, клітковини – 2,31 % і крохмалю – 68,7 %.

7. В умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України, найвищу урожайність зерна 6,7 т/га у сорту Вінець та 7,4 т/га у сорту Дніпровський 39, біомаси, відповідно 39,5 та 44,4 т/га отримано за сівби насіння при температурі ґрунту 12–14 °С на глибині 10 см (І декада травня), за глибини загортання 6 см. В умовах нестійкого зволоження Західного Лісостепу України достовірно високу урожайність зерна та біомаси отримано за сівби насіння сорго звичайного двокольорового при температурі ґрунту 16–18 °С на глибині 10 см (ІІ декада травня), Лівобережного Лісостепу – при температурі 12–14 °С (І декада травня).

8. Найвищу урожайність зерна сорго звичайного двокольорового отримано за широкорядного способу сівби (міжряддя 45 см) та нормою висіву насіння 200 і 250 тис. шт./га, яка становила 7,2–7,4 т/га. Збільшення або зменшення ширини міжрядь і норми висіву призводило до зниження урожайності зерна обох сортів. Водночас отримано максимальний вихід біоетанолу та твердого палива і енергії з нього.

9. Застосування мінеральних добрив забезпечило достовірне збільшення урожайності зерна порівняно з контролем. За найменшої дози добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$ урожайність збільшилася в умовах Правобережного Лісостепу на 0,4–0,9 т/га, за найбільшої дози $N_{120}P_{120}K_{120}$ – на 2,7–3,5 т/га. Аналогічне підвищення урожайності зерна отримано в умовах Західного та Лівобережного Лісостепу. В усіх умовах дослідження найвищий вихід біопалива та загальної енергії з нього отримано за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $N_{120}P_{120}K_{120}$.

10. Використання добрив значно покращило якість зерна сорго, вміст білка збільшився від 9,7 до 12,4 % у сорту Дніпровський 39, та від 9,1 до 12,2 % у сорту

Вінець, вміст жиру у сортів Дніпровський 39 та Вінець за найменшої дози $N_{30}P_{30}K_{30}$ становив, відповідно – 3,37 та 3,34 %, а за найбільшої дози – відповідно, 3,62 та 3,52 %, із збільшенням дози добрив від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{120}P_{120}K_{120}$ вміст крохмалю у сорту Дніпровський 39 підвищувався від 67,1 до 70,1 %, у сорту Вінець – від 65,8 до 68,8 %.

11. За абсолютного контролювання чисельності бур'янів, в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України, отримано найвищу урожайність зерна і біомаси, яка становила, відповідно – 6,40 та 29,7 т/га у сорту Дніпровський 39 та 6,20 і 29,3 т/га у сорту Вінець. Аналогічну закономірність отримано в умовах Західного та Лівобережного Лісостепу України.

12. Відмічено, що за хімічного та механічного способів контролювання чисельності бур'янів якість зерна була високою порівняно з контролем 1 (без прополювання): вміст білка в середньому по досліді був вищим на 6,1–10,3 %, вміст жиру – на 6,03–7,6 %, вміст золи – на 5,3–9,5 %, вміст клітковини і крохмалю – на 5,1–6,6 та 1,4–4,2 %. Також високі показники якості зерна визначено у варіанті з ручним прополюванням.

13. У зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України урожайність зерна та біомаси залежали від сортових особливостей – у ранньостиглого гібрида Сват та середньостиглого сорту Смотрич становила 4,0 та 4,6 т/га, що на 0,5 та 1,1 т/га вище, ніж у пізньостиглого сорту Ярона, яка становила 3,5 т/га.

14. За оптимального строку збирання зерна за 100 % побуріння волоті, вологість зерна сорту Дніпровський 39 становила 20 %, енергія проростання – 87,9 %, схожість – 92,3 %, сорту Вінець, відповідно – 18,0; 88,2 і 95,2 %, водночас як за побуріння волоті на 50 та 75 % (воскова – початок повної стиглості) вологість зерна була вищою, а якісні показники значно нижчими у обох досліджуваних сортів.

15. За вирощування сорго звичайного двокольорового сорту Дніпровський 39 в умовах Правобережного Лісостепу за сівби у I декаді травня та глибини загортання насіння 6 см вартість вирощеної продукції становила 29600 грн/га та вирощування сорту Дніпровський 39 в умовах Лівобережного Лісостепу за сівби також у I декаді травня – 30000 грн/га, що забезпечило рівень рентабельності 123 та 125 % за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та 165 і 168 % – $N_{30}P_{30}K_{30}$.

16. Вирощування сорту Дніпровський 39 за широкорядного способу сівби (міжряддя 45 см) та нормою висіву насіння 200 тис. шт./га в умовах Правобережного Лісостепу (БЦДСС) забезпечило прибуток 29600 грн/га, з рентабельністю за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 123 %, $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 165 %. В умовах Лівобережного Лісостепу (ІДСС) за такої ж норми висіву рентабельність виробництва була на рівні 113 та 152 %, а в умовах Лівобережного Лісостепу (ВПДСС) за норми висіву в 250 тис. шт./га отримано прибуток 32520 грн/га за рентабельності в 135 та 182 %.

17. За вирощування сорту Дніпровський 39 і внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$ в умовах Лівобережного Лісостепу рентабельність виробництва становила 71 %, в умовах Західного Лісостепу внесення таких доз добрив не вигідне навіть за високої вартості отриманої продукції. Коефіцієнт енергетичної ефективності із

збільшенням доз добрив зменшується до 4,24. В умовах Правобережного Лісостепу за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ отримано рентабельність сорту Дніпровський 39 – 125 % та сорту Вінець – 116 %, а за застосування розрахункової дози $N_{50}P_{40}K_{70}$ – 125 та 120 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності був високим – 8,72 та 8,05 ($N_{30}P_{30}K_{30}$), 8,01 та 7,51 ($N_{50}P_{40}K_{70}$).

18. Для стабільного виробництва сорго звичайного двокольорового доцільно розміщувати посіви в сприятливих ґрунтово-кліматичних умовах, а застосування агротехнологічних заходів – строків сівби, способів сівби, норм висіву, глибини загортання насіння, контролювання чисельності бур'янів, удобрення та строків збирання зерна має відповідати біологічним потребам сортів рослин.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для сільськогосподарського виробництва рекомендується формувати технологію вирощування сорго звичайного двокольорового з огляду на вологозабезпеченість та температурний режим регіону, опираючись на елементи зонального адаптування технологій сорго в умовах Лісостепу України.

Для Західного (Ялтушківська ДСС), Правобережного (Білоцерківська ДСС) та Лівобережного Лісостепу (Іванівська та Веселоподільська ДСС) рекомендовано:

- висівати ранньо- та середньостиглі сорти сорго звичайного двокольорового;

- перед сівбою проводити оброблення насіння стимулятором росту Вермистим (оброблення насіння препаратом в нормі 1:5 – 2 г препарату на 100 г води/кг насіння) + обприскування посівів (обприскування посівів у нормі 1:50 в період інтенсивного росту рослин – 2 л препарату на 100 л води/0,5 га посівів);

- для обмеження чисельності бур'янів використовувати гербіцид з діючою речовиною Ацетохлор, 450 г/л + Тербутилазін, 214 г/л + Фурилазол, 15 г/л, з нормою 3,5 л/га (до появи сходів або у фазу 1–3 листки);

- вносити мінеральні добрива в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$.

В умовах нестійкого зволоження Західного Лісостепу України:

Насіння висівати за температури ґрунту 12–14 °С – 16–18 °С на глибину загортання 6 см, широкорядним способом (міжряддя 45 см), з нормою висіву насіння 200 тис. шт./га.

В умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України:

Насіння висівати за температури ґрунту 12–14 °С з глибиною загортання 4 та 6 см, широкорядним способом (міжряддя 45 см), з нормою висіву 200 та 250 тис. шт./га.

В умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України:

Насіння висівати за температури ґрунту 12–14 °С – 16–18 °С з глибиною загортання 6 см, широкорядним способом (міжряддя 45 см) та нормою висіву 200 тис. шт./га.

В умовах недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу України:

Насіння висівати за температури ґрунту 12–14 °С з глибиною загортання 4 см, широкорядним способом (міжряддя 45 см) та нормою висіву 250 тис. шт./га.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України

1. Герасименко Л. А., Дубовий Ю. П. Захист посівів сорго зернового від бур'янів у Правобережному Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 3 (247). С. 24–25. (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).
2. 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.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209254
3. Правдива Л. А. Особливості росту і розвитку рослин сорго зернового в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*, 2020. № 2. С. 139–146. doi: 10.33245/2310-9270-2020-161-2-139-146
4. Правдива Л. А. Фотосинтетична діяльність посівів сорго зернового залежно від способу сівби насіння. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 97. Частина 1. С. 61–71. doi: 10.31395/2415-8240-2020-97-1-61-71
5. Правдива Л. А. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність сорго зернового та вихід біопалива. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 5 (818). С. 23–29. doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-03
6. Правдива Л. А. Урожайність сорго зернового залежно від елементів технології вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2021. № 1. С. 121–129. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-121-129.
7. Правдива Л. А. Контролювання чисельності бур'янів у посівах сорго зернового та їх вплив на ріст і розвиток рослин. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2021. Вип. 98. Частина 1. С. 182–191. doi: 10.31395/2415-8240-2021-98-1-182-191.
8. Правдива Л. А., Федорук Ю. В. Формування показників структури врожайності сорго зернового залежно від способу сівби насіння та густоти стояння рослин у Правобережному Лісостепу України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2021. Вип. 28 (42). С. 215–223. doi.org/ 10.31473/2305-5987-2021-1-28(42)-18 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).
9. Правдива Л. А. Особливості росту рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) залежно від ширини міжрядь та норми висіву насіння в умовах Правобережного Лісостепу України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Вип. 17. № 2. С. 139–145. doi.org/10.21498/2518-1017.17.2.2021.236521
10. 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.org/10.21498/na.9.2021.253364 (*Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %*).

11. **Правдива Л. А.** Вплив мінерального живлення рослин на формування біометричних показників сорго зернового. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2022. № 1. С. 43–52. doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-43-52

12. **Правдива Л. А.,** Доронін В. А. Вплив мінеральних добрив на фотосинтетичну продуктивність сорго зернового. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 72 (1). С. 51–64. doi: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-4 (*Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %*).

13. **Правдива Л. А.** Енергетична продуктивність сорго зернового та соризу залежно від строків сівби насіння. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2022. Вип. 30 (44). С. 215–223. doi.org/ 10.31473/2305-5987-2022-1-30(44)-22

14. **Правдива Л. А.,** Гончарук Г. С. Вплив строків сівби на біоенергетичну продуктивність сорго зернового та соризу. *Біоенергетика*. 2022. № 1-2 (19-20), С. 51–52. doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271365 (*Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %*).

15. **Правдива Л. А.,** Атаманюк О. М., Яланський О. В. Формування біометричних показників сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2022. № 2. С. 87–94. doi:10.33245/2310-9270-2022-174-2-87-94 (*Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %*).

16. **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 (*Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %*).

17. **Правдива Л. А.** Особливості розвитку сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) залежно від норм висіву насіння. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 129. С. 111–118. doi.org/10.32851/2226-0099.2023.129.15

18. **Правдива Л. А.** Енергетична продуктивність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) moenh) та соризу (*Sorghum orysoidum*) залежно від норм висіву насіння. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 1. С. 106–112. doi.org/10.31867/2523-4544/0265

19. **Правдива Л. А.,** Гончарук Г. С. Особливості формування продуктивності сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh) та соризу (*S. orysooidum*) залежно від строків сівби насіння в умовах західної частини Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2023. Т.11, № 2. doi:

10.47414/na.11.2.2023.285142 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).

20. **Правдива Л. А.**, Ганженко О. М., Гончарук Г. С. Продуктивність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh) та соризу (*S. orysooidum*) залежно від методів контролювання чисельності бур'янів. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2023. Вип. 19. № 3. С. 176–184. doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287641 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

21. **Pravdyva L.A.**, Prysiazhniuk O.I., Doronin V. A. Effect of mineral fertilizers on the formation of the structure indicators of grain sorghum yield capacity. *Новітні агротехнології*. 2023. Т.11, № 3. doi: 10.47414/na.11.3.2023.288680 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).

22. **Правдива Л. А.** Винос та баланс елементів живлення в посівах сорго звичайного двокольорового залежно від внесення мінеральних добрив. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 105. С. 98–118. doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.14

Статті в наукових виданнях, включених до баз даних Web of Science та Scopus

23. **Pravdyva L. A.**, Doronin V. A., Dryha V. V., Khakhula V. S., Vakhniy S. P., Mykolaiko I. I. Yield capacity and energy value of sorghum grain depending on the application of mineral fertilisers. *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 109, No. 2. 2022. P. 115–122. DOI 10.13080/z-a.2022.109.015 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

24. **Pravdyva L.**, Prysiazhniuk O., Khakhula V., Fedoruk Y., Shushkivska N. Seed Yield and the Possibility of Biofuel Production from Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24 (5), 2023. P. 94–99. DOI: 10.12912/27197050/163715 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

25. **Pravdyva L.**, Zatserkovna N., Vakhniy S., Khakhula V., & Hornovska S. Photosynthetic productivity of sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moenh) in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 26(5), 2023. P. 56–64. DOI: 10.48077/scihor5.2023.56 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

26. **Pravdyva L.**, Prysiazhniuk O., Khakhula V., Kachan L. & Panchenko T. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) growth and development features under the influence of growth regulator. *Scientific Horizons*, 26(9), 2023. P. 120–130. DOI: 10.48077/scihor9.2023.120 (Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

Статті, що додатково висвітлюють результати досліджень

27. Grabovskiy M., Fedoruk Y., **Pravdyva L.**, Grabovska T., Kurylo V., Fedoruk N. Influence of agrotechnical and chemical measures on weediness in sweet Sorghum crops (*Sorghum Bicolor*) and the output of biogas. *EurAsian Journal of BioSciences*, 2018. № 12. P. 347–353. *(Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 30 %).*

Науково-методичні рекомендації

28. Роїк М. В., **Правдива Л. А.**, Ганженко О. М., Доронін В. А., Сінченко В. М., Курило В. Л., Фучило Я. Д., Квак В. М., Хіврич О. Б., Зиков П. Ю., Гончарук Г. С., Смірних В. М., Іванова О. Г., Дубовий Ю. П., Атаманюк О. М., Яланський О. В. Методичні рекомендації з технології вирощування сорго зернового як сировини для харчової промисловості та виробництва біопалива. Київ, 2020. 21 с. *(Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %).*

29. **Правдива Л. А.**, Ганженко О. М., Доронін В. А., Бойко І. І., Сінченко В. М., Фучило Я. Д., Квак В. М., Гончарук Г. С., Смірних В. М., Атаманюк О. М., Власенко С. І. Методичні рекомендації з проведення спостережень, обліків та визначення якісних показників у дослідженнях сорго зернового. Київ, 2021. 34 с. *(Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %).*

30. Грабовський М. Б., Вахній С. П., Хахула В. С., Федорук Ю. В., **Правдива Л. А.**, Панченко Т. В., Остренко М. В., Козак Л. А., Городецький О. С., Павліченко К. В., Степаненко М. В. Методичні рекомендації з розрахунку виходу біогазу та біоетанолу з біоенергетичних культур. Біла Церква, 2021. 28 с. *(Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 55 %).*

31. Черчель В.Ю. Дзюбецький Б.В., Яланський О.В., Боденко Н.А., Костиря І.В., Федоренко Е.М., Дудка М.І., Середа В.І., Носов М.Г., Алдошин А.В., Ковальов Д.В., Артеменко С.Ф., Кононюк Н.О., Кух М.В., Таганцова М.М., **Правдива Л.А.**, Сторожик Л.І., Терещенко І.С., Безсусідня Ю.В., Кулик І.О., Бондаренко А.С., Ковтун О.В. Науково-методичні рекомендації. Сорго: технологія, переробка, використання, насінництво та селекція. Каталог гібридів та сортів. Дніпро, 2023. С. 68. *(Проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 40 %).*

Матеріали наукових конференцій

32. **Герасименко Л. А.** Доцільність вирощування зернового та цукрового сорго. *Актуальні питання сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах змін клімату. Всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доп.* Кам'янець-Подільський, 2017. С. 69.

33. **Герасименко Л. А.** Перспективи вирощування сорго в Україні. *Новітні агротехнології. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Київ, 2017. С. 74.

34. **Герасименко Л. А.** Продуктивність сорго зернового залежно від елементів технології вирощування. *Сучасні проблеми ведення сільського господарства та підготовки фахівців аграрного профілю. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2018. С. 4.

35. **Правдива Л. А.** Вплив строків сівби та глибини загортання насіння на врожайність сорго зернового. *Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2020. С. 110–111.

36. **Правдива Л. А.** Вплив елементів технології вирощування на ріст і розвиток рослин сорго зернового. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Центральне, 2020. С. 84.

37. **Правдива Л. А.** Особливості росту та розвитку рослин сорго зернового залежно від способу сівби насіння. *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2020. С. 6–7.

38. **Правдива Л. А.** Фотосинтетична продуктивність посівів сорго зернового [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] залежно від строків сівби та глибини загортання насіння. *Новітні агротехнології. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Київ, 2020. С. 18.

39. **Правдива Л. А.** Залежність польової схожості насіння сорго зернового від строків сівби та глибини загортання. *Новітні технології в рослинництві: традиції та сучасність. Міжнародна наукова інтернет-конференція. Тези доп.* Харків, 2020. С. 50–51.

40. **Правдива Л. А.** Якісні показники насіння сорго зернового залежно від елементів технології вирощування. *Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі. Всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доп.* Умань, 2020. С. 152–153.

41. **Правдива Л. А.** Енергетична продуктивність сорго зернового. *Актуальні питання аграрної науки. Всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доп.* Умань, 2020. С. 52–54.

42. **Правдива Л. А.** Фотосинтетична діяльність посівів сорго зернового залежно від способу сівби насіння. *Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур. Міжнародна наукова інтернет-конференція. Тези доп.* Дніпро, 2020. С. 73–74.

43. **Правдива Л. А.** Вплив способів сівби насіння сорго зернового на енергетичну продуктивність культури. *Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2021. С. 191–192.

44. **Правдива Л. А.** Вплив способів сівби насіння на врожайність сорго зернового. *Роль науково-технічного забезпечення розвитку агропромислового комплексу в сучасних ринкових умовах. Всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доп.* Дніпро, 2021. С. 246–247.

45. **Правдива Л. А.** Продуктивність сорго зернового залежно від забур'яненості посівів. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур. Міжнародна наукова інтернет-конференція. Тези доп.* Центральне, 2021. С. 90.

46. **Правдива Л. А.** Ріст і розвиток рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) залежно від способів сівби насіння в умовах Правобережного Лісостепу України. *Новітні агротехнології. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Київ, 2021. С. 28.

47. **Правдива Л. А.** Вплив способів сівби насіння і густоти стояння рослин на елементи структури врожайності сорго зернового. *Гончарівські читання. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Суми, 2021. С. 101–102.

48. **Правдива Л. А.** Ріст і розвиток рослин сорго зернового залежно від забур'яненості посівів. Проблеми аграрного виробництва на сучасному етапі і шляхи їх вирішення. *Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Харків, 2021. С. 92–94.

49. **Правдива Л. А.** Вплив мінеральних добрив на площу листкової поверхні рослин сорго зернового. *Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2022. С. 69–72.

50. **Правдива Л. А.** Вплив мінеральних добрив на якісні показники сорго зернового. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Центральне, 2022. С. 85.

51. **Правдива Л. А.** Тривалість вегетаційного періоду та польова схожість насіння сорго зернового залежно від удобрення. *Інноваційні технології у рослинництві: проблеми та їх вирішення. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Житомир, 2022. С. 145–146.

52. **Pravdyva L. A.** The influence of a growth regulator on the sowing quality of sorghum bicolor seeds (*Sorghum bicolor* L.). *International scientific conference "Forecasts and prospects of scientific discoveries in agricultural sciences and food": conference proceedings.* Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2022. P. 52–55.

53. **Правдива Л. А.** Вплив регулятора росту на формування продуктивності сорго звичайного двокольорового. *Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування, присвячена пам'яті професора Г. П. Жемели. Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція. Тези доп.* Полтава, 2022. С. 146–148.

54. **Правдива Л. А.** Площа листкової поверхні рослин сорго звичайного двокольорового залежно від регулятора росту. *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2022. С. 69–72.

55. **Правдива Л. А.** Моніторинг стану посівів сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) на стійкість до хвороб. *Проблеми і перспективи фітоімунітету в селекції рослин. Всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доп.* Київ, 2022. С. 97–99.

56. **Правдива Л. А.** Вплив мінеральних добрив на урожайність сорго зернового. *Сучасні аспекти підвищення продуктивного та адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур у контексті європейського зеленого курсу. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Центральне, 2022. С. 147.

57. **Правдива Л. А.** Продуктивність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) залежно від умов вирощування та сортових особливостей. *Сільське господарство в умовах глобальних викликів: стратегічні пріоритети та загрози, вклад молодих вчених. Науково-практична інтернет-конференція. Тези доп.* ННЦ «Інститут землеробства НААН», 2022. С. 35–36.

58. **Правдива Л. А.** Вплив норм висіву насіння на урожайність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh) та соризу (*Sorghum oryroidum*). *Аграрна освіта та наука: досягнення та перспективи розвитку. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2023. С. 234–235.

59. **Правдива Л. А.** Вплив методів контролювання чисельності бур'янів на розвиток рослин сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh). *Герботологія в сучасному екологічно безпечному землеробстві. Науково-практична конференція. Тези доп.* Київ, 2023. С. 53–54.

60. **Правдива Л. А.** Вплив регулятора росту на урожайність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh). *Формування інноваційних агротехнологій в умовах змін клімату для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Одеса, 2023. С. 65–66.

61. **Правдива Л. А.** Площа листкової поверхні сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh) залежно від регулятора росту рослин. *Гончарівські читання. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Суми, 2023. С. 130–131.

62. **Правдива Л. А.** Вплив методів контролювання чисельності бур'янів на урожайність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moenh). *Інновації у сучасному агропромисловому виробництві. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Одеса, 2023. С. 72–74.

63. **Правдива Л. А., Дмитренко О. О., Вовк А. М.** Енергетична продуктивність сорго звичайного двокольорового залежно від методів контролювання чисельності бур'янів. *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква, 2023. С. 41–43.

64. **Правдива Л. А.** Енергетична продуктивність сорго звичайного двокольорового залежно від методів контролювання чисельності бур'янів. *Зернова галузь – проблеми та перспективи технологічного забезпечення. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Дніпро, 2023. С. 155–156.

Патенти України на корисну модель

65. Патент 126252 Україна, МПК (2018.01), А01D45/00. Двофазний спосіб збирання сорго зернового / **Герасименко Л. А., Зиков П. Ю.** (Україна); Заявник

і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. № у 2018 00216; заявл. 09.01.2018; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.

66. Патент 126251 Україна, МПК, А01В79/02 (2006.01). Спосіб підготовки поля для сівби сорго / **Герасименко Л. А.**, Сторожик Л. І., Зиков П. Ю. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. № у 2018 00215; заявл. 09.01.2018; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.

67. Патент 126245 Україна, МПК А01В39/12 (2006.01). Спосіб підгортання просапних культур на схилах / Хіврич О. Б., Зиков П. Ю., Курило В. Л., **Герасименко Л. А.**, Квак В. М., Хіврич Б. С. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. № у 2018 00170; заявл. 04.01.2018; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.

68. Патент 133238 Україна, МПК А01Ж22/20 (2018.01), А01С21/00, А01В79/02 (2006.01). Спосіб вирощування зернового сорго / Зиков П. Ю., **Герасименко Л. А.**, Хіврич О. Б., Котелевський В. М. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – № у 2018 10940; заявл. 06.11.2018; опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6.

АНОТАЦІЯ

Правдива Л. А. Агротехнологічні основи вирощування сорго звичайного двокольорового в Лісостепу України. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.09 – рослинництво. Національний науковий центр «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», Чабани, 2024.

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і практичне вирішення наукової проблеми щодо закономірностей формування високопродуктивних посівів сорго звичайного двокольорового як сировини для виробництва біопалива (біоетанолу та твердого палива) залежно від застосування стимулятора росту, строків сівби, глибини загортання насіння, способу сівби насіння – ширини міжрядь та норми висіву, доз добрив, способів контролювання чисельності бур'янів, строків збирання.

Проаналізовано результати досліджень вітчизняних та зарубіжних дослідників щодо основ формування високопродуктивних посівів сорго звичайного двокольорового.

Встановлено вплив параметрів показників ґрунтово-кліматичних умов в період вегетації на зміну формування врожаю, залежності та тісноти зв'язку між показниками погодних умов, урожайністю та стабільністю вирощування сорго звичайного двокольорового в Лісостепу України.

Розроблені математичні моделі залежностей продуктивності сорго звичайного двокольорового від впливу основних елементів технології вирощування, а також обґрунтовано положення щодо розрахункового виходу біопалива та енергії з насіння і вегетативної маси сорго звичайного двокольорового, та параметрів стабільного виробництва необхідної кількості

біосировини і швидкого впровадження у виробництво високопластичних сортів та удосконаленої технології вирощування сорго звичайного двокольорового.

Висвітлено дані щодо економічної та енергетичної ефективності вирощування сорго звичайного двокольорового в різних ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу України. Оптимізація елементів технології вирощування дозволяє отримати прибуток 29600 грн/га за рентабельності до 170 %, а за перероблення сорго на біопаливо – до 170000 грн/га за рентабельності до 230 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності залежно від елементів технології вирощування становив від 4,24 до 20,69.

На основі результатів досліджень рекомендовано технології вирощування сорго звичайного двокольорового в умовах Лісостепу України, що дають можливість отримати з одиниці площі посіву в середньому до 3,0 т/га біоетанолу, 18,0 т/га твердого палива та сукупної енергії – до 360 ГДж/га.

Ключові слова: сорт, стимулятор росту, строк сівби, глибина загортання насіння, норма висіву, спосіб сівби, доза добрив, спосіб контролювання чисельності бур'янів, урожайність, біоетанол, тверде паливо, енергія.

ABSTRACT

Pravdyva L. Agrotechnological basis for the cultivation of *Sorghum bicolor* L. in the Forest Steppe Zone of Ukraine. Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Doctor of Agricultural Sciences degree by specialty 06.01.09 – Plant growing. National Scientific Centre Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Chabany, 2024.

The thesis presents a theoretical generalisation and a practical solution to the scientific problem of regularities of obtaining high-yielding crops of *Sorghum bicolor* for the production of biofuels (bioethanol and solid fuel) depending on the use of plant growth stimulators, timing of sowing, sowing depth, row width, application rates of fertilisers, methods of weed control, and timing of harvesting.

Ukrainian and foreign literature on the basis of the formation of high-yielding crops of *Sorghum bicolor* were analysed.

The soil and climate indicators during the growing season and their effect on crop formation were determined. The correlation between indicators of weather conditions and crop yield and stability for growing *Sorghum bicolor* in the Forest Steppe of Ukraine were established.

Mathematical models for the dependence of the productivity of *Sorghum bicolor* on the action of the main elements of cultivation technology were developed.

Methodological provisions regarding the estimated yield of biofuel and energy from the seeds and biomass of *Sorghum bicolor*, stable production of the required amount of biomass, and rapid introduction into the production of highly plastic varieties were substantiated, and cultivation technology for *Sorghum bicolor* was improved.

Economic and energy efficiency of *Sorghum bicolor* cultivation in different soil and climatic conditions of the Forest Steppe of Ukraine is highlighted. Optimization of the elements of cultivation technology ensured a profit of UAH 29,600/ha with a profitability of up to 170%. For processing sorghum into biofuel, the profit increased up to UAH 170,000/ha at a profitability of 230%. Energy efficiency, depending on the

elements of the cultivation technology, ranged from 4.24 to 20.69. Based on the results of the research, cultivation technologies for growing *Sorghum bicolor* in the Forest Steppe of Ukraine are recommended, which provide bioethanol yield of up to 3.0 t/ha, solid biofuel yield of 18.0 t/ha, and total energy yield of up to 360 GJ/ha.

Keywords: variety, plant growth stimulator, timing of sowing, sowing depth, sowing rate, sowing method, rate of fertilizer, weed control method, yield, bioethanol, solid fuel, energy.