KAPITEL 6 / *CHAPTER 6* [7]
SUGAR SORGHUM: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC GROWING INDICATORS

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-15-01-018

Вступ

Сорго цукрове оцінюється як одна з перспективних нехарчових сировин для виробництва біоетанолу. Біоетанол із цукрового сорго відноситься до 1,5 покоління біопаливо, тобто отримане з частини продовольчої культури, яка не використовується для споживання [1, 2]. Паливо, вироблене із соку солодкого сорго, відносно чисте з низькою собівартістю. Вихід етанолу на основі загального цукру 480 г/кг був отриманий після 24 годин бродіння з використанням змішаної культури організмів. Це показує потенціал виробництва до 0,252 $м^3$/т або 33 $м^3$/га етанолу, використовуючи лише лігноцелюлозну частину стебел солодкого сорго. Ця врожайність є достатньо високим, щоб зробити процес економічно привабливим [3]. Середня продуктивність етанолу становила від 50 до 220 г етанолу/кг вихідного врожаю стебла солодкого сорго, що еквівалентно від 2465 до 7459 л етанолу га (за врожайності культури від 34,2 т/га до 148 т/га) [4]. Це може бути додаткова сировина для цукрових заводів, що працюють разом із спиртовими заводами в міжсезонні (2 місяці), розвиток середнього доходу в 3 мільйони доларів США за швидкості переробки соргової маси 6500 т на день можна досягти в умовах посушливих територій. Деякі автори своїми дослідженнями підкреслюють наведений потенціал цукрового сорго для виробництва етанолу, і це життєздатна направлення для виробництва електроенергії [5, 6]. Енергетичне сорго розвивається виключно як енергетична культура та продовольча культура. В зв'язку з тим, що його висота (3–6 м) і довга фаза вегетативного росту, культура має перевагу у використанні сонячної інсоляції та більшої ефективності використання її. Біомаса накопичується в сорго цукровому вдвічі інтенсивніше, ніж у зерновому сорго. Біомаса сорго має потенціал для високого виробництва тоннажу С5 і С6 цукрів і лігніну. Вихід біомаси коливається між 15 і навіть 140 т/га [7]. Урожайність енергетичних гібридів сорго коливалася від 27,2 до 100 т/га із широким розмаїттям сорто-гібридного складу [7].

[7] ***Authors:*** *Kovalenko Oleh Anatoliiovych*

Основною суперечкою щодо біоетанолу другого покоління є вартість встановлення ферментативного перетворення біомаси на біоетанол [8]. Головною перешкодою у виробництві біопалива другого покоління є складність перетворення біомаси на біопаливо, попередня обробка для видалення лігніну та інших ферментів, що використовуються для оцукрювання. У процесі перетворення біомаси в біопаливо, наявність лігніну не є перешкодою для виробництва біоводню за анаеробного бродіння. Однак у процесі ферментативного перетворення на біоетанол вплив лігніну дуже значний [9]. Отже, до зменшити вартість попередньої обробки можуть використовуватися лінії з низьким вмістом лігніну. Біомаса з низьким вмістом лігніну широко досліджується. Очікується, що ці нові запроваджені лінії стануть каталізатором розвитку промисловості виробництва біопалива та зроблять перетворення економічно вигідним. Вихід і якість біомаси головне занепокоєння щодо життєздатності комерційних виробництв біопалива.

Сік солодкого сорго є багатим джерелом сахарози (85% сахарози, 9% глюкози, 6% фруктоза), які можуть бути ефективно використані для виробництва кристалічного білого цукру [10]. Однак присутність кількох неорганічних компонентів і домішок необхідно усунути перед початком виробництва кристалічного цукру. Сік освітлюють вапнуванням з наступною сатурацією карбонізацією де уловлюють домішки шляхом осадження вапняного молока. Рідкий очищений сік, отриманий після процесу фільтрації, згущується в мультиефектному випарнику. Рідкий сік розбавляють водою під час віджиму та очищення, а потім переводять на випарну станцію із середньою цукристістю 15%. Сік, що виходить із випарника, містить 70% цукру [11]. Виробництво білого кристалічного цукру, здається, обмежене лабораторним масштабом, але для комерціалізації його можна кристалізувати.

Жом сорго, що залишився після віджиму соку, може бути чудовим джерелом для виробництва різних цінних біопродуктів, таких як ліпіди, вироблені мікробна ферментація. Деякі з мікробів-кандидатів називаються маслянистими через накопичення високого вмісту ліпідів у клітинах (>20% мас.) [12]. Серед різних видів *Cryptococcus curvatus* є одним найбільш ефективних кандидатів для мікробної ферментації, які можуть накопичуватися зберігання ліпідів до 60% сухої маси клітин [13]. Цей мікроб може рости на широкому спектрі моно- та дисахаридів [14]. Оскільки солома сорго є гарним джерелом целюлози та геміцелюлозних цукрів, її можна використовувати для виробництва

олії.

Біорозкладаний пластик можна виготовити з використанням лігніну, отриманого з біомаси сорго [15]. Лігнін є побічним продуктом виробництва біоетанолу. Крім того, целюлозне волокно сорго можна використовувати для зміцнення термопластичних матеріалів, таких як біорозкладні деревні композити [15]. Клітковина сорго, залишок який утворюється після попередньої переробки, можна використовувати для зміцнення біорозкладних композитів. Термін деревний композит відноситься до будь-якого композиту, який містить рослинні волокна (деревні та недеревні) та реактопласти або термопласти [15]. Деревні композити є потенційно екологічними матеріалами, оскільки вони нетоксичні при їх виготовленні не використовуються хімічні речовини. Крім того, розмірна стабільність цих матеріалів є кращою, ніж у традиційних дерев'яних виробів. Волокна сорго можна змішувати з полімолочною кислотою, і отриманий композит можна використовувати як повністю біорозкладану матрицю [16].

Сорго є основним харчовим зерном у деяких частинах Індії та Африки, де воно переважно використовується для приготування хліба, каш і непрозорого алкогольного пива (осад) [17 - 20]. Хоча сорго століттями використовувалося для варіння традиційного (непрозорого) пива в Африці [21], тільки нещодавно виробництво пива з сорго стало основною галуззю. Тінг — це спонтанно ферментований продукт із сорго, популярний серед його кислий смак і неповторний аромат. Розуміння мікробного різноманіття та популяції динаміка під час бродіння сорго є важливою складовою розробки заквасок для промислового виробництва тінгу.

Зерна сорго не містять глютену та мають високий потенціал для використання як альтернатива пшеничному борошну для ринку [22]. Насправді зернове сорго – це другорядний злак, які є основною їжею для великої частини населення Індії та Африки. Використання сорго в їжу поки що переважно обмежене частково для традиційних споживачів і населення нижчих економічних верств через відсутність цих зерен у готових до споживання формах. Сорго за поживністю, перевершує основні зернові культури за білком, енергією, вітамінами і мінералами [23]. Крім того, воно багате харчовими волокнами, фітохімічними речовинами і мікроелементами [24].

Виробництво етанолу з багатого цукром солодкого соку є поширеним процесом і комерціалізується в Бразилії протягом останніх чотирьох десятиліть. Безводний етанол отримують шляхом перегонки на ректифікаційній колоні.

Вихід етанолу становить від 50 до 250 л/т солодкого соку. Основними компонентами багаси сорго є целюлоза, геміцелюлоза та лігнін. Таким чином, як і будь-яка інша лігноцелюлозна біомаса, біомаса сорго також може перетворювати на паливний етанол.

Після екстрагування цукру з соку в умовах, придатних для промислових масштабів, жом цукрового сорго можна використовувати для виробництва паперової маси. Якість отриманої целюлози схожа на звичайну хвойну деревину, яка використовується для виготовлення паперу. Дослідження вчених свідчить про те, що м'якоть сорго демонструє ступінь когезії вищу, ніж 80%; низьке число каппа, що вказує на хорошу делігніфікацію; високий ступінь полімеризація і виняткові фізико-механічні властивості. Це дозволяє розглядати цукрове сорго в якості основної сировини для паперової промисловості у кожному регіоні, де його можна буде вирощувати. Цю целюлозу можна використовувати в секторах, які зазвичай обмежуються високоякісною хімічною целюлозою отриманою з хвойної деревини [25].

Кінцеві користувачі все більше вимагають сталого розвитку та обліку викидів отриманої біомаси, що використовується для виробництва біопалива [26]. На цьому фоні викиди парникових газів (ПГ) і вплив змін у землекористуванні зростає вплив як інструментів забезпечення стійкості біоенергетичних продуктів так і процесів. Скорочення викидів парникових газів, таких як CO_2, CH_4, N_2O в змінах землекористування в умовах використання пасовищ або лісів для виробництва сировини для біопалива є критичним фактором при оцінці впливу на агроекологію. Біомаса сорго як сировина другого покоління має більший потенціал для позитивних екологічних результатів порівняно з цукровим сорго на основі цукру або крохмалю зернового сорго виробництво біопалива першого покоління. Однак поточний рівень виробництва другого покоління біопалива на сьогоднішній день є незначним.

Сорго має кілька переваг перед традиційною сировиною для біопалива, наприклад кукурудзи, внаслідок її нижчої потреби у воді та азотних добривах, її здатність витримувати посушливі та посухоподібні середовища, а також здатність до росту за граничних умов [27]. Крім того, сорго має однорічний сорт цикл росту, що є привабливим для рослинників, які не схильні до довгострокових зобов'язань щодо багаторічної сировини, як-от енергетичні трави [28]. Потреба у воді для виробництва біопалива залежить від типу використовуваної сировини і на географічних і кліматичних змінних. Ці фактори необхідно враховувати за

критичного по вологі сценарію. Енергетичне сорго може вирощуватися як за природного зволоження так і при зрошенні. Посухостійкість і витривалість культури призводить до зменшення коефіцієнту використання вологи для виробництва біоетанолу з сорго ніж із цукрової тростини чи кукурудзи. Порівняно з цукровою тростиною цукрове сорго споживає лише одну третину відносної кількості води, тому воно більше підходить для зрошення і напівпосушливих умов. Сорго споживає менше води на формування одиниці сухої речовини порівняно з цукровою тростиною, світчграсом (*Panicum virgatum* L.), пшеницею (*Triticum aestivum* L.) або кукурудзою [29]. У випадку цукрового сорго необхідна для виробництва літра біопалива вода в кількості 1000 л, що в п'ять разів менше, ніж у цукрової тростини [29]. Культура має менший коефіцієнт використання води при виробництві одиниці кількості етанолу, біодизеля, або електроенергії, ніж така енергетична культура, як ріпак (*Brassica napus* L.).

Продовольча та енергетична безпека, продемонстрована цукровим сорго добре вписується в цикл виробництва біопалива з невеликими модифікаціями машин для подрібнення та переробки. Інші продукти з культури з доданою вартістю також можуть бути виготовлені з мінімальними витратами. Урожай можна налаштувати на будь-яку систему землеробства через наявність генотипів з різними періодами стиглості. Механізація сорго при вирощуванні та післяжнивній обробці біомаси та зерна може бути адаптована до широкого спектру технологій.

У порівнянні з нинішніми посівами культур на цукор, крохмаль для виробництва біоетанолу, сорго пропонує важливі переваги щодо продовольчої безпеки, оскільки воно може служити культурою багатоцільового призначення, яка використовується одночасно на продовольчі цілі, корм та паливо. Його насіння є цінним злаком, а листя є високоцінним кормом, таким чином вносячи значний внесок у збільшення продовольчого забезпечення та покращення продовольчої безпеки, особливо в сільській місцевості. Території країн, що розвиваються, схильні до недоотримання продовольчих товарів. На додаток до зерна, яке використовується для споживання людиною чи тваринами, цукрове сорго накопичує цукор із невеликою конкуренцією між виробництвом зерна та цукру. Багаса може використовуватися на корм для тварин, і має кращу поживну цінність, ніж жом цукрової тростини та цукрового буряку. Виробництво біоетанолу на основі традиційних харчових культур може призвести до

збільшення ціни на сільськогосподарську продукцію, що негативно впливає на доступ до продовольства, особливо в нетто-імпорті країни. Значне зростання цін вже відбулося на основних ринках сировини для біоетанолу, таких як кукурудза та цукор. Таким чином, конфлікт продовольства проти палива можна вирішити шляхом розробки та впровадження належної політики, яка запроваджує критерії стійкості, стандарти та найкращі практики управління. Загалом конкуренція з продуктами харчування є потенційно значною та викликає занепокоєння при інвестуванні в біопаливо. Проблема не повністю вирішена з біопаливом другого покоління, навіть якщо вони використовують нехарчову сировину через непрямі зміни у землекористуванні та через потенційно величезний ринковий попит на відновлювану енергію порівняно з сільським господарством. Регуляторні підходи, які включають процедурні правила, законодавчо встановлені практики, звітність, моніторинг, дотримання та правозастосування можуть сприяти пом'якшення цього потенційного конфлікту між паливом і продовольством.

Тому, досліджувати та відпрацьовувати елементи цієї цікавої з економіччної та технологічної сторін використання дуже нагайне та доцільне, для умов які можуть забезпечити задоволення саме цих потреб в більшій степені ніж інші культури.

Як засвідчує огляд літератури стосовно технологій вирощування сорго цукрового в Україні, у всіх дослідженнях вітчизняних вчених використовується традиційна технологія, адаптована для різних кліматичних зон України. Так, Л. М. Олекшій та І. М. Буряк [30] на дослідних полях Тернопільської дослідної станції державної сільськогосподарської ІКСГП НААН в Гусятинському районі Тернопільської області упродовж 2016-2018 рр. вивчали вплив біопрепаратів під вирощування сорго цукрового за традиційної технології вирощування. Застосовували сорт сорго цукрового Мамонт. При настанні фізичної стиглості ґрунту проводили закриття вологи на глибину 3-4 см. Перед сівбою проводили передпосівну культивацію. Насіння сіяли сівалкою СЗТ-3,6 на глибину 5 см із шириною міжрядь 30 см і густотою рослин 300 тис. шт./га. Попередником була пшениця озима. За результатами досліджень вченими доведено, що завдяки застосуванню препарату «Регоплант» – 50 мл/га в баковій суміші з мікродобривом «Максимус» – 4,5 кг/га (у фазах кущення та виходу в трубку) при урожайності зеленої маси 86,0 т/га отримано найбільші показники прибавки до контрольного варіанта за вмістом цукрів у соці стебел – 1,0%, за виходом біоетанолу з 1 га площі – 0,641 т.

Позитивний вплив застосування позакореневих підживлень біопрепаратами під час вегетації сорго цукрового встановлено також й Черновою А.В. [31-33]. За результати її досліджень збільшення норми висіву призвело до підвищення густоти стояння рослин, але при цьому зменшилась їх виживаність для сортів і гібридів на 3%. Застосування сумісно біопрепаратів та комплексу мікродобрив підвищило виживаність рослин цієї культури на 8,8 %.

Дослідженнями Мулярчук О.І. та Безвіконного П.В. [34] було встановлено особливостей формування біометричних показників і урожайності сорго цукрового залежно від залежно від способу контролювання бур'янів в умовах Поділля. У досліді використовували загальноприйняту технологію вирощування для зони Поділля. Сорго висівали буряковою сівалкою з шириною міжрядь 45 см ССТ-12 В нормою висіву 140-150 тис. насінин на 1 га. Аваторами встановлено, що кращими варіантами технології для виробництва біопалива є вирощування сортів сорго цукрового Фаворит і Троїстий із густотою стояння рослин 140-150 тис. на 1 га і внесення гербіцидів Примекстра Голд 720 SC 3,5 л/га під культивацію або по сходах у фазі 3-5 листків.

У дослідженнях Мулярчук О. І. та Овчарук В. І. [35] проведеними впродовж 2012-2016 рр. у Подільському державному аграрно-технічному університеті застосовувалась загальноприйнята для Лісостепу України технологія вирощування сорго цукрового, за винятком досліджуваних елементів (Без добрив – контроль та $N_{90}P_{90}K_{90}$). Сіяли сорго буряковою сівалкою з шириною міжрядь 45 см. За результатами досліджень внесення добрив нормою $N_{90}P_{90}K_{90}$ площа листкової поверхні рослини у Силосного 42, Фаворит і Троїстий збільшувалася в межах 293 см². Чиста продуктивність фотосинтезу за всіма досліджуваними елементами технології вирощування сорго цукрового зростала. Найбільший вплив на рівень врожайності зеленої маси сорго цукрового мали добрива, так, за норми внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ середня прибавка врожайності порівняно з контролем становила 5,9 т/га.

Такого ж висновку дійшли й вітчизняні вчені Сторожик Л. І. та Музика О.В. [36] з Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, які застосовували у дослідженнях прийняту для зони Лісостепу агротехніку вирощування сорго цукрового, окрім чинників, які вивчали. Висівали культуру у І декаді травня (температура ґрунту – +13…+15°С) сівалкою трактора ССТ-12Б із міжряддями 45 та 70 см. Норма висіву насіння була рекомендована для даної кліматичної зони 6-8 кг/га. Вченими встановлено, що найвищими рослини сорго

були за ширини міжрядь 45 та 70 см і густоти стояння 150 тис. шт./га: у гібридів Довіста та Цукрове 1 – 298-316 і 280-297 см, у сортів Нектарний і Фаворит – 281-310 і 292-302 см відповідно. Зі збільшенням густоти стояння до 250 тис. шт./га висота рослин зменшувалась у гібридів у середньому на 7-23 см, у сортів – на 6-22 см.

Умови проведення досліджень

Польові досліди проводили впродовж 2011–2019 років в умовах навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету, що розташований у Миколаївському районі Миколаївської області [35]. Грунти дослідного господарства представлені чорноземом південним малогумусним слабосолонцюватим важкосуглин-ковим на лесі. Ґрунтовий профіль дослідного поля представлений наступним розташуванням горизонтів (табл. 1).

Таблиця 1. - Генетичні горизонти чорнозему південного дослідної ділянки

Hn (0-30 см) – гумусно-акумулятивний орний горизонт, темно-сірий з буризною, важкосуглинковий, орний шар – горіхувато-грудкуватий з бриластістю, підорний – грудкувато-зернистий, перехід рівний
Hp(i) (30-60 см) – верхній гумусно-перехідний горизонт, темно-сірий з буризною, важкосуглинковий, ущільнений, пористий, зернисто-грудкуватий, перехід поступовий
Phi(k) (60-85 см) –перехідний, горизонт гумусових затьоків, брудно-бурий, зернисто-грудкуватий
Ph (85-95 см) – нижній перехідний горизонт, темно-бурий, горіхуватий, перехід поступовий
Phk (95-140 см) – лес зі слабкими затіками по структурним агрегатам, гумусований, сіро-бурий, карбонати у вигляді рясної рихлої білозіркою, горіхуватий, перехід поступовий
Pk (140↓) – материнська ґрунтотворна порода – карбонатний лес, бурувато-палевий, карбонати у вигляді зерен білозірки

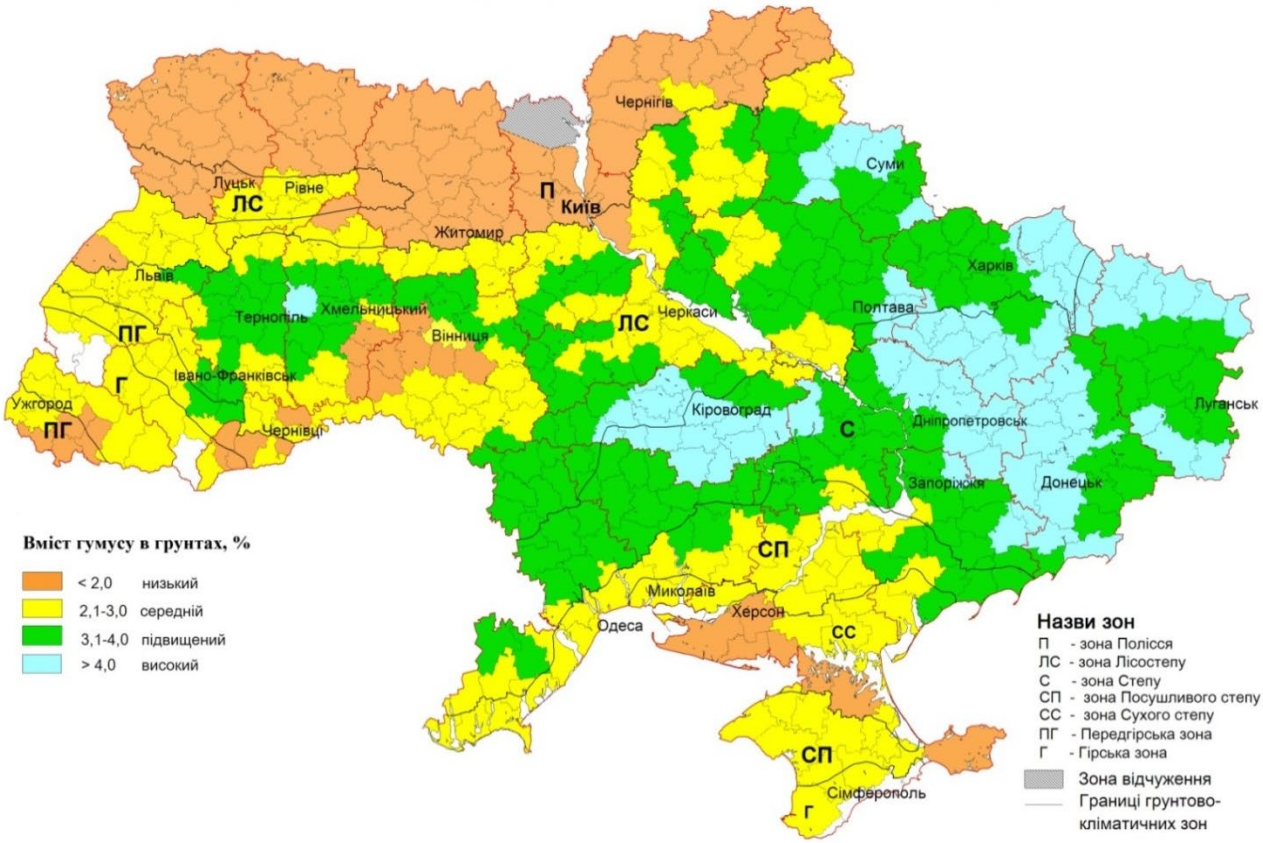

Рисунок 1 - Картограма вмісту гумусу в грунтах сільскогосподарських угідь України

Найменша вологоємність 0–70 см шару ґрунту складає 22,0 %, вологість в'янення – 9,7 % від маси сухого ґрунту, щільність складення становить 1,40 г/см. Вміст в орному шарі ґрунту гумусу - 2,9–3,2 %, рухомого фосфору – 38 та обмінного калію 332–525 мг/кг ґрунту (рисунок 1). Валового азоту у ґрунті міститься 0,20–0,25 %, фосфору – 0,12–0,14%. Ґрунтовий поглинаючий комплекс насичений переважно кальцієм і магнієм.

Реакція ґрунтового розчину верхніх горизонтів близька до нейтральної або слабко лужна (pH=6,8–7,2), вниз по профілі зростає. За характеристикою ґрунт дослідного поля є типовим для чорнозему південного степової зони України, та приданий для вирощування більшості основних польових культур.

Гумусовий горизонт 47–52 см темно-сірий з каштановим відтінком, характеризується солонцюватістю та вузьким співвідношенням Ca2+* і Mg2+ (2,5–2,8). Характеризується високою зв'язністю, схильний до запливання, грудкувато-зернистий, рихлий (таблиця 2).

Таблиця 2 - Валовий вміст хімічних елементів у чорноземі південному дослідної ділянки, %

Генетичний горизонт	Вміст окислів							
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	MnO	SiO_2: R_2O_3
Hn	74,2	4,6	13,2	1,7	1,7	0,9	0,2	7,5
Hp(i)	73,2	4,5	14,0	0,9	2,2	1.0	0,1	7,5
Phi(k)	69,1	4,4	13,1	7,2	1,9	0,5	0,1	7,3
Ph	67,8	3,2	13,0	9,8	2,1	0,7	0,1	7,2
Phk	68,2	5,0	12,7	9,2	2,2	0,6	0,1	7,1

Грунт вміщує значну кількість органічних решток, коренів к ультурних рослин та бур'янів. Орний горизонт знаходиться в межах 0–30 см. Перехідний горизонт грунту має крупнозернисту, або грудкувато-призматичну структуру. Під ним залягає карбонатний ілювій у вигляді білозірки. При висиханні ґрунт відзначається високою щільністю, низькою водопроникністю й схильний до набухання [37-40].

Наявність певних запасів вологи у ґрунті та температури верхніх його шарів дозволять прийняти правильні рішення щодо вирощування тих чи інших культур та елементів їх агротехніки .

Для зони Південного Степу України необхідно скорегувати їх відносно

глибини сівби, строків та норм висіву насіння, визначитися із строками внесення добрив та елементів живлення, запланувати інші агротехнічні заходи, особливо по причині основного лімітуючого фактора – вологи (рисунок 2).

а)

б)

Рисунок 2 – Стан грунту в період критичної фази розвитку рослин сорго (цвітіння)

а) дослідне поле СГІ (м. Одеса); б) дослідне поле ННПЦ МНАУ (м. Миколаїв)

Зберегти вологу та вплинути на більш економне її використання можна збагачуючи ґрунт органікою, яка здатна утримувати воду у 2,5-3 рази більше, ніж

мінеральна частина грунту; висівати сидерати, які підвищюють біологічну активність грунту (особливо цікавить питання в зоні посішливо клімату та дефіциту органічної маси на полі), розпушують підорний шар, знижують кислотність, відбивають сонячну інсоляцію, запобігая його перегріванню; застосування стимуляторів росту рослин, бактеріальних препаратів та мікродобрив, які задіяні у ферментативних процесах рослин на клітинному рівні надають стійкості та еластичності клітинній мембрані, протидіють стресовим факторам та інші [41-46].

Існує дуже велика кількість проблем щодо викидів парникових газів та зміни клімату який з цим пов'язаний. Вирішенням цих питань повинні займатися усе населення планети, тому що це не тільки підвищення температури навколишнього середовища, а це усі ті наслідки які будуть іти за цим підвищенням, а це і посухи, урагани, повені та інші біди для людства.

Нашими дослідженнями відносно обґрунтування та розробки біологізованих технологій вирощування сільськогосподарських культур для зони Півдня України ми напрацювали деякі рішення та рекомендації відносно проблематики зменшити викидів парникових газів і боротьби зі зміною клімату [37].

Нами було закладено та проведено два досліди з культурою сорго цукрового, а саме:

Дослід 1. «Продуктивність сорго цукрового за різних технологій вирощування та варіантів використання сидератів» проведено впродовж 2013–2015 рр.. Була передбачена наступна градація факторів та їх варіантів:

Фактор А – технологія вирощування культури: Традиційна (використання оранки на 25–27 см); 2. Консервуюча (використання чизельного обробку ґрунту на 27–30 см); 3. Мульчувальна (використання дискових знарядь на 12–14 см).

Фактор В – обробка сидерату деструктором: 1. Контроль – без сидерату; 2. Сидерат + Біокомплекс-БТУ-р (2 л/га); 3. Сидерат + ЕкоСтерн (2,5 л/га); 4. Сидерат + ЕкоСтерн (2,5 л/га) + Біокомплекс-БТУ-р (2 л/га).

В якості сидеральної культури використовували гірчицю білу. Сидерат обробляли біодеструктором у дозі 2,5 л біопрепарату з додаванням 5,0 кг карбаміду з витратою робочого розчину 300 л на 1 га, після чого проводили заробку рештків важкою дисковою бороною БДТ-7 на глибину 12−14 см. Зразки ґрунту для визначення чисельності мікроорганізмів, вмісту рухомих форм азоту, фосфору і калію у ґрунті відбирали перед обробкою

біодеструктором та через три місяці після цього, коли вже відбулася їх мінералізація [37].

Дослід 2. «Продуктивність гібридів сорго цукрового за позакореневого підживлення посівів мікродобривом та бактеріальним препаратом» проведено впродовж 2013–2015 рр. (рисунок 3). Була передбачена наступна градація факторів та їх варіантів:

Рисунок 3 – Досліди з сорго цукровим в ННПЦ МНАУ (с. Маловарварівка)

Фактор А – гібрид: 1. Сило 700 Д – контроль; 2. Медовий; 3. Троїстий.

Фактор В – обробка посівів біопрепаратом та мікродобривом: 1. Органік баланс (2 л/га); 2. Органік баланс (2 л/га) +Квантум (5 л/га) [37].

6.1. Вплив варіантів використання сидерату на продуктивність сорго цукрового за різних технологій вирощування

6.1.1. Динаміка росту та розвитку рослин сорго цукрового залежно від варіантів використання сидерату та різних технологій вирощування

Досліджувані рослини відносились до середньостиглих гібридів сорго (вегетаційний період в середньому складає 125 діб). Його довжина більшою мірою змінювалась залежно від варіантів використання сидератів та меншою від технології вирощування (таблиця 3).

Таблиця 3 - Тривалість вегетаційного періоду рослин гібридів сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів до фази воскової стиглості (середнє за 2013-2015 рр.), діб

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	125	127	129	130	128
2.	Консервуюча	126	127	129	130	128
3.	Мульчувальна	124	126	127	128	126
Середнє (фактор В)		125	127	128	129	127

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Так, найкоротший вегетаційний період (124 доби) був у контрольному варіанті без сидератів за мульчувальної технології вирощування. Найбільша довжина періоду (130 діб) була у двох варіантах технології вирощування традиційної та консервуючої із застосуванням інокуляції сидерату бактеріальним препаратом Біокомплекс-БТУ-р та обробки біодеструктором стерні ЕкоСтерн. При цьому середнє значення довжини вегетаційного періоду за традиційної технології склало 128 діб, застосування консервуючої технології не вплинуло на даний показник, а мульчувальна технологія скоротила період у середньому на 2 доби [37].

На основі проведеного нами кореляційного аналізу, встановлено сильний позитивний зв'язок між показниками тривалості вегетаційного періоду рослин сорго цукрового та урожайністю зеленої маси, залежно від типу технології вирощування культури (рисунок 4).

Коефіцієнт детермінації R^2 для всіх варіантів змінюється в діапазоні від 0,983 до 0,998. Це свідчить про те, що варіація врожайності сорго цукрового на 98,3% – 99,8% визначається варіацією тривалості вегетаційного періоду культури. Причому тісну залежність прослідковуємо за всіх технологій вирощування.

Проводячи аналіз показників тривалості вегетаційного періоду рослин сорго цукрового та врожайністю зеленої маси, залежно від способу застосування сидерату визначено кореляційну залежність між досліджуваними показниками (рисунок 5). Нами визначено доволі тісний коефіцієнт детермінації R^2 для всіх варіантів, який змінюється в діапазоні від 0,838 до 0,998. Це свідчить про те, що

варіація врожайності сорго цукрового на 83,8% – 99,8% визначається варіацією тривалістю вегетаційного періоду культури. Причому тісну залежність прослідковували в усіх варіантах використання сидерату.

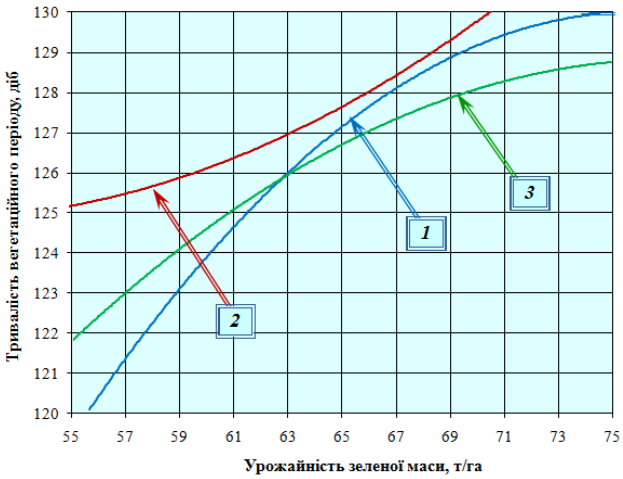

Рисунок 4 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та площею прикачанного листка (середнє за 2011-2013 рр.):

Примітка: ***1*** – Контроль: $y = -227{,}0x^2 + 1389{,}x - 1865$; $R^2 = 0{,}895$; ***2*** – Росток: $y = 274{,}1x^2 - 1633{,}x + 2823$; $R^2 = 0{,}996$; ***3*** – Реаком: $y = 1325x^2 - 9022{,}x + 15795$; $R^2 = 0{,}969$; ***4*** – Квантум: $y = 1780{,}x^2 - 12679x + 23014$; $R^2 = 0{,}967$.

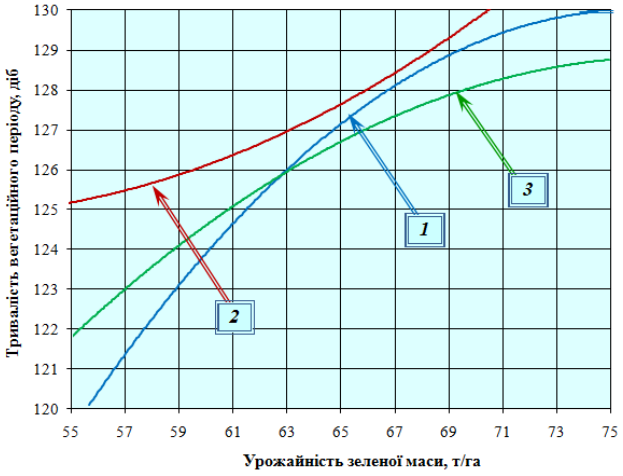

Рисунок 5 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та тривалістю вегетаційного періоду (середнє за 2013–2015 рр.)

Примітка: ***1*** – Традиційна технологія вирощування: $y = -0{,}027x^2 + 4{,}043x - 20{,}72$; $R^2 = 0{,}998$; ***2*** – Консервуюча технологія вирощування: $y = 0{,}012x^2 - 1{,}275x + 156{,}5$; $R^2 = 0{,}983$; ***3*** – Мульчувальна технологія вирощування: $y = -0{,}025x^2 + 3{,}674x - 2{,}279$; $R^2 = 0{,}993$.

Досліджувані фактори також вплинули на біометричні показники рослин гібридів сорго цукрового (таблиця 4 -5, рисунок 6).

Таблиця 4 - Висота рослин гібридів сорго цукрового у фазу виходу в трубку залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), см

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	220,5	237,7	246,2	255,4	240,0
2.	Консервуюча	218,3	233,2	244,8	252,7	237,3
3.	Мульчувальна	212,4	224,1	231,5	240,9	227,2
Середнє (фактор В)		217,1	231,7	240,8	249,7	234,8

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Найбільш високими (255,4 см) рослини формувалися на варіанті з інокуляцією сидерату бактеріальним препаратом Біокомплекс-БТУ-р та обробкою біодеструктором стерні ЕкоСтерну. Найменший в середньому по досліду показник (212,4 см) мали рослини за мульчувальної технології та без застосування сидератів.

Рисунок 6 - Розвиток рослин гібриду Медовий (СГІ) у фазі стеблування на дослідній ділянці ННПЦ МНАУ у 2013 році

В середньому по досліду проведення консервуючої та мульчувальної технологій вирощування сприяло зменшенню висоти рослин відносно контролю на 2,7 см та 12,8 см відповідно.

Таблиця 5 - Висота рослин гібридів сорго цукрового у фазу воскової стиглості залежно від досліджуваних факторів, впродовж 2013-2015 рр., см

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)								
	Сило 700 Д (St)			Медовий			Троїстий		
	Рік досліджень								
	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Контроль	195,7	203,8	198,5	217,5	224,8	219,3	208,4	211,5	209,8
ОБ	203,1	211,2	204,9	244,3	258,2	252,6	216,8	222,2	218,5
ОБ + Кв	204,3	213,6	207,7	259,3	269,1	261,0	220,7	226,3	223,8
Середнє значення по фактору А	201,0	209,5	203,7	240,4	250,7	244,3	215,3	220,0	217,4

* *Примітка:* ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум

Проведення замірів біометричних показників рослин сорго цукрового на дослідній ділянці (третя стадія вегетаційного періоду рослин) зображено на рисунку 7 (молочна стиглість) та збиральної стиглості рисунок 8 [35].

Рисунок 7 - Проведення замірів біометричних показників рослин сорго цукрового на дослідних ділянках ННПЦ МНАУ у фазу молочної стиглості

Рисунок 8 - Проведення замірів біометричних показників рослин сорго цукрового на дослідних ділянках ННПЦ МНАУ у фазу воскової стиглості

Застосування сидератів позитивно відобразилось на показниках висоти рослин сорго цукрового. Інокуляція сидерату біопрепаратом Біокомплекс-БТУ-р збільшило показник на 14,6 см, порівняно з контролем, варіант обробки сидерату біодеструктором ЕкоСтерн – на 23,7 см, а проведення двух операцій з застосуванням Біокомплекс -БТУ-р та ЕкоСтерну – на 32,6 см.

Виходячи з вище викладеного, ми вирішили визначити поліноміальні кореляційно-регресійні залежності між висотою рослин і врожайністю зерна сорго цукрового, що взяті нами на дослідження (рисунок 9).

Як видно з даних, наведених на рисунку 9 між висотою рослин та врожайністю зерна сорго цукрового існує дуже сильний кореляційно-регресійний зв'язок у варіантах з традиційною, консервувальною та мульчувальною технологіями вирощування культури. Про це свідчить ступінь статистичних зв’язків між досліджуваними показниками, яку характеризує

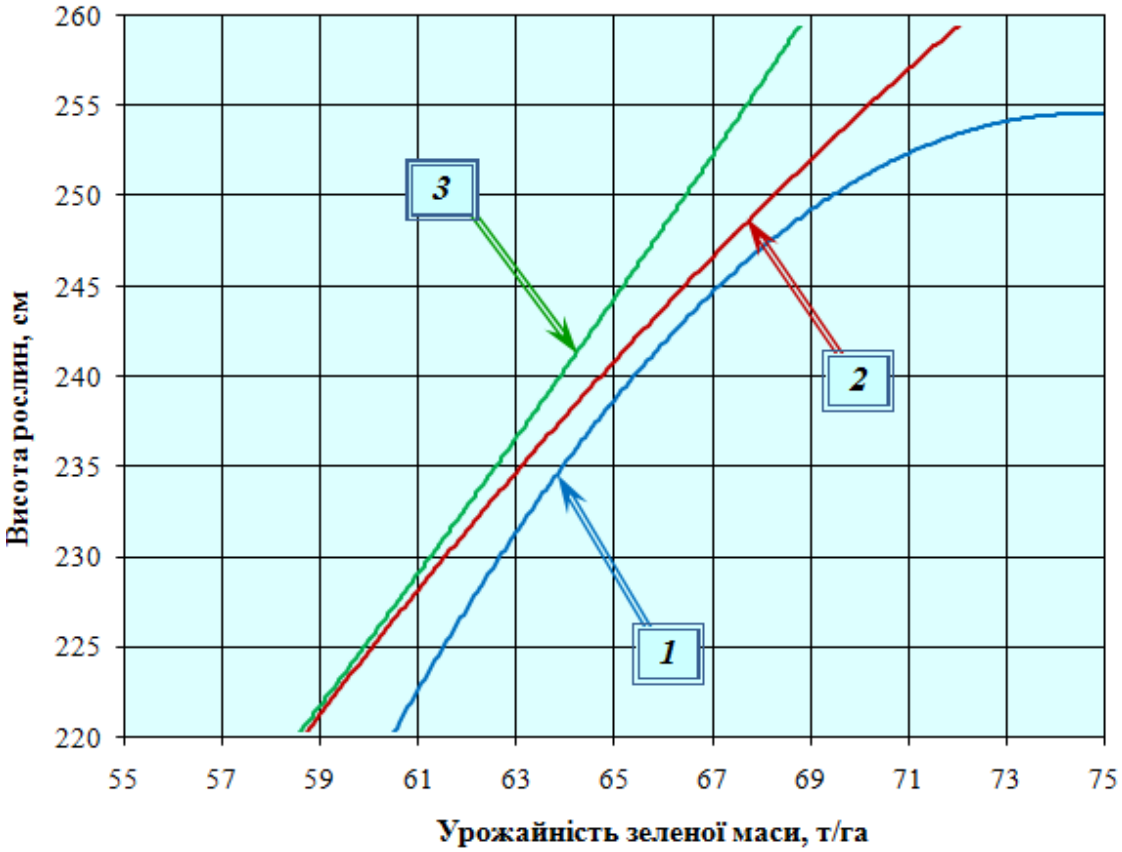

Рисунок 9 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та висотою рослин (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: ***1*** – Традиційна технологія вирощування: $y = -0{,}18x^2 + 26{,}85x - 746{,}4$; $R^2 = 0{,}988$; ***2*** – Консервуюча технологія вирощування: $y = -0{,}048x^2 + 9{,}489x - 176$; $R^2 = 0{,}999$; ***3*** – Мульчувальна технологія вирощування: $y = 0{,}025x^2 + 0{,}611x + 91{,}95$; $R^2 = 0{,}991$.

коефіцієнт детермінації (R^2). Чим ближче його значення до одиниці, тим сильнішою є залежність. Якщо коефіцієнт детермінації знаходиться в межах від 0,988 до 0,999, як у визначених нами залежностях, ступінь зв'язку за шкалою Чеддока вважається дуже сильною.

Більш високою ступінь статистичних зв'язків сорго цукрового, взятих на дослідження, визначена між показниками висоти рослин і врожайністю зерна варіантів досліду з варіантами застосування сидератів: $R^2 = 0{,}973\text{-}0{,}998$.

6.1.2. Динаміка площі листкової поверхні рослин сорго цукрового залежно від варіантів використання сидерату і технологій вирощування

Максимальним значення (56,2 тис. $м^2$/га) площі листкової поверхні з гектару посіву сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів у фазу виходу рослин у трубку було на контрольному варіанті із застосуванням інокуляції сидерату препаратом Біокомплекс-БТУ-р та внесення деструктора стерні

ЕкоСтерн (таблиця 6).

Таблиця 6 - Площа листкової поверхні посіву рослин гібридів сорго цукрового у фазу виходу в трубку залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), тис. м^2/га

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	33,4	44,3	49,5	56,2	45,9
2.	Консервуюча	32,6	45,1	48,7	55,1	45,4
3.	Мульчувальна	30,5	36,9	44,1	50,8	40,6
Середнє (фактор В)		32,2	42,1	47,4	54,0	43,9

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Мінімальне середнє за роки досліджень значення (30,5 тис. м^2/га) сформовано на контрольному варіанті традиційної технології та без застосування сидератів. В середньому по досліду застосування консервуючої та мульчувальної технологій вирощування сорго цукрового зменшувало даний показник на 0,5 та на 5,3 тис. м^2/га відповідно, порівняно з контролем.

Використання сидератів за вирощування сорго цукрового у досліді призвело до збільшення площі листкової поверхні посіву гібридів. Так, на контрольному варіанті без застосування сидератів даний показник в середньому по досліду склав 32,2 тис. м^2/га. Застосування інокуляції сидерату Біокомплексом-БТУ-р підвищило його на 9,9 тис. м^2/га, а використання ЕкоСтерну – на 15,2 тис. м^2/га, за проведення інокуляції сидерату бактеріальним препаратом Біокомплексу-БТУ-р та внесенні ЕкоСтерну збільшувало площу листкової поверхні на 21,8 тис. м^2/га.

Інокуляція біопрепаратом насіння сидеральної культури (гірчиці білої) підвищувало площу листя рослин на 6,4-12,5 тис. м^2/га. Причому максимальним за цього варіанту вона була за консервувальної системи вирощування культури.

Визначення площі листкові поверхні рослин проводили як у поьових так і в лабораторних умовах. Одночасно визначали і вміст цукрі у стеблах рослин сорго цукрового (рисунок 10).

Розраховані нами поліноміальні кореляційно-регресійні залежності між площею листків у фазу виходу рослин у трубку і врожайністю зеленої маси, вирощеного у досліді сорго цукрового, показали, що між зазначеними

Рисунок 10 - Проведення аналізів у лабораторії рослинництва

показниками існує дуже тісний зв'язок, що за традиційної технології, консервувальної та мульчувальної технологій (рисунок 11). Коефіцієнт детермінації (R^2) становить 0,979-0,999, що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв’язок як дуже тісний.

У фази виходу рослин у трубку та урожайністю зеленої маси визначено сильну ступінь статистичних зв’язків за різного використання сидеральної культури (рисунок 12).

Коефіцієнт детермінації коливається в межах 0,956 (фаза виходу рослин у трубку за Контрольного варіанту) до 0,991 (за умови інокуляції сидерату), до 0,998 (за використання деструктора стерні по сидерату) та 0,977 (за інокуляції сидерату та застосування деструктора стерні.

Слід зазначити, що дещо вищим коефіцієнт детермінації по сорго цукровому за фази виходу в трубку були по дослідженню технологій вирощування культури.

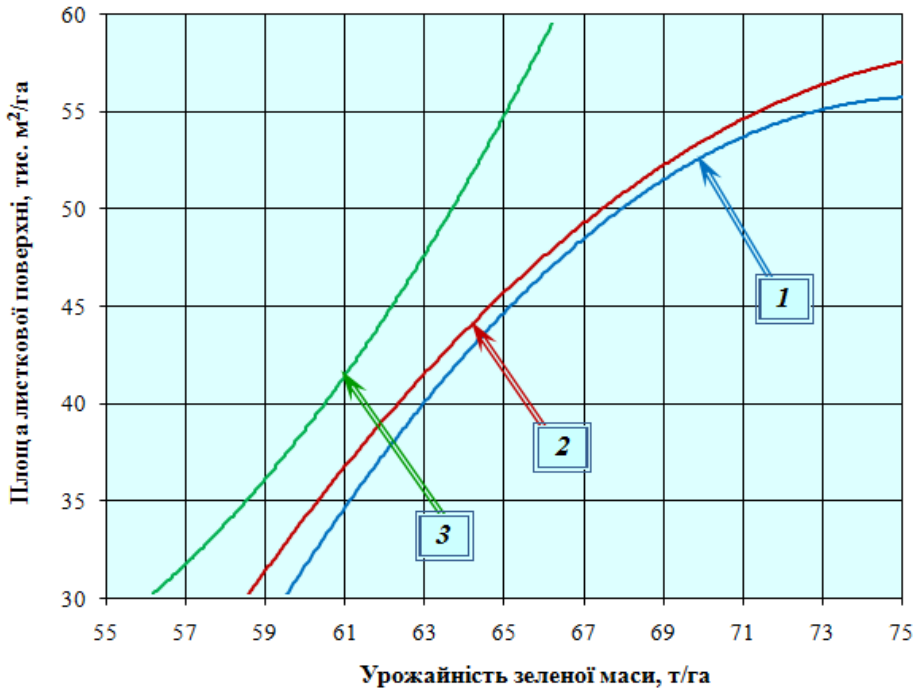

Рисунок 11 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу виходу рослин у трубку (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: **1** – Традиційна технологія вирощування: $y = -0{,}103x^2 + 15{,}64x - 534{,}6$; $R^2 = 0{,}986$; **2** – Консервуюча технологія вирощування: $y = -0{,}077x^2 + 12{,}08x - 412{,}0$; $R^2 = 0{,}979$; **3** – Мульчувальна технологія вирощування: $y = 0{,}119x^2 - 11{,}86x + 317{,}0$; $R^2 = 0{,}999$.

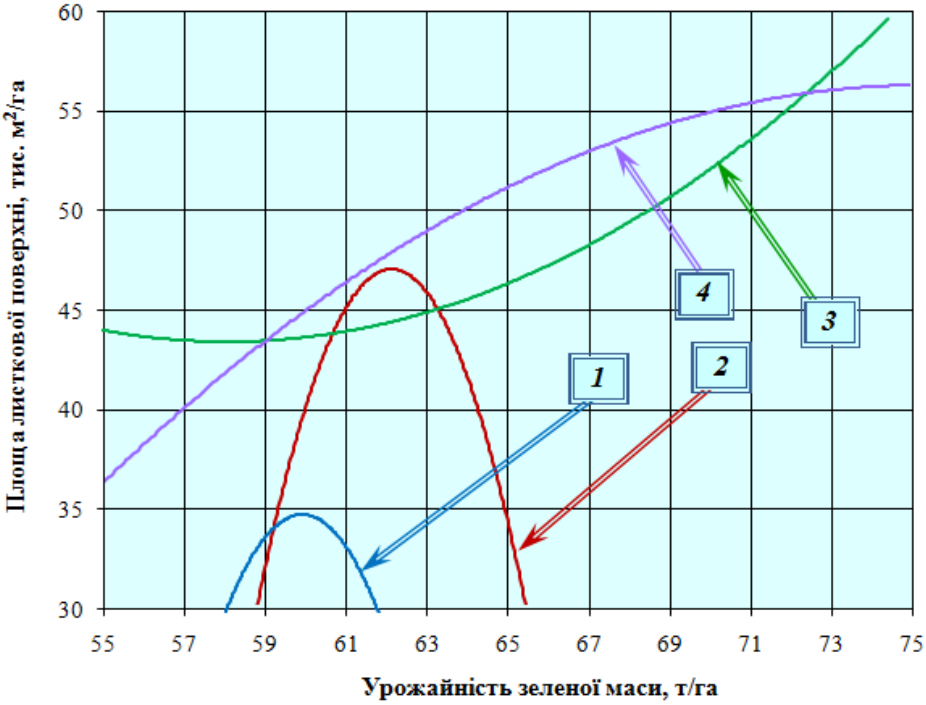

Рисунок 12 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу виходу рослин у трубку (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: **1** – Без сидерату (контроль): $y = -0{,}65x^2 + 1{,}15x + 32{,}9$; $R^2 = 0{,}956$; **2** – Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р: $y = -1{,}593x^2 + 200{,}3x - 6247$; $R^2 = 0{,}991$; **3** – Сидерат + ЕкоСтерн: $y = 0{,}066x^2 - 7{,}752x + 267{,}0$; $R^2 = 0{,}998$; **4** – Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р: $y = -0{,}048x^2 + 7{,}375x - 221{,}6$; $R^2 = 0{,}977$.

6.1.3. Урожайність зеленої маси рослин сорго цукрового залежно від варіантів використання сидерату і технологій вирощування

Нами встановлено, що урожайність зеленої маси сорго цукрового у фазі молочно-воскової стиглості також істотно змінювалась залежно від досліджуваних факторів (таблиця 7).

Максимальною продуктивність (74,3 т/га) гібридів сорго цукрового формувалась за традиційної технології вирощування і застосування сидерату з інокуляцією Біокомплексу-БТУ-р та внесенням деструктора стерні ЕкоСтерну.

Таблиця 7 - Урожайність зеленої маси сорго цукрового у фазі молочно-воскової стиглості залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), т/га

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	60,9	64,2	68,2	74,3	66,9
2.	Консервуюча	59,7	64,0	67,6	70,5	65,5
3.	Мульчувальна	57,5	60,3	62,9	64,8	61,4
Середнє (фактор В)		59,4	62,8	66,2	69,9	64,6
НІР $_{05}$ 2013 р. Фактор А 7,03; Фактор В 3,61						
НІР $_{05}$ 2014 р. Фактор А 6,18; Фактор В 4,28						
НІР $_{05}$ 2015 р. Фактор А 6,05; Фактор В 4,22						

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Мінімальною врожайність (57,5 т/га) була за застосування мульчувальної технології вирощування сорго та без використання сидератів. У середньому по досліду кількість зеленої маси у варіанті без сидератів склала 59,4 т/га, що на 3,4 т/га менше, ніж при застосуванні сидерату з Біокомплексом-БТУ-р, на 6,8 т/га при використанні сидерату з внесенням ЕкоСтерну, та на 10,5 т/га менше за використання інокуляції насіння сидерату Біокомплексу-БТУ-р та застосування ЕкоСтерну. Отже, використання сидератів позитивно вплинуло на показник урожайності зеленої маси сорго цукрового за три роки досліджень.

6.1.4. Вміст та умовний вихід цукрів сорго цукрового залежно від варіантів використання сидерату і технологій вирощування

Вміст загальних цукрів у стеблах рослин гібридів сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості насіння залежно від досліджуваних факторів в

середньому за роки досліджень наведено у таблиці 8.

Даний показник в більшій мірі змінювався від застосування сидератів, ніж від впливу технологій вирощування. Так, на контрольних ділянках кількість загальних цукрів склала 15,5%, а проведення інокуляції сидерату біопрепаратом Біокомплекс-БТУ-р підвищувало показник на 0,4%, застосування тільки деструктора стерні (ЕкоСтерн) по сидерату та підвищувало – на 0,9%, а інокуляція сидерату та внесення ЕкоСтерну – на 1,1%.

Таблиця 8 - Вміст загальних цукрів у стеблах рослин гібридів сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості насіння залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), %

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	15,6	16	16,5	16,8	16,2
2.	Консервуюча	15,7	16,1	16,7	16,9	16,4
3.	Мульчувальна	15,3	15,5	15,9	16,2	15,7
Середнє (фактор В)		15,5	15,9	16,4	16,6	16,1

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D-Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Нами встановлено, що вміст цукрів у стеблах не значно змінювався від зміни технології вирощування. Так, за традиційної технології вирощування він в середньому по досліду був на рівні 16,2%, за консервуючої технології даний показник збільшився на 0,2%, а за мульчувальної навпаки знизився на 0,5%.

Відповідно до показників вмісту загальних цукрів у стеблах змінювався й їх умовний вихід з посіву сорго цукрового у фазі молочно-воскової стиглості насіння (таблиця 9).

Значення умовного виходу загальних цукрів з посіву сорго цукрового варіювало в середньому по досліду від 6,42 т/га у варіанті без сидератів за мульчувальної технології до 8,75 т/га за варіанту Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р по традиційній технології. Зміна технології вирощування з традиційної на консервуючу зменшило даний показник в середньому по досліду на 0,07 т/га, а на мульчувальну – на 0,8 т/га. Хоча за деякими роками рівень умовного виходу цукрів вищим був за консервуючої технології.

Таблиця 9 - Умовний вихід загальних цукрів з посіву сорго цукрового у фазі молочно-воскової стиглості насіння залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), т/га

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	6,89	7,35	7,97	8,75	7,74
2.	Консервуюча	6,82	7,40	8,02	8,45	7,67
3.	Мульчувальна	6,42	6,74	7,14	7,45	6,94
Середнє (фактор В)		6,71	7,16	7,71	8,22	7,45

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Заробка сидератів збільшувало умовний вихід загальних цукрів з гектару посіву сорго цукрового порівняно з контрольним варіантом (6,71 т/га): так сидерат з інокуляцією насіння Біокомплексом-БТУ-р на 0,45 т/га, сидерату з обробкою препаратом ЕкоСтерн на 1,0 т/га, а проведення іннокуляці насіння сидерату Біокомплексу-БТУ-р та внесення бактеріального деструктора стерні ЕкоСтерн підвищувало на 1,51 т/га.

6.1.5. Економічна та енергетична ефективність вирощування сорго цукрового залежно від елементыв технологій

Отримані дані проведених нами розрахунків вартості валової продукції сорго цукрового свідчать про те, що застосування сидератів підвищило даний показник (таблиця 10).

Так, в середньому по досліду цей показник на контролі без сидератів склав 41557 грн/га. Використання Сидерату з інокуляцією Біокомплекс-БТУ-р підвищило даний показник на 2426 грн/га, обробка сидерату препаратом-деструктором ЕкоСтерн – на 4806 грн/га, а проведення інокуляції сидерату бактеріальним препаратом Біокомплексу-БТУ-р та внесення деструктора стерні ЕкоСтерн збільшувало на 7350 грн/га.

Використання альтернативних технологій вирощування сорго цукрового зменшило показник вартості валової продукції з 42630 грн/га на контрольному варіанті (за проведення оранки) до 40250 грн/на – у варіанті з мульчувальною технологією.

Таблиця 10 - Вартість валової продукції та виробничі витрати при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), грн/га

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	42630 12024	44940 12158	47740 12559	52010 12788	46830 12382
2.	Консервуюча	41790 11767	44800 11851	47320 12101	49350 12264	45815 11996
3.	Мульчувальна	40250 11102	42210 11311	44030 11536	45360 11810	42963 11440
Середнє (фактор В)		41557 11631	43983 11773	46363 12065	48907 12287	45203 11939

**Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р; чисельник – вартість валової продукції сорго цукрового, грн./га; знаменник – валові виробничі витрати на вирощування сорго цукрового, грн./га.

Нами було проведено розрахунки валових виробничих витрат при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів, за результатами яких ми можемо стверджувати, що даний показник збільшується від застосування сидератів за традиційної технології вирощування культури та зменшується від використання альтернативних технологій вирощування сорго цукрового (таблиця 11).

Так, в середньому по досліду валові виробничі витрати склали у варіанті без сидератів 11631 грн/га, а застоування інокуляції сидерату Біокомплексом-БТУ-р з збільшило даний показник на 142 грн/га, використання на сидерату деструктора ЕкоСтерн – на 434 грн/га, при інокуляції сидерату препаратом Біокомплексу-БТУ-р та внесені деструктора стерні ЕкоСтерн цей показник збільшувався на 656 грн/га.

Варіанти з проведення консервуючої та мульчувальної технологій вирощування зменшили показник валових виробничих витрат порівняно з контролем на 386,0 грн/га та 942,0 грн/га відповідно. Умовно чистий прибуток також збільшувався від застосування сидератів при вирощуванні сорго цукрового (таблиця 10).

Так, порівняно з контрольним варіантом (29926 грн/га) застосування сидерату з інокуляцією Біокомплексом-БТУ-р збільшило показник в середньому по досліду на 2284 грн/га, використання по сидерату деструктора ЕкоСтерн – на

4372 грн/га, а інокуляції сидерату Біокомплексу-БТУ-р з внесенням ЕкоСтерну – на 6693 грн/га.

Таблиця 11 - Умовно чистий прибуток та рівень рентабельності при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), грн/га

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	30606 254,5	32782 269,6	35181 280,1	39222 306,7	34448 277,8
2.	Консервуюча	30023 255,1	32949 278,0	35219 291,0	37086 302,4	33819 281,7
3.	Мульчувальна	29148 262,5	30899 273,2	32494 281,7	33550 284,1	31523 275,4
Середнє (фактор В)		29926 257,4	32210 273,6	34298 284,3	36619 297,7	33263 278,3

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р; чисельник – умовний чистий прибуток при вирощуванні сорго цукрового, грн./га; знаменник – рівень рентабельності вирощування сорго цукрового, %.

Умовний чистий прибуток знижувався від зміни традиційної технології вирощування сорго цукрового (34448 грн/га), а саме: на 629 грн/га від застосування консервуючої технології, та на 2925 грн/га від мульчувальної.

Аналогічно змінювався рівень рентабельності при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (таблиця 11). Нами встановлено, що застосування сидератів збільшило рівень рентабельності, порівняно з контрольними ділнками без сидератів на 16,2% за використання інокуляції сидерату Біокомплексом-БТУ-р, та на 26,9% від застосування по сидерату деструктора стерні ЕкоСтерн, й на 40,3 т/га від застосування інокуляції сидерату та застосування деструктора стерні.

Порівняно з традиційною технологією вирощування, консервуюча збільшила показник на 3,9%, а мульчувальна – на 2,4%.

Зміни показників затрат сукупної енергії при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів в середньому за роки досліджень показано у таблиці 7.9. Так, використання консервуючої та мульчувальної технологій вирощування знизило показник на 2,3 та 5,7 ГДж/га відповідно, порівняно з контролем.

Застосування сидератів істотно вплинуло на показник, а саме: використання

сидерату з інокуляцією Біокомплексом-БТУ-р підвищувало затрати сукупної енергії в середньому по досліду на 0,6 ГДж/га, застосування деструктора стерні ЕкоСтерн по сидерату - на 1,8 ГДж/га, а проведення сівби сидерату з інокульованим Біокомплекс-БТУ-р насінням та внесення деструктора стерні ЕкоСтерн – на 2,1 ГДж/га.

Отримані результати свідчать, що досліджувані фактори істотно впливали на надходження енергії з врожаєм при вирощуванні сорго цукрового (таблиця 12).

Так, застосування сидератів збільшувало порівняно з контролем даний показник в середньому по досліду на 14,2 ГДж/га у варіанті з інокуляцією сидерату Біокомплексом-БТУ-р. Застосування на сидерату деструктора стерні ЕкоСтерн – на 28,1 ГДж/га, а інокуляція сидерату Біокомплексу-БТУ-р та внесення деструктора стерні ЕкоСтерн – на 43,0 ГДж/га.

У варіанті з використанням консервуючої та мульчувальної технологій вирощування було зменшення на 5,9 та 22,6 ГДж/га відповідно, поріняно з традиційною технологією.

Таблиця 12 - Витрати сукупної енергії при вирощуванні сорго цукрового та надходження енергії з урожаєм залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), ГДж/га

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	27,8 249,5	28,8 263,1	29,8 279,4	30,0 304,4	29,1 274,1
2.	Консервуюча	25,4 244,6	26,0 262,2	27,8 277,0	28,1 288,9	26,8 268,2
3.	Мульчувальна	22,7 235,6	22,9 247,1	23,8 257,7	24,2 265,5	23,4 251,5
Середнє (фактор В)		25,3 243,3	25,9 257,5	27,1 271,4	27,4 286,3	26,4 264,6

* *Примітка:* А – Контроль; В - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; С - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р; чисельник – затрати сукупної енергії при вирощуванні сорго цукрового, ГДж./га; знаменник – надходження енергії з врожаєм сорго цукрового, ГДж/га.

Нами встановлено, що енергетичний коефіцієнт вирощування сорго цукрового також залежав від досліджуваних факторів (таблиця 13).

Так, використання сидератів збільшило даний показник на 0,3, 0,4 та 0,8 за

використання інокуляції сидерату Біокомплексом-БТУ-р, внесення по сидерату деструктора ЕкоСтерн, та сумісного їх застосування на сидерату відповідно. Всі показники були високими та варіювали від 9,0 до 11,0.

Таблиця 11 - Енергетичний коефіцієнт вирощування сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.)

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	9,0	9,1	9,4	10,1	9,4
2.	Консервуюча	9,6	10,1	10,0	10,3	10,0
3.	Мульчувальна	10,4	10,8	10,8	11,0	10,7
Середнє (фактор В)		9,7	10,0	10,1	10,5	10,0

* *Примітка:* A – Контроль; B - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; C - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Енергетичний коефіцієнт за проведення традиційної технології вирощування в середньому по досліду склав 9,4, що на 0,6 менше за використання консервуючої та на 1,3 менше за мульчувальної.

6.2. Вплив позакореневого підживлення на продуктивність гібридів сорго цукрового

6.2.1. Вплив позакореневого підживлення на динаміку висоти та площі листкової поверхні рослин гібридів сорго цукрового

Зичайно за морфологічними особливостями стебла сорго цукрового високі, прямостоячі, їх висота всередньому варіює від 206 до 241 см. Цей показник може істотно різнитись залежно від сорту та грунтово-кліматичних умов. Так, у наших дослідженнях формування висоти рослинами гібридів сорго цукрового залежало від позакореневого підживлення, про що свідчать отримані значення у фазі воскової стиглості (таблиця 14).

Максимальну висоту рослин в середньому за 2013-2015 рр. (263,1 см) сформував гібрид Медовий у варіанті з сумісного підживленням препаратами Органік баланс та мікродобрива Квантум. Мінімальне значення (199,3 см) сформовано гібридом-стандартом Сило 700 Д на контрольних ділянках. При

Таблиця 14 - Висота рослин гібридів сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів у фазі воскової стиглості (середнє за 2013-2015 рр.), см

Позакореневе підживлення* (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє значення по фактору В	Відхилення до контролю, ±	Середнє значення по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий			
Контроль	199,3	220,5	209,9	209,9	-	222,5
ОБ	206,4	251,7	219,2	225,8	+15,9	
ОБ + Кв	208,5	263,1	223,6	231,7	+21,8	
Середнє значення по фактору А	204,7	245,1	217,6			
$НІР_{05}$ 2013 р.	Фактор А 6,15; Фактор В 7,08;					
$НІР_{05}$ 2014 р.	Фактор А 10,03; Фактор В 6,94;					
$НІР_{05}$ 2015 р.	Фактор А 8,34; Фактор В 8,15.					

* Примітка: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум.

цьому в середньому за фактором В відносно контрольного варіанту обробка препаратом Органік баланс сприяла збільшенню висоти на 15,9 см, а застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум – на 21,8 см. Найбільший в середньому за фактором А показник висоти сформував гібрид Медовий (245,1 см), а найменший Сило 700 Д (204,7 см).

Показник $НІР_{05}$ по фактору А за роки досліджень варіював у діапазоні 6,15-10,03, а по фактору В – від 6,94 до 8,15, отже за даними дисперсійного аналізу даний показник більше залежав від сортових особливостей.

Розраховані нами поліноміальні кореляційно-регресійні залежності між висотою рослин у фазу воскової стиглості рослин і врожайністю зеленої маси, вирощеного у досліді сорго цукрового, показали, що між зазначеними показниками існує дуже тісний зв'язок не зважаючи на гібридний склад (рисунок 13 – рисунок 14).

Коефіцієнт детермінації (R^2) по гібриду Сило 700Д становить 0,987, по гібриду Медовий – 0,993 та по гібриду Троїстий – 0,985, що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв’язок як дуже тісний.

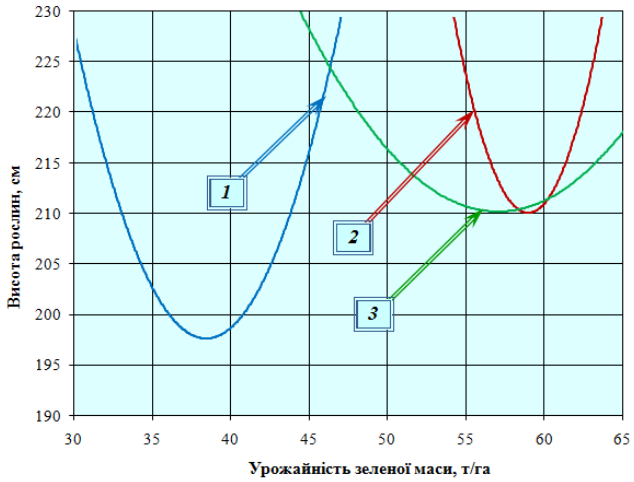

Рис. 13. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та висотою рослин (середнє за 2013–2015 рр.)

Примітка: 1 – Сило 700 Д (St): $y = 0,444x^2 - 33,93x + 846$; $R^2 = 0,987$; 2 – Медовий: $y = 0,447x^2 - 53,70x + 1831$; $R^2 = 0,993$; **3** – Троїстий: $y = 0,129x^2 - 14,77x + 631,1$; $R^2 = 0,985$.

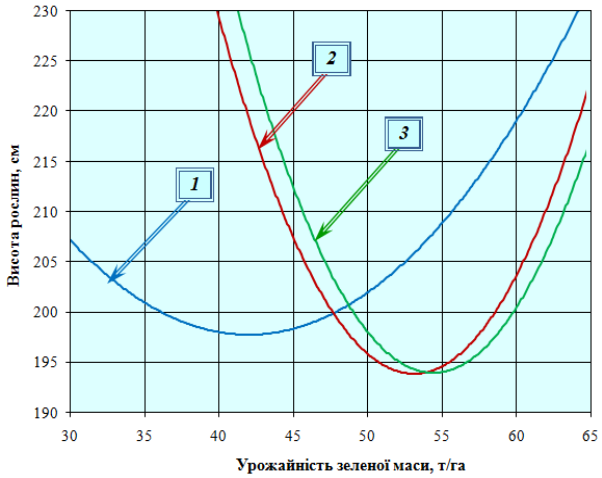

Рис. 14. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та висотою рослин (середнє за 2013–2015 рр.)

Примітка: 1 – Контроль: $y = 0,065x^2 - 5,541x + 313,5$; $R^2 = 0,944$; **2** – Бактеріальний препарат Органік баланс: $y = 0,429x^2 - 45,99x + 1386$; $R^2 = 0,884$; **3** – Сумісне застосування бактеріального препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум: $y = 0,595x^2 - 65,21x + 1914$; $R^2 = 0,868$.

У фазу воскової стиглості рослин сорго цукрового кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та висотою рослин проявляє сильну ступінь статистичних зв'язків за різного позакореневого підживлення посівів. Коефіцієнт детермінації коливається в межах 0,944 (за Контрольного варіанту), до 0,884 (за умови застосування Органік баланс) та 0,868 (за позакореневого підживлення Органік баланс та Квантум), що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв'язок як дуже тісний та тісний (рисунок 13 – рисунок 14).

Слід зазначити, що дещо вищим коефіцієнт детермінації по сорго цукровому за розрахунків у фазу воскової стиглості були за гібридним складом.

Відомо, що урожайність залежить від формування площі листкової поверхні, тривалості вегетації і показників фотосинтетичного потенціалу, тому необхідно визначити їх максимальні значення залежно від дії досліджуваних факторів. Упродовж 2013-2015 рр. нами було проаналізовано показники площі листкової поверхні посіву сорго цукрового у фазу виходу в трубку залежно від досліджуваних факторів та розраховано середнє значення за роки досліджень

(таблиця 15).

Таблиця 15 - Площа листкової поверхні посіву сорго цукрового у фази виходу в трубку та молочно-воскової стиглості зерна залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), тис. м^2/га

Позакореневе підживлення* (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	8,5 22,1	10,8 33,4	7,8 21,1	9,0 25,5	13,6 33,7
ОБ	9,9 26,2	18,4 37,8	14,2 40,5	14,2 34,8	
ОБ + Кв	12,3 31,6	24,1 46,2	16,2 44,1	17,5 40,6	
Середнє значення по фактору А	10,2 26,6	17,8 39,1	12,7 35,2	13,6 33,7	

* Примітка: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум; чисельник – площа листкової поверхні посіву сорго цукрового у фазу виходу в трубку, тис. м^2/га; знаменник – площа листкової поверхні посіву сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості зерна, тис. м^2/га

Так, найбільшу площу листкової поверхні посіву сорго цукрового сформовано гібридом Медовий (24,1 тис. м^2/га) за обробки Органік баланс та мікродобривом Квантум, а найменшу – гібридом Троїстий (7,8 тис. м^2/га) на контролі. В середньому серед усіх гібридів більша площа була також у гібрида Медовий (17,8 тис. м^2/га), а найменша (10,2 тис. м^2/га) у гібрида-стандарту Сило 700 Д, що пов'язано з морфологічними особливостями даних гібридів, які обумовлюються генетично.

Позакореневе підживлення підвищувало значення даного показника, відносно контролю. Так, обробка сумішкою біопрепарату Органік баланс та мікродобривом Квантум сприяла збільшенню площі листкової поверхні на 8,5 тис. м^2/га, а позакореневе підживлення тільки препаратом Органік баланс – лише на 5,2 тис. м^2/га.

Показники площі листкової поверхні посіву сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості насіння залежно від досліджуваних факторів в середньому за 2013-2015 рр. наведено у таблиці 15.

Спостерігається залежність показників площі листкової поверхні від гібридних особливостей та позакореневого підживлення у фазу воскової стиглості насіння аналогічно як у фазі виходу в трубку. Так, максимальне

значення даного показника всередньому за 2013-2015 рр. було у гібрида Медовий (46,2 тис. м^2/га) за сумісної обробки препаратом Органік баланс та мікродобривом Квантум. Найменша площа листкової поверхні сформована рослинами гібриду Троїстий 21,1 тис. м^2/га. В середньому по фактору А найбільша серед досліджуваних гібридів площа листкової поверхні була у гібрида Медовий – 39,1 тис. м^2/га, що більше на 3,9 за гібрид Троїстий та на 12,5 за гібрид-стандарт Сило 700 Д.

Застосування позакореневого підживлення рослин сорго цукрового під час вегетації позитивно вплинуло на формування площі листкової поверхні. Так, застосування препарату Органік баланс збільшило даний показник на 9,3 тис. м^2/га, а сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум – на 15,1 тис. м^2/га.

Розраховані нами поліноміальні кореляційно-регресійні залежності між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу виходу в трубку рослин сорго цукрового вирощеного у досліді, показали, що між зазначеними показниками існує дуже тісний зв'язок не зважаючи на варіанти позакореневого підживлення (рисунок 15).

Коефіцієнт детермінації коливається в межах 0,868 (за Контрольного варіанту), до 0,914 (за умови застосування Органік баланс) та 0,905 (за позакореневого підживлення Органік баланс та Квантум), що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв’язок як тісний та дуже тісний.

Кореляційно-регресійні залежності між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу виходу в трубку рослин сорго цукрового вирощеного у досліді, показали, що між зазначеними показниками існує дуже тісний зв'язок не зважаючи на різний гібридний склад піддослідної культури (рисунок 16).

Слід зазначити, що дещо вищим коефіцієнт детермінації по сорго цукровому за розрахунків у фазу воскової стиглості були за гібридним складом. Коефіцієнт детермінації (R^2) по гібриду Сило 700Д становить 0,819, по гібриду Медовий – 0,957 та по гібриду Троїстий – 0,997, що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв’язок як тісний та дуже тісний.

Показники висоти рослин гібридів сорго цукрового у фазі воскової стиглості залежно від досліджуваних факторів за 2013-2015 рр. наведено на рисунку 17.

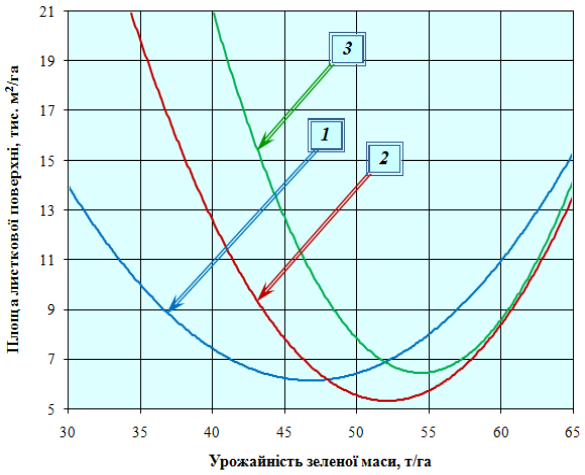

Рисунок 15 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу виходу в трубку (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: 1 – Контроль: $y = 0,026x^2 - 2,452x + 62,93$; $R^2 = 0,868$; 2 – Бактеріальний препарат Органік баланс: $y = 0,051x^2 - 5,342x + 144,9$; $R^2 = 0,914$; 3 – Сумісне застосування бактеріального препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум: $y = 0,117x^2 - 12,85x + 348,0$; $R^2 = 0,905$.

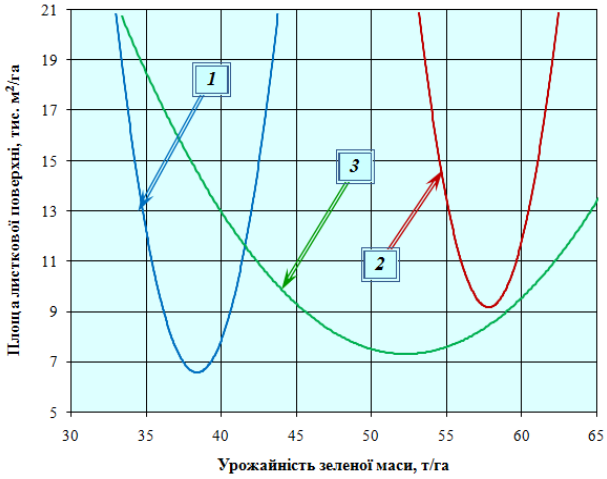

Рисунок 16 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу виходу в трубку (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: 1 – Сило 700 Д (St): $y = 0,654x^2 - 51,46x + 1013$; $R^2 = 0,819$; 2 – Медовий: $y = 0,343x^2 - 43,41x + 1380$; $R^2 = 0,957$; 3 – Троїстий: $y = 0,129x^2 - 14,77x + 631,1$; $R^2 = 0,997$.

В середньому по фактору А максимальну висоту рослин (250,7 см) у фазу воскової стиглості сформував гібрид Медовий у 2014 році. Мінімальний показник (201,0 см) сформовано у гібрида-стандарту Сило 700 Д у 2013 році, що пов'язано з генетичними особливостями гібридів. Кращим за даним показником серед досліджуваних років виявився 2014 р. Висота рослин сорго цукрового у всіх варіантах була більше саме в сьому році, що пов'язано з кращими грунтово-кліматичними умовами вегетаційного періоду порівняно з іншими роками.

Розраховані нами поліноміальні кореляційно-регресійні залежності між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу молочно-воскової стиглості насіння, які були взяті на дослідження, показали, що між зазначеними показниками існує значний зв'язок, причому за різного гібридного складу (рисунок 17 – рисунок 18). Коефіцієнт детермінації (R^2) коливається в межах від 0,950 до 0,999 по гібриду Сило 700Д - 0,959; по по

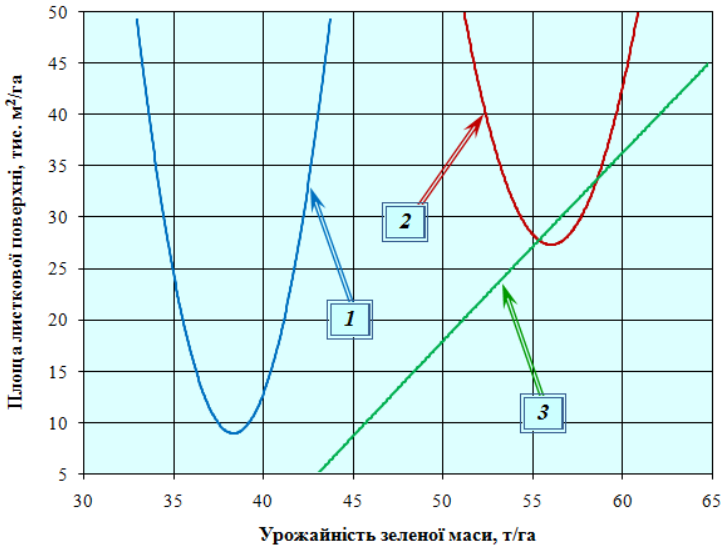

Рисунок 17 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу молочно-воскової стиглості насіння (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: 1 – Сило 700 Д (St): $y = 1{,}452x^2 - 113{,}9x + 2244$; $R^2 = 0{,}959$; 2 – Медовий: $y = 0{,}608x^2 - 78{,}05x + 2531$; $R^2 = 0{,}950$; 3 – Троїстий: $y = -0{,}001x^2 + 2{,}243x - 98{,}78$; $R^2 = 0{,}999$.

гібриду Медовий - 0,950 та по гібриду Троїстий – 0,999, що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв'язок як дуже тісний.

Кореляційно-регресійні залежності між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу воскової стиглості рослин сорго цукрового вирощеного у досліді, показали, що між зазначеними показниками існує дуже тісний зв'язок не зважаючи на варіанти позакореневого підживлення посівів (рисунок 18).

Ситуація не змінилася і слід зазначити, що дещо вищим коефіцієнт детермінації по сорго цукровому за розрахунків у фазу воскової стиглості були за гібридного складу. Коефіцієнт детермінації (R^2) на контрольному варіанті становить 0,896, при позакореневому підживленні Органік баланс – 0,962, а по підживленню Органік баланс та Кванту - 0,998, що за шкалою Чеддока характеризує такий статистичний зв'язок як тісний та дуже тісний.

Нами доведено, що за проведення позакореневих підживлень висота рослин сорго цукрового у гібридів зростала. Так, наприклад, у 2014 році проведення позакореневого підживлення рослин гібриду Медовий препаратом Органік баланс підвищило даний показник відносно контролю на 33,4 см за обробки препаратом Органік баланс та мікродобрива Квантум – на 44,3 см. Аналогічна закономірність спостерігалась у інші роки досліджень.

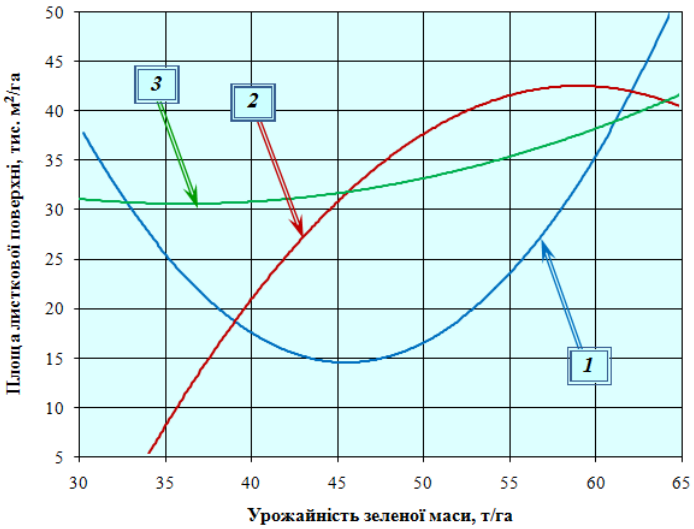

Рисунок 18 - Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси сорго цукрового та площею листкової поверхні у фазу молочно-воскової стиглості насіння (середнє за 2013–2015 рр.):

Примітка: 1 – Контроль: $y = 0{,}103x^2 - 9{,}609x + 234{,}0$; $R^2 = 0{,}896$; 2 – Бактеріальний препарат Органік баланс: $y = -0{,}061x^2 + 7{,}319x - 173{,}6$; $R^2 = 0{,}962$; 3 – Сумісне застосування бактеріального препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум: $y = 0{,}013x^2 - 0{,}974x + 48{,}52$; $R^2 = 0{,}998$.

Нашими дослідженнями встановлено, що залежно від досліджуваних факторів гібриди по-різному накопичували цукри у стеблах, найбільш високим цей показник сформувався за варіантами досліду у фазу молочно-воскової стиглості насіння гібридом Медовий (таблиця 16).

Таблиця 16 - Вміст та умовний вихід загальних цукрів зі стебел сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості насіння залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.)

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	14,3 2,388	15,6 5,482	15,3 3,641	15,1 3,837	15,5 4,262
ОБ	14,1 2,628	15,9 6,113	15,9 4,262	15,3 4,334	
ОБ + Кв	14,8 2,850	16,8 6,517	16,5 4,481	16,0 4,616	
Середнє (фактор А)	14,4 2,622	16,1 6,037	15,9 4,128		

* *Примітка*: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум; чисельник – вміст цукрів в рослинах сорго цукрового у фазу виходу в трубку, %; знаменник – умовний вихід цукрів сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості зерна, т/га

Так, найбільш високий в середньому за 2013-2015 рр. вміст загальних цукрів (16,8%) сформувався у гібрида Медовий за позакореневого підживлення препаратом Органік баланс та мікродобривом Квантум. Найменший вміст (14,1%) був у гібрида Сило 700 Д у варіанті з обробкою тільки препаратом Органік баланс. В середньому ж по фактору А серед досліджуваних гібридів максимальний показник сформував також гібрид Медовий – 16,1 %, а найменший (14,4%) гібрид Сило 700Д.

Нами встановлено, що вміст загальних цукрів майже не залежить від обробки препаратами рослин під час вегетації. Збільшення кількості цукрів у стеблах, порівняно з контролем, за обробки тільки препаратом Органік баланс склало в середньому за три роки досліджень 0,2 %, а за обробки сумісно препаратом Органік баланс та мікродобривом Квантум – 0,9%. Отже, більшою мірою цей показник залежав від гібридних генетичних характеристик.

Встановлено, що умовний вихід цукрів з 1 га посівів сорго цукрового впродовж 2013-2015 рр. залежав не лише від гібридних характеристик, але й від проведення позакореневих підживлень препаратами (таблиця 16).

Так, у середньому за 2013-2015 рр. максимальним цей показник був у гібрида Медовий 6,037 т/га, а мінімальний – 2,622 т/га у гібрида-стандарта Сило 700 Д, так як він залежить від вмісту загальних цукрів у стеблах сорго.

Варто зауважити, що позакореневі підживлення також позитивно вплинули на умовний вихід цукрів з посіву сорго цукрового. Збільшення по відношенню до контролю від обробки тільки препаратом Органік баланс склало 0,497 т/га, а від обробки сумісно препаратом Органік баланс та мікродобривом Квантум – 0,779 т/га.

6.2.2. Вплив позакореневого підживлення на структуру та урожайність гібридів сорго цукрового

Встановлено, що найбільший вихід з гектару структурних частин врожаю займали стебла сорго – 31,52 т/га у контрольному варіанті, 35,16 т/га – за обробки препаратом Органік баланс, а за обробки сумісно обома препаратами – 35,5 т/га. При чому листя склали в два рази меншу кількість від загальної зеленої маси врожаю сорго цукрового. Так, на контрольних ділянках цей показник склав в середньому за гібридами 12,87 т/га. Найменше з усіх структурних частин отримано волоті, наприклад, на контролі її вихід склав – 6,65 т/га, у варіанті обробки препаратом Органік баланс – 8,21 т/га, а за обробки сумісно двома

препаратами – 8,65 т/га.

У середньому за 2013-2015 рр. досліджень структура врожаю зеленої маси гібридів сорго цукрового у фазі молочно-воскової стиглості залежно від досліджуваних факторів наведена у таблиці 17.

Варто зазначити, що позакореневі підживлення позитивно вплинули на вихід структурних одиниць з гектару посіву сорго цукрового. Порівняно з контролем у середньому за роки досліджень показник виходу листя збільшився за обробки препаратом Органік баланс на 2,66 т/га, виходу волоті – на 1,56 т/га, а стебел на 3,64 т/га. Найкращі показники отримано у варіанті за обробки сумісно двома препаратами. Так, прибавка відносно до контролю виходу структурних одиниць в середньому склала 3,09 т/га, 2,0 т/га та 3,98 т/га відповідно.

Таблиця 17 - Вихід з гектара структурних частин зеленої маси сорго цукрового у фазу молочно-воскової стиглості насіння залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), т/га

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Структурна частка, т/га	Гібрид (Фактор А)			Середнє (фактор В)
		Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий	
Контроль	листя	11,44	11,06	16,11	12,87
	волоть	3,89	5,91	10,15	6,65
	стебло	20,87	43,93	29,75	31,52
ОБ	листя	13,84	13,10	19,66	15,53
	волоть	4,97	7,25	12,41	8,21
	стебло	23,92	48,06	33,51	35,16
ОБ + Кв	листя	13,99	13,62	20,28	15,96
	волоть	5,09	7,71	13,15	8,65
	стебло	24,07	48,49	33,95	35,50
Середнє (фактор А)	листя	13,09	12,59	18,68	14,79
	волоть	4,65	6,96	11,90	7,84
	стебло	22,95	46,83	32,40	34,06

* *Примітка*: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум

Отримані результати свідчать, що вихід структурних одиниць переважно залежав від гібридних особливостей, адже в середньому найбільшим вихід стебел (46,83 т/га) був у гібрида Медовий, кількість листків (18,68 т/га) – у

гібрида Троїстий, а вихід волоті (11,9 т/га) – у гібрида Троїстий.

Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежить не лише від погодно-кліматичних умов, але й від гібридних характеристик, що обумовлюються генетично (таблиця 18).

Отримані показники свідчать, що максимальну кількість урожаю зеленої маси в середньому за варіантами обробки отримано у гібрида Медовий (66,4 т/га), тоді як у Троїстого – 63,0 т/га, а у Сило 700 Д лише 40,7 т/га.

Застосування позакореневих підживлень сприяло приросту урожаю зеленої маси сорго цукрового у досліді. Так, прибавка відносно контролю склала у варіанті за обробки Органік баланс 7,9 т/га, за обробки сумісно обома препаратми – 9,1 т/га.

Таблиця 18 - Урожайність зеленої маси сорго цукрового у фазі молочно-воскової стиглості залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), т/га

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Відхилення до Контролю, ±
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	36,2	60,9	56,0	51,0	-
ОБ	42,7	68,4	65,6	58,9	7,9
ОБ + Кв	43,2	69,8	67,4	60,1	9,1
Середнє (фактор А)	40,7	66,4	63,0		
$НІР_{05}$ фактор А – 0,9-1,34; фактор В – 1,12 – 1,36					

* Примітка: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум

Значення $НІР_{05}$ по фактору А варіювало у діапазоні – 0,9-1,34, а фактору В – 1,12-1,36, що підтверджує більший вплив позакореневих підживлень, ніж гібридних особливостей.

6.2.3. Вплив позакореневого підживлення на економічну та енергетичну ефективність вирощуванння гібридів сорго цукрового

Для розрахунку економічної ефективності досліджуваних елементів технології вирощування сорго цукрового нами було розраховано вартість валової продукції (таблиця 19).

За розрахованими нами показниками вартості валової продукції сорго

цукрового в середньому за три роки залежно від досліджуваних факторів, найбільшим цей показник (48860 грн/га) становив у варіанті гібриду Медовий за обробки рослин під час вегетації сумісно обома препаратами. Це пов'язано з додатковими витратами на проведення позакореневого підживлення рослин та додатковими витратами на застосування двох препаратів. В середньому ж за варіантами максимальний показник також був у гібрида Медовий (46457 грн/га), що більше за середнє по досліду на 6775 грн/га. Мінімальне значення у контрольному варіанті 25340 грн/га, що менше ніж середній показник по досліду на 14342 грн/га.

Таблиця 19 - Складові економічної ефективності вирощування сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), грн/га

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Сорти та гібриди (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	25340 9065	42630 11013	39200 10627	35723 10235	39682 11159
ОБ	29890 10037	47880 12122	45920 11985	41230 11381	
ОБ + Кв	30240 10929	48860 12344	47180 12312	42093 11862	
Середнє (фактор А)	28490 10010	46457 11826	44100 11641	39682 11159	

* *Примітка:* ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум; чисельник - вартість валової продукції сорго цукрового, грн/га; знаменник - валові виробничі витрати, грн/га

Гібридні особливості рослин та позакореневі підживлення також значно вплинули на показник валових виробничих витрат під час вирощування сорго цукрового (таблиця 19).

Так, нами з'ясовано, що найбільшим цей показник (12344 грн/га) становив у варіанті гібриду Медовий за сумісного застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум. В середньому серед досліджуваних гібридів максимальна кількість витрат була у гібрида Медовий (11826 грн/га), що на 1816 грн/га більше, ніж у гібрида Сило 700 Д, та на 185 грн/га, ніж у гібрида Троїстий.

Застосування позакореневих підживлень збільшило в середньому цей показник, порівняно з контролем, на 1146 грн/га за обробки рослин під час

вегетації препаратом Органік баланс та на 1627 грн/га за сумісної обробки Органік балансом і мікродобривом Квантум.

Значення умовно чистого прибутку залежно від досліджуваних факторів під час вирощування сорго цукрового та реалізації зеленої маси в середньому за роки досліджень наведено у таблиці 20.

Таблиця 20 - Умовно чистий прибуток та рентабельність вирощування сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.)

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	16275 179,5	31617 287,1	28573 268,9	25488 245,2	28523 251,9
ОБ	19853 197,8	35758 295,0	33935 283,1	29849 258,6	
ОБ + Кв	19311 176,7	36516 295,8	34868 283,2	30232 251,9	
Середнє (фактор А)	18480 184,7	34630 292,6	32459 278,4	28523 251,9	

* *Примітка*: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум; ; чисельник – умовний чистий прибуток при вирощуванні сорго цукрового, грн/га; знаменник – рівень рентабельності вирощування сорго цукрового, %

Нами встановлено, що в середньому за три роки досліджень максимальний умовно чистий прибуток (36516 грн/га) можливо отримати у варіанті гібрида Медовий за позакореневого підживлення сумісно Органік балансом і мікродобривом Квантум. Мінімальний показник був у контрольному варіанті гібриду Троїстий – 16275 грн/га, що на 12248 грн/га менше за середнє значення по всіх варіантах.

Обробка рослин під час вегетації препаратами підвищила значення цього показника завдяки збільшенню врожайності зеленої маси. Так, у варіанті за використання тільки Органік балансу прибавка до контролю склала 4361 грн/га, а за сумісного використання обох досліджуваних препаратів – на 4744 грн/га.

В середньому за 2013-2015 рр. рівень рентабельності при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів наведено у таблиці 21.

Слід відмітити, що в середньому за роки досліджень максимальний рівень рентабельності (295,8%) був у варіанті гібриду Медовий за сумісного застосування позакореневих підживлень обома досліджуваними препаратми, що

на 43,9% більше, ніж середнє за усіма варіантами обробки рослин. Мінімальний показник (179,5%) отримано у контрольному варіанті, що на 72,4% менше за середнє значення по досліду. Отже, обробка рослин препаратами по вегетації мала позитивний вплив на рівень рентабельності вирощування сорго цукрового у нашому досліді.

Нами було проаналізовано розраховані показники енергетичної ефективності вирощування сорго цукрового (таблиця 21 – таблиця 22). За результатами аналізу ми можемо стверджувати, що досліджувані фактори мали істотний плив на показники затрат сукупної енергії при вирощуванні сорго цукрового.

Таблиця 21 - Витрати сукупної енергії та надходження енергії з урожаєм при вирощуванні сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.), ГДж/га

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	26,544 81,450	27,826 137,025	27,572 126,000	27,314 114,825	29,543 127,550
ОБ	29,182 96,075	30,450 153,900	30,298 147,600	29,977 132,525	
ОБ + Кв	30,417 97,200	31,822 157,050	31,773 151,650	31,337 135,300	
Середнє (фактор А)	28,714 91,575	30,033 149,325	29,881 141,750	29,543 127,550	

* *Примітка:* ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум; чисельник – затрати сукупної енергії при вирощуванні сорго цукрового, ГДж/га; знаменник – надходження енергії з врожаєм сорго цукрового, ГДж/га.

Так, в середньому за 2013-2015 рр. найбільше затрат сукупної енергії (31,822 ГДж/га) було у варіанті гібриду Медовий за позакореневого підживлення Органік баланс та мікродобрива Квантум, що на 2,279 ГДж/га більше за середнє значення по досліду. Мінімальні затрати сукупної енергії (26,544 ГДж/га) були у варіанті гібриду-стандарту Сило 700 Д, що на 2,999 ГДж/га менше за середнє значення по досліду.

Вирощування гібриду Троїстий, порівняно з гібридом Медовий, склало на 0,152 ГДж/га менше затрат сукупної енергії в середньому по варіантах, а вирощування гібриду Сило 700 Д на 1,319 ГДж/га.

Нами встановлено, що надходження енергії з врожаєм при вирощуванні

сорго цукрового залежить від досліджуваних факторів. А саме, даний показник різнився за гібридами: 91,575 ГДж/га у Сило 700 Д, що на 57,75 менше, ніж у гібрида Медовий, та на 50,175 ГДж/га, ніж у гібрида Троїстий.

Проведення позакореневих підживлень підвищило надходження енергії з врожаєм на 17,7 ГДж/га за обробки Органік балансом та на 20,475 ГДж/га за сумісної обробки обома досліджуваними препаратами. В середньому по досліду надійшло 127,550 ГДж/га енергії з врожаєм сорго цукрового.

Енергоємність виробництва валової продукції сорго цукрового в середньому за усіма варіантами склала 0,545 ГДж/т. При чому, у гібрида Медовий цей показник склав 0,453 ГДж/т, що на 0,022 ГДж/т менше, ніж у гібрида Троїстий та на 0,254 ГДж/т менше, ніж у стандарту Сило 700 Д.

Позакореневі підживлення рослин зменшили даний показник, порівняно з контрольним варіантом, на 0,031 ГДж/т за обробки препаратом Органік баланс та на 0,017 ГДж/т за сумісної обробки досліджуваними препаратами. Отже, ми можемо рекомендувати дані варіанти технології вирощування сорго для енергоощадного виробництва продукції.

Таблиця 20 - Енергоємність виробництва валової продукції та енергетичний коефіцієнт вирощування сорго цукрового залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2013-2015 рр.)

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	0,733 3,07	0,457 4,92	0,492 4,57	0,561 4,19	0,545 4,30
ОБ	0,683 3,29	0,445 5,05	0,462 4,87	0,530 4,40	
ОБ + Кв	0,704 3,20	0,456 4,94	0,471 4,77	0,544 4,30	
Середнє (фактор А)	0,707 3,19	0,453 4,97	0,475 4,74	0,545 4,30	

* *Примітка*: ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум; чисельник - енергоємність виробництва валової продукції, ГДж/т; знаменник - енергетичної коефіцієнт

В середньому за роки досліджень енергетичний коефіцієнт за вирощування сорго цукрового варіював в оптимальних значеннях 4-6, що дозволяє нам стверджувати, що усі досліджувані варіанти є енергоефективними та можуть бути впроваджені у виробництво. Найбільшим цей показник був у гібрида

Медовий 4,97, що на 0,23 більше, ніж у гібрида Троїстий та на 1,78 більше, ніж у стандарту Сило 700 Д. Найменше значення (3,07) було у контрольному варіанті гібриду Сило 700 Д.

Застосування позакореневих підживлень позитивно відобразилось на цих показниках. Так, обробка рослин препаратом Органік баланс підвищила даний показник на 0,21, а сумісна обробка двома препарами – на 0,11, при цьому середнє по досліду значення коефіцієнту енергетичної ефективності склало 4,3.

Рівень екологічності технології виробництва сорго цукрового у досліді (Кек) визначали як:

$$Кек = Ев / Едоп,$$

де *Ев* – енергетичні витрати на одержання продукції, ГДж/га;

Едоп – допустимі енергетичні витрати, межа енергонасиченості технологічного процесу виробництва продукції рослинництва, Едоп = 30,0 ГДж/га за 1 рік.

Якщо значення коефіцієнту Кек < 0,5 - таку технологію можна вважати екологозберігаючою, при Кек = 0,5–1,0 - екологобезпечною, а при Кек > 1,0 - екологонебезпечною [47 - 53].

Рівень екологічності у проведених дослідах наведено в таблиці 21-22.

Таблиця 21 - Коефіцієнт екологічності вирощування сорго цукрового залежно від способа використання сидерату та технології вирощування (середнє за 2013-2015 рр.)

№ п/п	Технологія вирощування (Фактор А)	Сидерат* (Фактор В)				Середнє (фактор А)
		A	B	C	D	
1.	Традиційна (Контроль)	0,93	0,96	0,99	1,00	0,97
2.	Консервуюча	0,85	0,87	0,93	0,94	0,89
3.	Мульчувальна	0,76	0,76	0,79	0,81	0,78
Середнє (фактор В)		0,84	0,86	0,90	0,91	0,88

* *Примітка:* A – Контроль; B - Сидерат з Біокомплекс-БТУ-р; C - Сидерат + ЕкоСтерн; D - Сидерат + ЕкоСтерн + Біокомплекс-БТУ-р

Отже, в результаті проведення розрахунків вирощування культури сорго цукрового за всіх варіантів технології лежить на межі сукупних витрат валової енергії від 0,76 – 1,00.

Таблиця 22 - Коефіцієнт екологічності вирощування сорго цукрового залежно від позакореневого підживлення та гібридного складу (середнє за 2013-2015 рр.)

Позакореневе підживлення * (фактор В)	Гібрид (фактор А)			Середнє (фактор В)	Середнє по досліду
	Сило 700 Д (St)	Медовий	Троїстий		
Контроль	0,88	0,93	0,92	0,91	0,99
ОБ	0,97	1,02	1,01	1,00	
ОБ + Кв	1,01	1,06	1,06	1,04	
Середнє (фактор А)	0,96	1,00	1,00	0,98	

* *Примітка:* ОБ – препарат Органік баланс; ОБ + Кв – сумісне застосування препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум

Аналізуючи таблицю 22 можна класифікувати вирощування як допустиме, екологічно безпечне, але відносно даних таблиці 22 можна стверджувати що вирощування гібридів сорго цукрового за позакореневого підживлення варіює на межі. Тож необхідно позбутися енергоємних операцій за вирощування культури.

Висновки

1. За період проведення досліджень з середньостиглими гібридами сорго цукрового (2013-2015 рр.) нами отримані результати відносно довжини вегетаційного періоду за різного способу використання сидеральної культури та різних технологій вирощування. Так застосування інокуляції насіння сидерату біопрепаратом Біокомплекс-БТУ-р та внесення деструктора стерні ЕкоСтерн при його заробці використовуючи традиційну та консервувальну системи вирощування показники довжини вегетаційного періоду були максимальними та становили 130 діб.

2. Висота рослин сорго цукрового за проведення оранки, як основного обробітку традиційної технології, формувалась максимальною за всіх варіантів досліду (220,5 – 255,4см). Мінімальною висота рослин формувалась за мульчувальної технології вирощування на Контрольному варіанті (212,4 см).

3. Максимальну площу листкової поверхні (56,2 тис. $м^2$/га) формували рослини сорго цукрового при проведенні оранки, мінімальним цей показник, проведення чизелювання або дискування дослідних площ,зменшували розмір

даного показника на 1,93 – 45,8%.

4. Максимальна врожайність зеленої маси сорго цукрового 74,3 т/га) формувалась за традиційної технології вирощування сорго цукрового з проведенням інокуляції насіння, вирощування сидерату та використання деструктора стерні. За цього варіанту був і максимальний збір умовного цукру з гектару посівів 8,75 т/га.

5. За кращого варіанту умовний чистий прибуток становив 39222 тис. грн/га при рівні рентабельності 306,7 т/га, а енергетичний коефіцієнт в досліді становив 10,1.

6. Проведення сумісного позакореневого підживлення бактеріальним препаратом Органік баланс та мікродобрива Квантум стимулювали формування максимальної висоти рослин гібридів сорго цукрового від 208,5 см (Сило 700Д) до 263,1 см (Медовий), по відношеню до контролю приріст показника становив: 9,2 см (4,6%), 13,7 см (6,5%) і 42,6 см (19,3%) по гібридам Сило 700Д, Троїстий та Медовий відповідно.

7. Максимальні показники площі листкової поверхні в досліді у фазу виходу в трубку (24,1 тис. $м^2$/га) та у фазу молочно-воскової стиглості (46,2 тис. $м^2$/га) формували рослини сорго цукрового гібриду Медовий за сумісної обробки посівів бактеріальним препаратом Органік баланс та мікродобривом Квантум.

8. Застосування біопрепарату та мікродобрива незначно підвищували вміст загальних цукрів в стеблах сорго цукрового (0,2-0,9%), а в більшій мірі цей показник залежав від гібридних генетичних характеристик культури.

9. Вихід структурних одиниць переважно залежить від гібридних особливостей, при цьому найбільшим вихід стебел (46,83 т/га) був у гібриду Медовий, кількість листків (18,68 т/га) – у гібриду Троїстий, а вихід волоті (11,9 т/га) – також у гібриду Троїстий.

10. Максимальну врожайність зеленої маси сорго цукрового (69,8 т/га) отримано на посівах гібриду Медовий за позакореневого підживлення сумішкою бактеріального препарату Органік баланс та мікродобрива Квантум.

11. З економічної точки зору, формування найбільш високого показника умовного чистого прибутку (36516 грн/га) стало можливим за сівби насіння гібриду Медовий, підживлення його посівів сумішшю біопрепарату та мікродобрива Саме ці фактори дали можливість культурі сформувати рівень рентабельності вирощування 295,8 %.

12. Проведення позакореневих підживлень підвищує надходження енергії з

врожаєм на 17,7 ГДж/га за обробки Органік баланс та на 20,475 ГДж/га за сумісної обробки Органік баланс та Квантум.

13. Вирощування культури сорго цукрового за всіх варіантів технології лежить на межі сукупних витрат валової енергії від 0,76 – 1,00, а отже необхідно використовувати енергоощадні операції (оранка, культивації) та технології вирощування (традиційна, консервувальна, мульчувальна).