МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
(УНУС)

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра харчових технологій

Допущено до захисту

«____» _____ 2024

Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент

_____ Андрій ЧЕРНЕГА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ПРОДУКТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ЩІЛЬНОСТІ ПОСІВУ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ

Виконав: студент ІІ курсу, групи 26 м-а
спеціальності 201 Агрономія
Орлівський Сергій Олександрович

Керівник:
доктор сільськогосподарських наук, доцент
Дрозд Ольга Олександрівна

Умань – 2024

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	3
Розділ 1 Продуктивність сорго цукрового за різних агротехнологічних заходів в умовах Правобережного Лісостепу (огляд літератури)	5
Розділ 2 Характеристика об’єкту дослідження	12
Розділ 3 Умови і методика проведення досліджень	13
Розділ 4 Продуктивність різних гібридів сорго цукрового залежно від норми висіву, строку сівби і строку збирання вегетативної маси	16
4.1 Ріст і розвиток сорго цукрового	16
4.2 Урожайність і якість стебел сорго цукрового	21
Розділ 5 Економічна ефективність	25
Розділ 6 Охорона праці та навколишнього природного середовища	27
Висновки	31
Список використаних джерел	32
Додатки	36

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. На даний час у забезпеченні життєздатності світової спільноти переважають традиційні викопні види палива, що негативно впливають на стан довкілля та рівень енергетичної безпеки. Вирішення даної проблеми можливе за рахунок впровадження виробництва біологічних видів палива, що можуть бути одержані з біоенергетичної сировини сільськогосподарського призначення. Одним з основних альтернативних видів палива є біоетанол, який можна отримати із різної цукровмісної сировини. Потенційним сировинним джерелом постачання цукристих речовин є сорго цукрове.

Біомаса є відновлюваним, екологічно чистим універсальним сировинним джерелом, яке можна використовувати для виробництва енергії та тепла, а також отримувати з неї рідкі та газоподібні види палива – біогаз, біодизель, біоетанол. Так, біоетанол, що отримується в процесі переробки рослинної сировини використовується як біопаливо для автомобільного транспорту. Значна увага приділяється застосуванню брикетів для твердопаливних котлів, сировиною для виготовлення яких також слугує вегетативна маса різних сільськогосподарських культур.

У зв’язку з глобальними кліматичними змінами, останніми роками на території України спостерігається погіршення режиму природного зволоження та підвищення температурного режиму, що зумовлює необхідність вирощувати такі культури, які у посушливих районах забезпечували високі та стійкі врожаї. В Україні виникають умови для виробництва біопалива із сировини вирощеної в аграрному секторі. В умовах енергетичної та екологічної кризи однією з найбільш перспективних енергетичних рослин є культура сорго цукрового.

Для ефективного вирощування сорго цукрового в зоні Лісостепу України, залежно від конкретних ґрунтово-кліматичних умов, сортів і

гібридів, доцільно розробити та удосконалити елементи технології вирощування, зокрема встановити найбільш продуктивну густоту насаджень рослин, сортовий склад та оптимальні строки сівби та збирання для цієї зони.

Наукова новизна одержаних результатів. Доведено, що для отримання найвищої врожайності зеленої маси сорго цукрового, як сировини для виробництва біоетанолу і біогазу, за умов вирощування в Лісостепу України, оптимальною густотою насаджень для гібридів Фаворит, Зубр, Мамонт, Медовий є 150–200 тис. рослин на 1 га за міжряддя 45 см. Оптимальний строк сівби сорго цукрового – перша, друга декада травня місяця за температури ґрунту на глибині посіву 12–14 ºС. За умови високих температур та малої кількості опадів кращий врожай був за збирання сорго цукрового у фазу воскової стиглості.

Практичне значення одержаних результатів. Для виробництва найвищої кількості біоенергетичних продуктів необхідно вирощувати гібрид Мамонт. За оптимальних агротехнологічних заходів вихід біогазу становить 18,88–20,24 тис. $м^3$/га, вихід біоетанолу – 4,15–4,49 т/га.

Апробація результатів досліджень. Основні результати виконаних досліджень доповідались і обговорювались на студентських наукових конференціях Уманського НУС (Умань, 2023–2024).

РОЗДІЛ 1
ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗА РІЗНИХ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ (огляд літератури)

Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* Pers.) відноситься до роду *Sorghum* (L)., Moench. – сорго, родини злакові (*Poaceae* Bernh.) і включає 60–70 видів культурного сорго, групу напівдиких і диких рослин [1]. У сільськогосподарській практиці найціннішим є однорічне культурне сорго, що підрозділяється на зернове, цукрове, віничне і трав'янисте (суданська трава). До сорго цукрового відноситься велике число різновидів, що характеризуються тим, що у них в соку стебла міститься від 10 до 20 % і більше цукру [2]. У природі не існує іншої рослини, яка могла б так швидко синтезувати сахарозу. Рослина сорго цукрового є високорослим кущем (до 200–350 см) з соковитими стеблами (до 60 % від загальної маси). Середня врожайність стебел сорго – 20–30 т/га [3].

У багатьох країнах переважають традиційні види палива, що негативно впливають на стан довкілля та рівень енергетичної безпеки [4]. Вирішення даної проблеми можливе за рахунок впровадження виробництва біологічних видів палива, що можуть бути одержані з біоенергетичної сировини сільськогосподарського призначення [5]. Одним з основних альтернативних видів палива є біоетанол, який можна отримати із різної цукровмісної сировини. Потенційним сировинним джерелом постачання цукристих речовин є сорго цукрове [6].

В Україні сорго цукрове використовується для силосування, отримання зеленої маси, цукру, патоки і етанолу. Останній виробляють із клітинного соку з листків і стебел, який містить до 20 % цукру. Саме тому його сік стали використовувати для виробництва біопалива (біогазу, паливних гранул та ін.) і сировини для отримання цукру, харчового сиропу, меду [7].

Так, біоетанол, що отримується в процесі переробки рослинної сировини використовується як біопаливо для автомобільного транспорту [4, 5]. Значна увага приділяється застосуванню брикетів для твердопаливних котлів, сировиною для виготовлення яких також слугує вегетативна маса різних сільськогосподарських культур [6].

У зв'язку з глобальними кліматичними змінами, останніми роками на території України виникають умови для виробництва біопалива із сировини вирощеної в аграрному секторі [7]. В умовах енергетичної та екологічної кризи однією з найбільш перспективних енергетичних рослин є культура сорго цукрового [8].

Використання сорго сільгоспвиробниками різноманітне – виробництво борошна, крупи, спирту та крохмалю, а завдяки високому вмісту вуглеводів у соку стебел його застосовують як сировину для виробництва біоетанолу та харчового сиропу. Суха маса стебел, після віджиму, переробляється на тверді види палива [9, 10].

Для ефективного вирощування сорго цукрового в зоні Лісостепу України, залежно від конкретних ґрунтово-кліматичних умов, сортів і гібридів, доцільно розробити та удосконалити елементи технології вирощування, зокрема встановити найбільш продуктивну густоту насаджень рослин, сортовий склад та оптимальні строки сівби та збирання для цієї зони.

Відповідно для отримання високого рівня продуктивності слід створити оптимальні умови для рослин сорго цукрового на усіх етапах органогенезу. Адже, відповідно до досліджень чим більш сприятливі умови для утворення зачатків стеблових вузлів, міжвузлів, листків, тим більший урожай надземної маси можна отримати [11].

В сучасних умовах ця культура розглядається як високорентабельна альтернатива кукурудзі з широким ареалом вирощування і різностороннім використанням. У ряді країн, де кліматичні умови перешкоджають виробництву інших злаків, сорго є продуктом, що забезпечує до 30 %

харчової енергії, а в інших країнах – це в основному кормовий ресурс і сировина для отримання біопалива. Сорго – культура просапна. Спосіб його сівби визначається біологічними потребами рослини до площі живлення, освітлення, забезпечення вологою і можливістю проведення механізованого догляду за рослинами, забур'яненістю поля, якістю підготовки ґрунту до сівби, наявністю відповідної техніки. Правильне розміщення рослин сорго на площі є одним з найважливіших умов отримання високих і стабільних урожаїв [12].

Густота посіву значно впливає на ріст і розвиток рослин та величину врожаю. Оптимальна густота стояння сприяє забезпеченню елементами живлення, вологою, освітленням рослин і формуванню при цьому максимальної продуктивності. Одним із головних факторів, який визначає густоту посіву, є наявність вологи й елементів живлення у ґрунті. Оптимальну густоту посіву визначають залежно від конкретних ґрунтово–кліматичних умов, морфо-біологічних особливостей сортів і гібридів сорго та напрямку використання продукції [13].

Урожайність сорго цукрового залежить як від густоти насаджень, так і від біологічних особливостей гібриду, норми висіву та ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Потрібно виважено підходити до вибору цих елементів технології, щоб отримати сировину високої якості для переробки на біопаливо [14].

У дослідженнях [10], що проведені в Лісостепу України доведено, що врожайність стебел сорго цукрового значно змінювалась залежно від гібриду. Так, найбільший вихід біомаси у перерахунку на суху масу був у сортів сорго цукрового Гулівер (15,4 т/га), Цукрове (15,2 т/га) та Зубр (12,5 т/га). Проте в дослідженнях не вивчали формування продуктивності сорго цукрового залежно від інших агротехнологічних чинників.

В інших дослідженнях [15] встановлено, що найбільший вихід біопалива та енергії (до 791,8 ГДж/га) досягається за вирощування сорго цукрового

гібрида Довіста за умови збирання його біомаси у фазу повної стиглості насіння (початок жовтня). Збирання біомаси сорго цукрового на біогаз доцільно розпочинати не раніше фази викидання волоті. Для забезпечення максимального виходу біоетанолу оптимальними строками збирання зеленої біомаси сорго цукрового є II декада вересня – I декада жовтня, а максимальний вихід твердого біопалива досягається за збирання біомаси не раніше фази воскової стиглості зерна. На формування врожаю зеленої біомаси сорго цукрового найбільше впливали погодні умови (47,4 %), меншим був вплив сортових особливостей (17,8 %) та строків збирання (12,8 %), а на вихід енергії найбільший вплив чинили строки збирання біомаси (37,4 %). Встановлено тісну лінійну кореляційну залежність виходу енергії від врожайності зеленої (R^2=0,81) та сухої біомаси (R^2=0,99). Найбільш екологічно пластичним за показником загального виходу енергії з одиниці площі виявився гібрид Медовий F_1 (b=1,62), що свідчить про перспективність вирощування цього гібрида за сприятливих погодних умов та належного рівня агротехніки.

Результати досліджень інших вчених [16] свідчать, що збирання сорго цукрового найкраще проводити у фазу воскової стиглості зерна. Сорго цукрове – культура подвійного призначення, яку можна використовувати як для енергетичної, так і для продовольчої безпеки. Проведені дослідження показали, що збирання сорго цукрового на етапах IV і V (104–117 днів після посадки або після 28–35 діб після цвітіння) буде доцільним для отримання зерна та біоетанолу. Однак на ці етапи можуть впливати умови навколишнього середовища. Про що свідчать також дослідження [13]. Отже, необхідно провести додаткові дослідження щодо встановлення оптимального строку збирання сорго цукрового для отримання біоетанолу.

Оптимізація просторового розташування рослин сорго на площі поля є важливою умовою формування високих та стабільних урожаїв. За вирощування з малими нормами висіву рослини сорго інтенсивно кущаться.

Однак, коефіцієнт кущення залежить від того, яке сорго ми вирощуємо. Зернові сорти сорго мають коефіцієнт кущення в межах 2–5, а от цукрове сорго в основному від 1 до 2 [17].

У загущених посівах сорго цукрового відсутній значний коефіцієнт кущення, а тому за таких умов суттєво зростає вміст целюлози та відповідно зменшується кількість соку і його цукристість в головному стеблі сорго цукрового [18].

Загалом же густота рослин сорго цукрового має значний вплив на ріст і розвиток рослин. За різної ширини міжрядь та норми висіву змінюється висота рослин, кущіння, діаметр стебла, площа листкової поверхні, чиста продуктивність фотосинтезу, динаміка накопичення зеленої маси та сухої речовини, тощо [19].

За даними [20] встановлено що спосіб і норми сівби сорго залежать не тільки від біологічних особливостей сорту та ґрунтово-кліматичних умов, а й мети вирощування.

Встановлено, що за достатньої вологості ґрунту в загущених посівах рослини затіняють одна одну, а тому загальна висота посівів зростає, врожай зеленої маси збільшується, а вміст сухої речовини знижується порівняно з оптимальною густотою [21].

Дослідження проведені [22, 23] вказують, що ріст і розвиток рослин та формування продуктивності агрофітоценозів сорго цукрового визначаються насамперед погодними умовами, які складаються в період вегетації.

Сорго цукрове потребує оптимального і стабільного зволоження, особливо на першому – поява сходів і формування вегетативних органів та другому – утворення генеративних органів – періодах. Оптимальними у ці періоди слід вважати значення ГТК на рівні 1,1–1,3 і 1,0–1,6 відповідно. За таких умов тривалість між фазного періоду сходи-кущення становить 16–19 діб, кущення-викидання волоті – 35–42 діб, викидання волоті-цвітіння – 7–9 діб, вегетаційний період загалом – 91–132 доби. Установлено тісну

кореляційну залежність між ГТК і польовою схожістю насіння та густотою сходів сорго цукрового (коефіцієнт кореляції r = 0,92 та 0,89 відповідно) [24, 25].

За 10-річний період польову схожість насіння сорго цукрового в межах 55–58 % у регіоні відмічено чотири рази (ГТК в період сівба-сходи становив 0,5–0,8), у межах 63–70 % – шість разів (ГТК – 1,0–1,7). Густота сходів за таких умов була в межах 6,0–6,4 і 8,2–9,5 шт/м відповідно [26, 27].

Спостереження показали, що з загущенням посівів вміст води в рослинах і окремо у волотях підвищується. З густотою насаджень сорго пов’язана також і висота рослин. За достатньої та надмірної вологості ґрунту в загущених посівах рослини затіняють одна одну, тягнуться у висоту, врожай зеленої маси збільшується, а вміст сухої речовини знижується порівняно з оптимальною густотою стояння рослин. Загущення посівів недопустиме за недостатньої кількості вологи в ґрунті [28, 29].

За результатами досліджень [30] встановлено, що максимальні врожаї сорго можуть бути отримані за густоти 66,5 тис. рослин на гектар, та відповідно з відстанню між рядками 75 см та за формування 5 рослин на 1 погонний метр рядка.

За вирощування сорго в умовах південно-західних регіонів Франції оптимальною вважається густота рослин 300 тис/га за ширини міжрядь в межах 30–40 см [31].

Більшість дослідників, що проводили вивчення норм висіву насіння сорго цукрового схиляються до думки що даний параметр залежить від сортових особливостей. Так, вивчення різних сортів та гібридів сорго цукрового показує їх різний рівень ефективності та можливості отримання високого виходу сировини для переробки на біоенергетику [32].

Отже, врожайність сорго цукрового залежить як від густоти насаджень, так і від біологічних особливостей гібриду, норми висіву та ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Потрібно виважено підходити до вибору

цих елементів технології, щоб отримати сировину високої якості для переробки на біопаливо.

Проведений аналіз свідчить, що науково-обґрунтований вибір норми висіву насіння сорго, залежить від ґрунтово-кліматичних умов, стану ґрунту, його вологості, біологічних особливостей сортів і гібридів, господарського призначення посіву.

РОЗДІЛ 2
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сорго – рослина короткого дня. Відноситься до теплолюбних культур. Мінімальна температура для проростання насіння 8–9°С, дружні сходи з'являються при 13–15°С на глибині закладення насіння. Оптимальна температура для проростання насіння 20–25°С. При пониженні температури до мінус 2–3°С сходи гинуть. Сума ефективних температур для вирощування сорго становить 3000–3500°С.

На утворення одиниці сухої речовини сорго витрачає 300 частин води (суданська трава – 340, кукурудза – 388, пшениця – 515), за посухостійкістю сорго перевершує кукурудзу й пшеницю. Для зменшення випаровування вологи листя сорго під час посухи ущільнюються та приймають вертикальне положення. Сорго перевершує кукурудзу за врожайністю зеленої маси, а іноді і зерна при вирощуванні без зрошення в районах з річною кількістю опадів менше 500 мм (наприклад, у Південному Степу України).

Для набухання і проростання насіння сорго потребує 35 % води від маси насіння, кукурудза – 40, а пшениця – 55–60 %. Сорго – рослина перехреснозапильна, проте у нього може також проявлятись і самозапилення (до 30 %) [33].

У досліді вивчали гібриди сорго цукрового (фактор А): Зубр, Фаворит, Мамонт і Медовий; густоту стояння рослин (фактор В): 100 тис. шт/га, 150 тис. шт/га, 200 тис. шт/га, які висівали у два строки сівби і збирали у фазах викидання волоті, цвітіння та воскової стиглості зерна.

РОЗДІЛ 3
УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися на полях Дослідної станції тютюнництва ННЦ «ІЗ НААН» (м. Умань, Черкаська обл.) у 2024 р.

За фізико-географічним районуванням Черкаська область розташована у центральній частині України. Зона характеризується слабо хвилястим рельєфом і різноманіттям ґрунтового покриву. Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий. Для нього характерна висока природна родючість (вміст гумусу 3,0–3,2 %), добрі фізичні, хімічні та біологічні властивості.

Клімат помірно-континентальний. Періоди з середньою добовою температурою повітря понад 5°С тривають 205–215 діб, температурою понад 10°С – 161–170 діб, а з температурою понад 15°С – 106–110 діб. Суми активних температур дорівнюють 2580–2900°С, а гідротермічний коефіцієнт (ГТК) становить 1,0–1,2. Опадів впродовж року випадає в середньому від 517 мм до 633 мм, а за період з температурою понад 10°С – від 334 до 412 мм.

У 2024 році тенденція зменшення загальної кількості опадів і підвищення температури повітря продовжувалась. В районі розміщення ДСТ (Умань, Черкаської області) влітку випало дуже мало дощів, червень – 17 мм проти 87 мм за нормою, липень – 94 мм проти 87 мм за нормою, серпень 13 мм проти 59мм. Дощі у червні, серпні місяцях були малої інтенсивності і короткочасні, це стримувало ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Урожай отримали за рахунок опадів у квітні (130 мм проти 48 мм за нормою) та липні (94 мм проти 87 мм). За температурою 2023 рік теж був теплішим за багаторічні показники, як у зимовий період, так і влітку. Травень місяць був прохолодний і відповідав середньорічним температурам, а влітку температура повітря зросла, в червні на 2,1 Cº і 4,7 Cº у серпні проти середніх

багаторічних. Також висока температура повітря спостерігалась у вересні 18,4 Cº проти 13,6 Cº за нормою і все це за на фоні дефіциту вологи.

Схеми досліду

Фактор А: Густота насаджень

А 1 100 тис. шт/га

А 2 150 тис. шт/га

А 3 200 тис. шт/га

Фактор Б: Строки збирання

Б 1 фаза викидання волоті

Б 2 фаза цвітіння

Б 3 фаза воскової стиглості зерна

Фактор В: Гібрид

В 1 Зубр

В 2 Фаворит

В 3 Мамонт

В 4 Медовий

Площа посівної ділянки – 51,2 м^2, облікової – 37,8 м^2. Повторність досліду триразова. Досліди закладали за методом систематичних повторювань з шириною міжрядь 45 см. Сівбу насіння сорго цукрового першого строку сівби проводили у першій декаді травня з глибиною загортання насіння 4–6 см.

Збирання врожаю проводили поділяночно в різні строки. Висоту рослин визначали мірною лінійкою від поверхні ґрунту до верхівки головного стебла у досліджувані фази росту і розвитку рослин, шляхом вимірювання 40 рослин з двох несуміжних повторень. Діаметр стебла визначали штангенциркулем на висоті скошування рослин (10 см) шляхом вимірювання 40 рослин з двох несуміжних повторень. Площу листкової поверхні – за допомогою ширини і

довжини листка. Вихід біоетанолу та біогазу визначали розрахунково.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за методом дисперсійного аналізу з використанням комп’ютерного програмного забезпечення Excel [34].

РОЗДІЛ 4
ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ГІБРИДІВ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД НОРМИ ВИСІВУ, СТРОКУ СІВБИ І СТРОКУ ЗБИРАННЯ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ

4.1 Ріст і розвиток сорго цукрового

В останні роки в Україні створені високоврожайні сорти і гібриди сорго цукрового, які за врожайністю фіто-маси і цукристістю перевищують сорти сорго, що вирощують в тропічних країнах на один урожай в сезон.

У зв’язку з кліматичними змінами вирощування високопродуктивних цукроносних культур в богарних умовах є актуальними не тільки для південних регіонів, але також для центральних і північних природних зон України.

Аналіз досліджень показує, що тривалість міжфазного періоду залежала від біологічних особливостей досліджуваних сортів і гібридів та не залежали від густоти насаджень. У середньому по досліду у рослин сорго цукрового поодинокі сходи за першого строку появились на 10–17 добу після сівби.

Вегетаційний період від появи сходів до моменту збирання врожаю складав від 142 діб у гібридів Зубр і Мамонт, до 131 діб у гібридів Фаворит і Медовий.

Висота рослин сорго цукрового зростала по мірі проходження фаз розвитку від стеблування до воскової стиглості і в більшій мірі залежала від генотипу рослин (табл. 4.1). За двох строків сівби гібриди Зубр і Мамонт мали висоту 2,95–3,83 м, а Фаворит і Медовий 2,20–3,05 м.

У розрізі окремого гібриду спостерігалась різниця у висоті рослин в залежності від густоти насаджень. За густоти 100 тис. шт/га рослини були нижчими на 15–20 см від рослин вирощених за густоти 200 тис. шт/га.

Середньостиглі гібриди Зубр і Мамонт були більш високорослі за всіх умов вирощування.

Таблиця 4.1

Висота рослин сорго цукрового залежно від агротехнологічних заходів, м

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза викидання волоті	Фаза цвітіння	Фаза воскової стиглості
Зубр	100	3,16	3,29	3,52
	150	3,26	3,35	3,52
	200	3,27	3,39	3,58
Фаворит	100	2,68	2,77	2,95
	150	2,60	2,86	2,94
	200	2,75	2,91	3,14
Мамонт	100	3,20	3,51	3,68
	150	3,28	3,63	3,78
	200	3,37	3,72	3,76
Медовий	100	2,43	2,84	2,96
	150	2,43	2,83	2,97
	200	2,40	2,86	3,09
HIP_{05}		*0,14*	*0,16*	*0,17*

Біомаса таких культур як сорго (*Sorghum bicolor*), цукрова тростина (*Saccharum officinarum* L.), кукурудза (*Zea mays* L. subsp mays) і міскантус (*Miscanthus* spp.) з C_4-типом фотосинтезу, які часто ідентифікуються для використання як енергетичні культури. Тим не менш, сорго на основі біомаси є перспективною культурою для виробництва біоенергії через його високий потенціал біомаси, короткий період вирощування [6], стійкість до водного

стресу [7], високу ефективність використання води [8] і високу ефективність перетворення сонячної енергії в біомасу [9, 10].

Діаметр стебла рослин сорго цукрового, в основному, залежав від густоти насаджень і в меншій мірі від генотипу. За густоти насаджень 100 тисяч рослин на гектарі діаметр стебла коливався від 1,9–2,3 см, а за густоти 200 тисяч рослин на гектарі 1,7–2,1 см (табл. 4.2). Ранньостиглі гібриди Фаворит і Медовий мали менший діаметр проти більш пізньостиглих Зубр і Мамонт.

Таблиця 4.2

Діаметр стебла сорго цукрового залежно від агротехнологічних заходів, см

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза викидання волоті	Фаза цвітіння	Фаза воскової стиглості
Зубр	100	1,9	1,8	1,7
	150	1,8	1,7	1,5
	200	1,7	1,6	1,5
Фаворит	100	1,8	1,8	1,8
	150	1,8	1,8	1,5
	200	1,8	1,7	1,5
Мамонт	100	1,8	1,7	1,6
	150	1,8	1,7	1,7
	200	1,9	1,7	1,6
Медовий	100	1,6	1,7	1,6
	150	1,7	1,6	1,5
	200	1,6	1,5	1,5
$НІР_{05}$		*0,1*	*0,1*	*0,1*

Сорго з біомасою було генетично вдосконалено, щоб збільшити

накопичення біомаси і максимізувати вміст целюлози. Крім цього, рослини можутьформувати високі врожаї біомаси всього за 90–100 діб і залишатися у фазі вегетативного росту більше 200 діб на більшості широт [6].

Кількість листків на рослинах сорго цукрового мало залежала від густоти насаджень, а формувалась відповідно до генотипу (табл. 4.3).

У всіх гібридів Зубр, Фаворит , Мамонт було зареєстровано 10–11 продуктивних листків, а сортозразок Медовий мав 9–11 листків у фазу воскової стиглості.

Таблиця 4.3

Кількість листків сорго цукрового залежно від агротехнологічних заходів, шт.

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза викидання волоті	Фаза цвітіння	Фаза воскової стиглості
Зубр	100	12	12	12
	150	11	11	12
	200	11	11	12
Фаворит	100	11	10	10
	150	10	10	9
	200	10	10	10
Мамонт	100	12	12	12
	150	11	11	12
	200	11	12	12
Медовий	100	10	11	10
	150	10	10	10
	200	10	10	10
$НІР_{05}$		*1*	*1*	*1*

Площа листової поверхні рослин сорго цукрового в великій мірі

залежала від генотипу, наявності вологи в ґрунті та густоти насаджень (табл. 4.4). Площа листової поверхні рослин сорго цукрового зростала зі збільшенням густоти насаджень і була максимальною у фазу викидання волоті, що пов’язано з інтенсивними опадами в липні місяці, недостатня кількістю вологи спостерігалась в червні та серпні місяці.

Таблиця 4.4

Площа листкової поверхні сорго цукрового залежно агротехнологічних заходів м^2/га

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза викидання волоті	Фаза цвітіння	Фаза воскової стиглості
Зубр	100	53720	50657	47079
	150	74575	63234	72704
	200	85783	61686	82872
Фаворит	100	40559	40348	36204
	150	65652	62759	52119
	200	77768	77576	73483
Мамонт	100	52360	52520	47416
	150	72275	71350	69338
	200	100625	91032	87008
Медовий	100	43196	40815	33742
	150	55713	60123	67979
	200	73624	79329	68015
HIP_{05}		3750	3721	3677

Отже, висота рослин, діаметр стебла та площа листкової поверхні достовірно змінюються залежно від гібриду, строку сівби і густоти рослин. При цьому кількість листків майже не змінювалась від досліджених агротехнологічних чинників. Усі гібриди сорго цукрового у фазу викидання

волоті формують високу площу листкової поверхні, яка змінюється по різному впродовж фаз росту та розвитку. Найвищу площу листків сорго цукрового отримано за густоти рослин 150–200 тис. шт/га під час сівби у I декаді травня.

4.2 Урожайність і якість стебел сорго цукрового

Інформація про сівбу в різні строки для гібридів сорго обмежена, і в літературі існує дуже мало досліджень, ймовірно, через те, що параметри агротехнології дуже відрізняються залежно від ґрунтового-кліматичних умов. Деякі з цих кількох досліджень належать вченим [11, 12], які повідомили, що пізні строки сівби сорго цукрового зазвичай мають нижчу врожайність стебел і цукру, ніж ранні посіви. Інше дослідження [13] містить вплив строків посіву та сонячної радіації на сорго цукрове. Вони спостерігали, що найвищий врожай цукру був виявлений у посівах, посіяних у травні.

Розширення постачання недорогої сировини протягом виробничого сезону було визначено як критичний фактор, пов’язаний з економічним успіхом біопаливного підприємства [14]. Зокрема, необхідні нижчі витрати на виробництво сировини, щоб компенсувати вищі конверсійні та капітальні витрати, пов’язані з целюлозним біопаливом порівняно з аналогічним біопаливом на основі цукру [15]. Виробництво сировини також має конкурувати з іншими культурами щодо прибутку. Отже, можуть знадобитися вищі показники прибутку, щоб стимулювати виробників до переходу від будь-якої існуючої культури до нових енергетичних культур.

Встановлено, що врожайність стебел змінювалась залежно від досліджених агротехнологічних заходів (табл. 4.5). Найбільшу врожайність забезпечувало вирощування гібриду Мамонт упродовж усіх строків збирання

– 22,8–42,3 т/га сухої маси за першого строку сівби. Необхідно відзначити, що найбільшою вона була за збирання у фазу молочної стиглості зерна – 29,0–42,3 т/га сухої маси. При цьому збільшення густоти рослин достовірно збільшувало врожайність на 46 %.

Таблиця 4.5

Урожайність зеленої і сухої маси сорго цукрового залежно від агротехнологічних заходів (2024 р.), т/га

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза збирання сорго					
		Викидання волоті		Цвітіння		Воскової стиглості	
		зелена маса	суха маса	зелена маса	суха маса	зелена маса	суха маса
Зубр	100	69,9	26,5	76,8	27,3	77,9	27,8
	150	77,5	26,3	86,7	28,3	89,3	29,0
	200	94,5	28,5	93,8	29,7	93,9	29,7
Фаворит	100	60,0	22,3	57,5	22,1	60,1	23,1
	150	72,9	23,4	66,1	22,2	68,5	22,7
	200	80,6	28,3	80,3	29,9	78,8	29,1
Мамонт	100	73,8	22,8	75,9	23,7	91,6	29,0
	150	94,0	33,6	97,3	33,8	113,3	39,4
	200	115,6	40,5	111,5	38,9	121,9	42,3
Медовий	100	65,1	18,6	60,2	18,8	54,4	16,2
	150	82,3	30,2	80,9	32,5	63,0	33,7
	200	91,3	33,3	94,6	36,4	83,3	37,0
$НІР_{05}$		*3,8*	*1,3*	*3,9*	*1,3*	*3,9*	*1,3*

Урожайність сухої маси стебел решти гібридів було достовірно меншою.

При цьому врожайність у гібриду Зубр збільшувалась лише на 7 % за густоти 200 тис. шт./га. За другого строку сівби найбільшу врожайність забезпечувало вирощування гібриду Медовий. Максимальну врожайність отримано вже в фазу цвітіння – 24,2–36,3 т/га залежно від густоти рослин.

У роки з недостатньою кількістю вологи сорго цукрове знижує врожайність зеленої маси на 30–50 % як за першого строку сівби, так і за другого. При цьому описана тенденція зберігається.

Результати досліджень свідчать, що за першого строку сівби найвищий вихід біогазу забезпечувало вирощування гібриду сорго цукрового Мамонт при збиранні у фазу воскової стиглості зерна – 13,75–20,24 тис. $м^3$/га залежно від густоти рослин (табл. 4.6). За збирання стебел у фазу цвітіння цей показник був на рівні 10,99–18,52 тис. $м^3$/га.

Вирощування гібриду Мамонт забезпечувало найвищий вихід біоетанолу – 3,31–4,49 т/га за збирання у фазу воскової стиглості. За умови збирання вегетативної маси у фазу цвітіння цей показник був у межах 2,56–3,78 т/га.

Потрібні стратегічні плани ефективного використання активної сонячної радіації для виробництва достатньої кількості їжі та палива для зростаючого населення.

Отже, важливо визначити точні значення продуктивності для агрономічної реакції при виробництві біопалива з сорго цукрового. Таким чином, було заплановано експеримент із різними агротехнологічними умовами для оцінки значень параметрів біоенергетичної продуктивності для чотирьох гібридів сорго на вегетативну масу, висіяних у різні дати, щоб кількісно визначити вплив погоди на продуктивність сорго цукрового. Крім цього, визначити параметри виходу біопалива різних гібридів сорго цукрового за різної щільності посіву.

Таблиця 4.6

Вихід біогазу (тис. м^3/га) і біоетанолу (т/га) за вирощування сорго цукрового залежно від агротехнологічних заходів, 2024 р.

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза збирання сорго					
		Викидання волоті		Цвітіння		Воскової стиглості	
		біогаз тис. м^3 /га	біоетанол т/га	біогаз тис. м^3 /га	біоетанол т/га	біогаз тис. м^3 /га	біоетанол т/га
Зубр	100	10,41	1,78	11,79	2,37	12,03	2,62
	150	11,35	2,05	13,17	2,48	13,69	3,11
	200	14,47	2,63	14,34	3,06	14,35	3,38
Фаворит	100	8,96	1,56	8,45	1,77	8,93	1,95
	150	10,83	2,02	9,51	2,17	9,83	2,36
	200	12,79	2,22	12,78	2,58	12,50	2,72
Мамонт	100	10,75	2,10	10,99	2,56	13,75	3,31
	150	14,84	2,62	15,48	3,45	18,88	4,15
	200	19,49	3,18	18,52	3,78	20,24	4,49
Медовий	100	8,87	1,82	7,77	1,91	7,04	1,91
	150	13,35	2,13	13,59	2,32	9,40	2,10
	200	15,07	2,40	16,53	2,81	13,54	2,39
$НІР_{05}$		*0,57*	*0,10*	*0,59*	*0,12*	*0,58*	*0,13*

За першого строку сівби найвищий вихід біогазу та біоетанолу також забезпечило вирощування гібриду сорго цукрового Мамонт. При цьому в фазу воскової стиглості вихід біогазу був на 40 %, а біоетанолу – на 34 % нижчим порівняно з першим строком сівби.

Біоенергетичні параметри для решти гібридів були достовірно меншими порівняно з гібридом Мамонт незалежно від досліджених агротехнологічних заходів.

Отже, енергетична продуктивність гібридів сорго цукрового за вирощування в Лісостепу України у великій мірі залежить від урожаю зеленої маси, який у свою чергу формується з урахуванням гібриду, густоти рослин, строку сівби і строку збирання.

Встановлено, що для отримання зеленої маси сорго цукрового, як сировини для виробництва біоетанолу і біогазу, за умов вирощування в Лісостепу України, оптимальною густотою насаджень для гібридів Фаворит, Зубр, Мамонт, Медовий є 150–200 тис. рослин на 1 га за міжряддя 45 см. Оптимальний строк сівби сорго цукрового – перша декада травня.

За умови високих температур та малої кількості опадів кращий врожай був за збирання сорго цукрового в фазу воскової стиглості. Для виробництва найвищої кількості біоенергетичних продуктів необхідно вирощувати гібрид Мамонт. За оптимальних агротехнологічних заходів вихід біогазу становить 18,88–20,24 тис. $м^3$/га, вихід біоетанолу – 4,15–4,49 т/га.

РОЗДІЛ 5
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Результати економічної ефективності вирощування сорго цукрового наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Економічна ефективність агротехнологічних заходів при вирощуванні сорго цукрового за рівнем прибутку від реалізації біоетанолу, тис грн

Гібрид	Густота, тис. шт/га	Фаза викидання волоті	Фаза цвітіння	Фаза воскової стиглості
Зубр	100	145,0	199,9	223,2
	150	167,2	207,1	265,7
	200	218,1	258,1	287,8
Фаворит	100	124,6	144,1	160,9
	150	164,4	178,3	196,0
	200	180,0	213,4	226,5
Мамонт	100	174,8	217,6	287,3
	150	220,2	297,4	362,5
	200	269,2	325,0	391,1
Медовий	100	148,8	157,1	157,1
	150	174,6	192,3	171,8
	200	196,7	234,8	195,8

Економічні розрахунки проведено з урахуванням вартості 1 т біоетанолу 120 тис. грн. і витрат на його отримання з 1 га посіву сорго цукрового можна отримати від 71,6 до 391,1 тис грн.

Проведені розрахунки свідчать, що найбільший прибуток забезпечує

вирощування гібриду Мамонт з нормою висіву 150–200тис. шт./га за першого строку сівби при збиранні вегетативної маси у період цвітіння – воскова стиглість зерна.

Необхідно відзначити, що валовий дохід від реалізації спирту найбільшим був також за вирощування гібриду Мамонт (Додаток 5.1). При цьому витрати на вирощування цього гібриду були найбільшими (Додаток А 5.2). Проте вони перекривались виручкою від реалізації продукту.

РОЗДІЛ 6
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

РОЗДІЛ 6
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Організація умов і заходів з охорони праці та моделювання виробничих небезпек за вирощування сорго цукрового

Сорго цукрове – просапна культура, яка включає проведення цілої низки агротехнологічних заходів, що зумовлює звертати увагу на заходи з охорони праці. Необхідно відзначити, що цими заходами не можна нехтувати упродовж усього терміну вирощування цієї культури, оскільки в технології вирощування використовують мінеральні добрива і засоби захисту рослин.

Необхідно відзначити, що виключити застосування мінеральних добрив і засобів захисту не можливе, бо вони забезпечують значному підвищенню або захисту врожаю.

В умовах дослідної станції тютюнництва дотримуються правил зберігання і застосування засобів захисту та агрохімікатів відповідно до норм встановлених Законом України «Про пестициди та агрохімікати». Крім цього, всі необхідні агротехнологічні заходи також виконують з дотриманням правил безпеки. Проте небезпечні ситуації та умови мають при цьому місце.

Під час проведення агротехнологічних заходів при вирощуванні сорго цукрового може виникнути ситуація, яка виражена в такій моделі:

НУ1 (небезпечна умова) – розпилений робочий розчин засобів захисту,

НУ2 – відсутній захист ріжучих робочих поверхонь,

НУ3 – несправність агрегату,

НУ4 – не вчасно проведено навчання та не проведено інструктажу з

питань охорони праці для працівників,

НД1 – механізатор працює без засобів індивідуального захисту,

НД2 – тракторист проводить технологічні операції з ввімкненим двигуном,

НС1 – потрапляння пилу від засобів захисту в зону дихання механізатора,

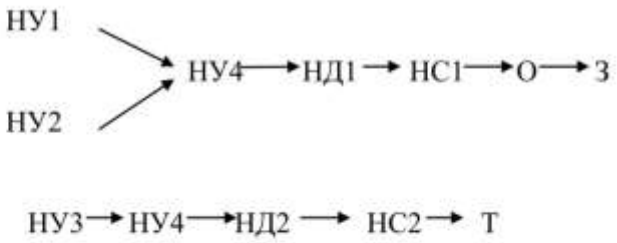
НС2 – самовільний рух трактора,

О (отруєння) – отруєння пилом засобів захисту,

З (захворювання) – захворювання органів дихання або отримання відкритих ран,

Т – травма працівника.

Модель процесу



Тому при проведенні агротехнологічних заходів необхідно дотримуватись правил безпеки роботи і безпечної експлуатації технологічних засобів. При цьому контроль за виконання технологічних операцій повинен здійснювати кожен працівник.

6.2 Охорона навколишнього природнього середовища при вирощуванні сорго цукрового

Кліматичні зміни опосередковуються коливанням температури і режиму опадів, які, за прогнозами, вплинуть на стабільність виробництва харчових продуктів і призведуть до загроз продовольчій та харчовій безпеці.

Підвищення температури та зміна режиму випадання опадів змінюють потреби сільськогосподарських культур у воді, знижуючи потенціал урожаю та продуктивність, водночас збільшуючи вартість наявності води в усьому сільськогосподарському ландшафті. За цих умов перехід на замінні культури з незначною потребою у воді, стійкістю до абіотичного стресу, більшою врожайністю або біологічною речовиною на одиницю води є критичним для довготривалого землеробства.

Маючи подвійне призначення, як-от основний продукт харчування для людей і основна кормова культура для годівлі тварин, сорго може пристосовуватися до різноманітних агрономічних та екологічних обставин, головним чином до невеликої кількості опадів, недостатньої доступності зрошувальної води та засолення.

Було виявлено, що сорго менш вразливе до кліматичних змін, що дозволяє йому підтримувати високу продуктивність, водночас слугуючи джерелом їжі для людей, тварин і свіжих речовин для промислового виробництва, а також забезпечуючи продовольчу безпеку в тропіках.

Сорго може адаптуватися до різних умов середовища, особливо в умовах дефіциту води. Завдяки цій властивості культура є великою культурою, що має велике застосування в регіонах з нерівномірним розподілом опадів і високою температурою повітря. Це кращий урожай для безводних районів через його стійкість до посухи, і в даний час зерно сорго в основному виконує призначення людини в їжу, корм, корм і паливо; тоді як насіння використовуються для попкорну, а також для приготування смачних

страв.

вирощування сорго можна поширити на зони, схильні до посухи (особливо з дефіцитом вологи), оскільки ця культура має чудовий потенціал для росту в несприятливих умовах з мінімальними затратами праці та догляду.

Поглиблені дослідження є обов’язковими для точних висновків про перспективи сорго в моделюванні стійких культур для продовольчої безпеки.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що:

1. Висота рослин, діаметр стебла та площа листкової поверхні достовірно змінюються залежно від гібриду, строку сівби і густоти рослин. При цьому кількість листків майже не змінювалась від досліджених агротехнологічних чинників. Усі гібриди сорго цукрового у фазу викидання волоті формують високу площу листкової поверхні, яка змінюється по різному впродовж фаз росту та розвитку. Найвищу площу листків сорго цукрового отримано за густоти рослин 150–200 тис. шт/га під час сівби у І декаді травня.

2. Встановлено, що для отримання зеленої маси сорго цукрового, як сировини для виробництва біоетанолу і біогазу, за умов вирощування в Лісостепу України, оптимальною густотою насаджень для гібридів Фаворит, Зубр, Мамонт, Медовий є 150–200 тис. рослин на 1 га за міжряддя 45 см. Оптимальний строк сівби сорго цукрового – перша декада травня. За умови високих температур та малої кількості опадів кращий врожай був за збирання сорго цукрового в фазу воскової стиглості.

3. Для виробництва найвищої кількості біоенергетичних продуктів необхідно вирощувати гібрид Мамонт. За оптимальних агротехнологічних заходів вихід біогазу становить 18,88–20,24 тис. $м^3$/га, вихід біоетанолу – 4,15–4,49 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nemahunguni N.K., Gupta S., Kulkarni M.G. et al. The effect of biostimulants and light wavelengths on the physiology of Cleome gynandra seeds. *Plant Growth Regulation*. 2020. Vol. 90. P. 467–474.

2. Ortiz D., Hu J., Fernandez S.M.G. Genetic architecture of photosynthesis in Sorghum bicolor under non-stress and cold stress conditions. *Journal of Experimental Botany*. 2017. Vol. 68(16). P. 4545–4557.

3. Леонова К. П., Моргун А. В., Коваленко А. М., Любич В. В. Технологічні параметри біоенергетики гібридів сорго цукрового за різної густоти стояння рослин у Правобережному Лісостепу. *Аграрні інновації*. 2022. №14. С. 72–77.

4. Rolz C., de León R., Mendizábal de Montenegro A. L. et al. A multiple harvest cultivation strategy for ethanol production from sweet sorghum throughout the year in tropical ecosystems. *Renew. Energy*. 2017. Vol. 106. P. 103–110.

5. Войтовська В. І., Любич В. В., Третьякова С. О., Приходько В. О. Технологічна якість крохмалю різних гібридів кукурудзи і сортів сорго зернового за його біохімічною складовою. *Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 76–80.

6. Pannacci E., Bartolini S. Evaluation of sorghum hybrids for biomass production in central Italy. *Biomass Bioenergy*. 2016. Vol. 88. P. 135–141.

7. Войтовська В. І., Сторожик Л. І., Любич В. В., Яланський О. В. Технологічне оцінювання зерна різних сортів соризу (*Sorghum orysoidum*). *Plant Varieties Studying and protection*. 2022. Т. 18, № 1. С. 50–56.

8. Liu Q., Ma H., Lin X. et al. Effects of different types of fertilizers application on rice grain quality. *Chil. J. Agric. Res*. 2019. Vol. 79, Iss. 2. P. 202–209.

9. Моргун А. В., Пясецький П. І., Любич В. В. Продуктивність різних сортів і гібридів сорго цукрового за різних строків збирання. *Зб. наук. пр.*

Уманського НУС. 2022. Вип. 101. С. 163–173.

10. Perrin R., Fulginiti L., Bairagi S., Dweikat I. Sweet sorghum as feedstock in great plains. Corn ethanol plants: the role of biofuel policy. *J. Agric. Resour. Econ*. 2018. Vol. 43, № 1. P. 34–45.

11. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., Chattha M.B., Mahmood A., Khan I., Nawaz M. Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry con-ditions in Pakistan. *Industrial Cropsand Products*. 2019. Vol. 132. P. 84–91.

12. Tang C. C., Sun C. D., Du F., Chen F., Ameen A., Fu T. C., Xie G. H. Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid Marginal Land. *Sugar Tech.* 2018. Vol. 20(3). P. 312–322.

13. Лапа О. М., Свиридов А. М., Щербаков В. Я. та ін. Вирощування зернового сорго в умовах України. Практичні рекомендації. Одеса. 2008. 33 с.

14. Adams C. B., Erickson J. E., Campbell D. N., Singh M. P., Rebolledo J. P. Effects of row spacing and population density on yield of sweet sorghum: Applications for harvesting as billets. *Agronomy Journal*. 2015. Vol. 107, No. 5. P. 1831–1836.

15. Любич В. В., Войтовська В. І., Крижанівський В. Г., Третьякова С. О. Формування біохімічної складової борошна із зерна різних гібридів соризу. *Вісник Уманського НУС*. 2021. №1. С. 66–70.

16. Левандовський Л. В., Олійнічук С. Т., Ткаченко Л. В., Ткаченко А. Ф. Використання соку цукрового сорго для біосинтезу спирту. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 7. С. 63–65.

17. Любич В. В., Сторожик Л. І., Войтовська В. І., Терещенко І. С., Лосєва А. І. Агробіологічні параметри різних сортів і гібридів сорго цукрового. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 3. С. 193–198.

18. Wang E. Event freguency and severity of sorghum ergot in Australia. Austral. *J. Agr. Res*. 2000. Vol.51. № 4. P. 457–466.