

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

ГАНЖЕНКО Олександр Миколайович



УДК 633.62: 633.63

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА
БІОПАЛИВА В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

06.01.09 – рослинництво

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора сільськогосподарських наук

Київ - 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України протягом 2010-2020 рр.

Науковий консультант – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН України
РОЇК Микола Володимирович, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, директор

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

доктор сільськогосподарських наук, професор
РАХМЕТОВ Джамал Бахлулович, Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України, заступник директора з наукової роботи (інноваційний розвиток), завідувач відділу культурної флори

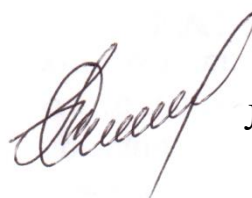
доктор сільськогосподарських наук, професор
КУЛИК Максим Іванович, Полтавський державний аграрний університет МОН України, професор кафедри селекції, насінництва і генетики

Захист дисертації відбудеться «23» грудня 2021 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.360.01 Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за адресою: вул. Клінічна, 25, корпус 1, м. Київ, 03110.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України за адресою: вул. Клінічна, 25, корпус 2, м. Київ, 03110.

Автореферат розіслано «22» листопада 2021 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради
доктор сільськогосподарських наук



Л. І. Сторожик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Загострення екологічних проблем спонукає людство до пошуку шляхів виробництва і використання відновлювальних джерел енергії, що визнано одним із пріоритетів світової економіки. Підтвердженням цього слугує підписання нової Кліматичної Угоди, яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури через приведення у другій половині ХХІ століття викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти без шкоди для себе. З цією метою передбачається щорічно залучати 100 млрд \$ для заміни традиційних джерел енергії відновлювальними, серед яких значне місце посідає біоенергетика.

Щорічно Україна імпортує викопні енергоносії майже на 11 млрд \$, водночас не достатньо задіяно потенціал відновлювальних джерел енергії, на які багата наша держава. Позитивно те, що динаміка останніх років засвідчує збільшення частки відновлювальних джерел енергії в енергобалансі держави. Так, якщо у 2012 році обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд м³, то у 2019 р. – 4,2 млрд м³. Однак це значно менше від загальносвітового рівня, адже частка біоенергетики у структурі світового енергоспоживання перевершує 15 %.

Отже, для забезпечення подальшого зростання галузі біоенергетики необхідно створити достатню кількість високоякісної сировинної бази, провідне місце у формуванні якої відводиться цукроносним культурам – сорго цукровому (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) та бурякам цукровим (*Beta vulgaris* L.).

Актуальність теми. На сучасному етапі продуктивність посівів цукроносних біоенергетичних культур буряків цукрових і сорго цукрового та обсяги виробництва з них біопалива залишаються недостатніми. У структурі кінцевого споживання енергії в Україні частка біоенергетики становить лише 4,2 %. Тому, підвищення врожайності та зниження собівартості вирощування цукромісткої біомаси створює передумови для активізації розвитку вітчизняної біоенергетичної галузі, що сприятиме досягненню стратегічних завдань, які Україна зобов'язалась виконати на шляху до побудови вуглецевонеutralної економіки.

Вагомий внесок у розв'язання проблем, пов'язаних із вирощуванням цукромісткої біомаси, як сировини для виробництва різних видів біопалива належить таким вітчизняним ученим, як М.В. Роїк, В.М. Сінченко, С.М. Каленська, В.Л. Курило, Д.Б. Рахметов, Л.І. Сторожик, М.І. Кулик, М.Я. Гументик, М.Б. Грабовський, Я.Д. Фучило, В.В. Іваніна, В.А. Доронін, В.Т. Саблук, Я.П. Макух, В.С. Бондар, Л.А. Правдива, О.Б. Хіврич, Н.О. Кононюк, В.Л. Гамандій, О.В. Яланський та ін. За кордоном над проблемою вирощування цукромісткої біомаси працювали M.U. Hassan, C. Ratnavathi, A. Almodares, S. Prasad, B.V. Reddy, A. Soltani, W.E. Lueschen, I. Atis, M.O. Oyier, O.E. Ferreira, A. Nur, T.P.M. Teixeira, C.E. Vlachos, J. Dahlberg, B.V. Ayodele, N.B. Appiah-Nkansah, S. Mathur, B.T. Julius, K. Manevski, R. Bulgari, S. Torma, H.Z. Abyaneh, D. Laufer, R. Pastor-Bueis, A. Demirbas, G. Kocar, W. Parawira, X. Goux, C. Manochio, B. Demirel, E. Kreuger, C. Gissen, J. Van Dyk, K. Zieminski, C. Fang, M.B. Whitfield, M. Sjoblom, N. Christoph, D. Sarris, V.M. Vucurovic, Z. Solati, D.M. Stoms, N. Koga та ін.

Для забезпечення внутрішніх потреб у рідкому та газоподібному біопаливі в Україні потрібно висівати близько 1,5 млн га біоенергетичних цукроносних культур (1 млн га буряків цукрових та 0,5 млн га сорго цукрового). Тому актуальним стає

питання здійснення оцінки енергетичного потенціалу сучасних сортів і гібридів цукроносних культур та розроблення високоефективної технології їх сталого вирощування у різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України впродовж 2011-2020 рр. згідно з ПНД НААН 22 «Біоенергетичні ресурси» (2011-2015 рр.) та ПНД НААН 16 «Біоенергетичні ресурси» (2016-2020 рр.) за завданнями: «Розробити теоретичні основи екологозберігаючого високопродуктивного вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біопалива» (РК 0111U003122, 2011-2015 рр.); «Розробити теоретичні основи високопродуктивного вирощування цукрових буряків для виробництва біоетанолу» (РК 0111U003123, 2011-2013 рр.); «Удосконалити елементи технології вирощування цукрових буряків як сировини для виробництва біопалива» (РК 0113U005995, 2014-2015 рр.); «Розробити методичні основи та здійснити порівняльну оцінку енергетичного потенціалу різних генотипів сорго цукрового та елементів технології їх вирощування як сировини для виробництва біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України» (РК 0116U002197, 2016-2020 рр.); «Здійснити порівняльну оцінку енергетичного потенціалу сучасних гібридів буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива в зоні Лісостепу України» (РК 0116U002201, 2016-2018 рр.).

Мета і завдання досліджень – обґрунтувати теоретичні й агробіологічні основи формування продуктивності рослин та оптимізувати технологічні процеси вирощування і збирання біомаси сорго цукрового і буряків цукрових для підвищення рівня врожайності, технологічної якості цукромісткої біомаси й зменшення витрат коштів та енергії на їх вирощування, збирання і використання як біопалива.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати стан і перспективи розвитку галузі біоенергетики та обґрунтувати доцільність вирощування цукроносних культур як сировини для виробництва різних видів біопалива в Лісостепу України;
- розробити методiku розрахунку виходу біопалива (біоетанолу, біогазу і твердого біопалива) та енергії з одиниці площі посівів цукроносних культур, яка дозволяє проводити енергетичну оцінку сортів, гібридів і технологічних процесів їх вирощування;
- проаналізувати існуючі та розробити нові методи визначення біометричних показників цукроносних культур;
- встановити закономірності росту і розвитку рослин сорго цукрового і буряків цукрових залежно від ґрунтово-кліматичних умов та технологічних чинників;
- встановити залежність показників продуктивності та якості цукромісткої біомаси від факторів зовнішнього середовища та елементів технології вирощування;
- здійснити порівняльну оцінку енергетичного потенціалу сорго цукрового і буряків цукрових для виробництва біопалива у різних частинах Лісостепу України;
- удосконалити способи збирання біомаси цукроносних культур й обґрунтувати раціональну схему «зеленого конвеєра», що дозволяє підвищити ефективність роботи

біогазових та біоетанольних заводів;

- здійснити енергетичну та економічну оцінки ефективності вирощування і збирання цукроносних культур для виробництва біопалива.

Об'єкт досліджень – процес формування продуктивності посівів біоенергетичних цукроносних культур сорго цукрового і буряків цукрових залежно від їх біологічних особливостей, ґрунтово-кліматичних умов та елементів технології вирощування і збирання біомаси.

Предмет досліджень – цукроносні культури (сорго цукрове та буряки цукрові), біометричні показники рослин, показники продуктивності, елементи технології вирощування, енергетична та економічна оцінки вирощування цукромісткої біомаси.

Методи дослідження. У процесі виконання досліджень використовувалися загальнонаукові методи: аналіз і синтез, індукції й дедукції, абстрагування і конкретизації, аналогій та моделювання. Крім того застосовувалися біологічні, статистичні та розрахунково-порівняльні методи. Біологічні методи включали проведення польових експериментів та облік біометричних параметрів і показників продуктивності рослин. Отримані результати опрацьовували з використанням статистичних методів – описової статистики, дисперсійного, кореляційного, регресійного та кластерного аналізів. За допомогою розрахунково-порівняльного методу визначали показники економічної та енергетичної ефективності вирощування, збирання і перероблення біомаси цукроносних культур для виробництва біопалива.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні актуальної проблеми: підвищення продуктивності цукроносних культур як сировини для виробництва різних видів біопалива залежно від тривалості періоду вегетації, доз мінеральних добрив, густоти стояння рослин, використання сталих технологій вирощування та збирання цукромісткої біомаси для різних частин Лісостепу України.

Вперше:

– розроблено методику розрахунку виходу біопалива (біоетанолу, біогазу та твердого біопалива) з одиниці площі, яка дозволяє проводити енергетичну оцінку ефективності вирощування цукроносних культур;

– розроблено методику визначення площі листкової поверхні сорго цукрового методом сканування;

– побудовано стохастичну модель для прогнозування фракційного складу коренеплідів буряків цукрових;

– встановлено закономірності росту і розвитку цукроносних культур сорго цукрового та буряків цукрових залежно від ґрунтово-кліматичних та агробіологічних чинників, що дало можливість оптимізувати елементи технології виробництва цукромісткої біомаси;

– здійснено порівняльну оцінку енергетичного потенціалу різних генотипів сорго цукрового і буряків цукрових та елементів технології їх вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах України;

– обґрунтовано оптимальні строки збирання біомаси сорго цукрового та буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива з урахуванням агробіологічних чинників та умов вирощування.

Удосконалено: способи збирання врожаю зеленої біомаси цукроносних культур та обґрунтовано раціональну схему «зеленого конвеєра», що дозволяє підвищити ефективність роботи біогазових та біоетанольних заводів.

Набули подальшого розвитку: методика визначення площі листової поверхні цукроносних культур розрахунковим методом; елементи технології вирощування та збирання біомаси сорго цукрового та буряків цукрових.

Новизну розроблених положень офіційно підтверджено чотирма патентами на корисну модель: № 77038 від 25.01.2013; № 79472 від 25.04.2013; № 102469 від 26.10.2016; № 102470 від 26.10.2016.

Практичне значення одержаних результатів. На основі багаторічних досліджень розроблено науково обґрунтовані елементи технології вирощування цукроносних культур, які висвітлені у розділі колективної монографії та у дев'яти науково-практичних рекомендаціях.

У науково-дослідних і навчальних установах та на виробництві було впроваджено «Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння цукрового сорго» (2012); «Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння енергетичних цукрових буряків» (2012); «Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків» (2014); «Методичні рекомендації з визначання площі листової поверхні цукрового сорго» (2014); «Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива» (2017); «Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків» (2018); «Методичні рекомендації з технології вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біоетанолу» (2018); «Методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України» (2020); «Методичні рекомендації з технології вирощування та перероблення буряків цукрових як сировини для виробництва біогазу» (2021).

Результати досліджень пройшли апробацію і впроваджені у навчальний процес та виробництво у дослідно-селекційних станціях мережі ІБКіЦБ НААН і господарствах Полтавської, Харківської, Хмельницької, Тернопільської та Київської областей.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача. Дисертантом проведено аналіз і узагальнення наукової літератури за темою роботи, розроблено програму досліджень з урахуванням існуючих та удосконалених методик, визначено теоретичні положення дисертації. Проведено польові й лабораторні експерименти, виконано статистичний аналіз отриманих результатів, встановлено енергетичну та економічну ефективність запропонованих агрозаходів. Напрацьовано висновки і сформульовано пропозиції для виробництва, розроблено науково-практичні рекомендації. Результати наукових досліджень опубліковано самостійно та у співавторстві з часткою участі здобувача 55-80 %, яка полягала в аналізі літературних джерел, плануванні й проведенні експериментальних досліджень, статистичній обробці та узагальненні отриманих результатів і підготовці тексту публікації. Впровадження у виробництво розробок за

темою дисертаційної роботи здійснювалося за безпосередньої участі здобувача або під його науковим супроводом.

Апробація результатів досліджень. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на засіданнях відділу технологій вирощування біоенергетичних культур Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (2011-2020 рр.), засіданнях методичної комісії Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (2012, 2014, 2017, 2018, 2020 р.), координаційно-методичної ради з ПНД НААН 22 «Біоенергетичні ресурси» (2011-2015 рр.), координаційно-методичної ради з ПНД НААН 16 «Біоенергетичні ресурси» (2016-2020 рр.), Вченої ради Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, VI Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (м. Львів, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції «БІОЕНЕРГЕТИКА: вирощування біоенергетичних культур, виробництво та використання біопалива» (м. Київ, 2011, 2013), Міжнародному науково-практичному форумі «Теоретичні і практичні аспекти розвитку агропромислового виробництва та сільських територій» (м. Львів, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур» (м. Київ, 2012), IV Міжнародній науково-технічній конференції «ЗЕМЛЯ УКРАЇНИ – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави» (м. Вінниця, 2014), Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку біоенергетики в Україні» (м. Київ, 2018), Науково-практичному семінарі «Енергетична автономізація агропромислового сектора на основі відновлювальних джерел енергії» (м. Київ, 2018), X Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (м. Львів, 2019), Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту» (м. Біла Церква, 2019), Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку» (м. Біла Церква, 2021), II Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні агротехнології» (м. Київ, 2021).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 70 наукових праць: 1 колективна монографія; 23 статті у фахових виданнях України, 1 – у виданнях, що входять до наукометричних баз Scopus /Web of Science, 5 – у виданнях інших держав; 11 – в інших наукових виданнях України; 9 – у періодичних науково-виробничих виданнях України; 7 – у тезах доповідей і матеріалів наукових конференцій; 9 – у науково-практичних рекомендаціях виробництву; 4 – у патентах на корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 409 сторінках основного тексту і складається зі вступу, десяти розділів, висновків, рекомендацій виробництву та списку використаних джерел, що налічує 466 найменувань, з яких 221 – латиницею. Робота містить 34 таблиць, 186 рисунків. У 6 додатках, які розміщено на 41 сторінках наведено допоміжні дані, які не увійшли в основний текст дисертації, та матеріали, що підтверджують впровадження результатів наукових досліджень у навчальний процес та виробництво.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БІОЕНЕРГЕТИКИ ТА МІСЦЕ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР У ФОРМУВАННІ СТАЛОЇ СИРОВИННОЇ БАЗИ (огляд літературних джерел)

У розділі наведено аналіз результатів досліджень вітчизняних і закордонних авторів щодо стану і перспектив розвитку біоенергетики в Україні та світі, а також проаналізовано цілі, які Україна зобов'язалася досягти відповідно до міжнародних кліматичних угод. Відзначено пріоритетність розвитку галузі біоенергетики як найбільш дієвого чинника для пом'якшення негативних змін клімату.

Акцентовано увагу на тому, що за рахунок високої продуктивності та якості біомаси цукроносні культури посідають провідне місце у формуванні сировинної бази для виробництва різних видів біопалива. Водночас проведений аналіз літературних джерел свідчить про відсутність системної інформації щодо ефективності вирощування цукроносних культур (сорго цукрового та буряків цукрових) для біопалива. Недостатньо вивчені особливості формування енергетичної продуктивності цукроносних культур залежно від їх сортового асортименту, доз добрив, строків сівби насіння та збирання біомаси. Потребують удосконалення елементи технологій вирощування сорго цукрового та буряків цукрових на енергетичні цілі у різних частинах Лісостепу України.

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження виконувалися впродовж 2011-2020 рр. на дослідних ділянках Білоцерківської, Веселоподільської, Іванівської та Ялтушківської дослідно-селекційних станцій Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, розташованих у зоні нестійкого і недостатнього зволоження західної, центральної та східної частини Лісостепу України. Погодні умови в роки проведення досліджень були переважно сприятливими для росту і розвитку цукроносних культур. Окремі роки за величиною гідротермічного коефіцієнта значно відрізнялися від середніх багаторічних, проте в цілому ГТК становив 0,91 (табл. 1), що свідчить про стійке підвищення середньодобової температури повітря на фоні зменшення кількості опадів у всіх підзонах проведення досліджень.

Таблиця 1

Гідротермічний коефіцієнт Селянінова у роки проведення досліджень

Дослідно-селекційна станція	Рік проведення досліджень										Середнє значення
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Білоцерківська	1,39	0,75	1,56	1,57	0,47	0,65	0,62	0,87	0,86	0,83	0,96
Веселоподільська	0,92	0,78	0,92	1,02	0,83	1,21	0,58	0,68	0,67	0,95	0,86
Іванівська	0,92	0,87	0,81	1,39	1,33	1,05	0,62	0,61	0,59	0,91	0,91
Ялтушківська	0,57	0,82	1,38	1,32	0,56	0,60	0,51	0,96	1,33	0,94	0,90

Дослідне поле Білоцерківської ДСС розміщене на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому з вмістом гумусу в орному шарі 3,9 %. Реакція ґрунтового розчину – близька до нейтральної (рН сольової витяжки становить 6,4). Ємність поглинання коливається від 24,8 до 25,4 мг-екв./100 г ґрунту, насиченість поглинаючого комплексу – 82-87 %. Лужногідролізованого азоту в орному шарі ґрунту – 124 мг (за Корнфільдом); рухомого фосфору – 160 мг та калію – 96 мг (за Чиріковим) на 1 кг ґрунту.

Ґрунт дослідного поля Веселоподільської ДСС – чорнозем типовий слабкосолонцюватий середньосуглинковий, з наступною агрохімічною та фізико-хімічною характеристикою орного (0-30 см) шару: рН сольове – 7,4-7,6; сума увібраних основ – 40 мг-екв. на 100 г ґрунту; загальний вміст гумусу за Тюрніним – 4,8-5,1 %; рухомий фосфор і калій за Мачигініним – відповідно 25-50 та 90-130 мг/кг ґрунту; лужногідролізований азот за Корнфілдом – 110-115 мг/кг ґрунту.

Ґрунт дослідної ділянки (Іванівська ДСС) – чорнозем типовий слабкосолонцюватий важкосуглинковий, агрохімічні показники орного (0-30 см) шару становлять: рН водне – 7,2-7,4; вміст гумусу за Тюрніним – 4,5-4,7 %; лужногідролізованого азоту – 180 мг/кг ґрунту; вміст P_2O_5 і K_2O за Мачигініним – відповідно 19-20 та 100-110 мг/кг ґрунту, ємкість поглинання обмінних катіонів – 26-31 мг-екв. на 100 г ґрунту. Ґрунтові води знаходяться на глибині 15-20 м, тому польові культури використовують для свого росту вологу, що накопичується в ґрунті за рахунок атмосферних опадів.

Ґрунт Ялтушківської ДСС – сірий лісовий легкосуглинковий, з такими агрохімічними характеристиками орного (0-30 см) шару: вміст гумусу (за Тюрніним) – 1,86 %; лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 63,0 мг/кг рухомого фосфору та калію (за Чиріковим) – відповідно 109 та 119 мг/кг ґрунту, рН сольове – 5,3; гідролітична кислотність (за Каппеном) – 2,9 мг-екв./100 г ґрунту; сума увібраних основ – 22,4 мг-екв./100 г ґрунту; ступінь насичення основами – 80-83 %.

Дослід 1. Встановити вплив сортових особливостей, доз внесення мінеральних добрив і строків сівби насіння сорго цукрового на його продуктивність та вихід біопалива. Дослід проводився за трифакторною схемою впродовж 2011-2015 рр. у зонах нестійкого зволоження західного, центрального і східного Лісостепу України, а також у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України. Площа посівної ділянки 50 м², облікової – 30 м². Загальна площа дослідів на кожній станції – 0,36 га. Повторюваність дослідів – чотириразова.

Фактор А Сортові особливості	Фактор В Дози добрив	Фактор С Строки сівби
‘Силосне 42’; ‘Фаворит’; ‘Медовий F1’; ‘Мамонт’	без добрив; N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ ; N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	ІІІ декада квітня; І декада травня; ІІ декада травня

Дослід 2. Визначити вплив сортових особливостей, доз мінеральних добрив та густоти стояння рослин на ріст і розвиток буряків цукрових для виробництва біопалива. Дослід проводився за трифакторною схемою впродовж 2013-2015 рр. у зонах нестійкого зволоження західного, центрального і східного Лісостепу України, а також у зоні недостатнього зволоження східного Лісостепу України. Площа посівної ділянки 50 м², облікової – 40 м². Загальна площа дослідів на кожній станції – 0,3 га. Повторюваність дослідів – чотириразова.

Фактор А Гібриди	Фактор В Дози добрив	Фактор С Густота рослин
‘Константа’; ‘Ворскла’; ‘Булава’; ‘Шевченківський’	без добрив; N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀ ; N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	70 тис. шт./га; 100 тис. шт./га; 130 тис. шт./га

Дослід 3. Формування продуктивності буряків цукрових залежно від сортових особливостей та строків збирання біомаси. Дослід проводився за двофакторною схемою впродовж 2016-2018 рр. у зоні нестійкого зволоження західного і центрального Лісостепу України. Площа посівної ділянки 54 м², облікової – 40 м². Повторюваність дослідів – чотириразова. Загальна площа дослідів – 0,26 га.

Фактор А Гібрид		Фактор В
Ялтушківська ДСС	Білоцерківська ДСС	Строки збирання
‘Булава’; ‘Герой’; ‘Козак’	‘Булава’; ‘Злука’; ‘Константа’	І декада вересня; ІІ декада вересня; ІІІ декада вересня; І декада жовтня

Дослід 4. Встановити залежність продуктивності сорго цукрового від сортових особливостей та строків і способів збирання біомаси. Дослід проводився за двофакторною схемою впродовж 2016-2020 рр. у зонах нестійкого зволоження західного, центрального і східного Лісостепу України, а також у зоні недостатнього зволоження східного Лісостепу України. Площа посівної ділянки 54 м², облікової – 28,8 м². Повторність дослідів – чотириразова. Загальна площа дослідів – 0,37 га.

Фактор А Сортові особливості	Фактор В Строки та способи збирання
‘Силосне 42’; ‘Довіста’; ‘Медовий F1’; ‘Фаворит’	І декада серпня + І декада жовтня; ІІІ декада серпня; ІІ декада вересня; І декада жовтня

Дослід 5. Вивчити вплив особливостей сорту, фаз розвитку рослин і способу підготовки стебел сорго цукрового на кількісні та якісні показники соку. Дослід проводився впродовж 2011-2014 рр. у лабораторних умовах у відділі технологій вирощування біоенергетичних культур ІБКіЦБ НААН за трифакторною схемою.

Фактор А Сортові особливості	Фактор В Фази розвитку рослин	Фактор С Спосіб підготовки стебел
‘Силосне 42’, ‘Зубр’, ‘Медовий F1’, ‘Мамонт’, ‘Буйвіл’, ‘Нектарний’	Цвітіння; Повної стиглості	Різані стебла (30-50 мм); Подрібнені стебла (0,1-0,5 мм)

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин на дослідних ділянках здійснювалися згідно з Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні; обліки та спостереження за рослинами – відповідно до Методики державної науково-технічної експертизи сортів рослин. Вихід біопалива та енергії розраховували відповідно до розроблених та затверджених методичних рекомендацій. Отримані експериментальні дані обробляли статистично з використанням дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів. Екологічну пластичність та стабільність досліджуваних сортів і гібридів цукроносних культур оцінювали за моделлю Ебергарта-Рассела. Економічну та енергетичну оцінку проводили згідно з технологічними картами за Методикою Інституту аграрної економіки НААН та методикою О.К. Медведовського.

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР

Розроблено методичні основи для проведення оцінки енергетичного потенціалу різних сортів і гібридів цукроносних культур та елементів технології їх вирощування шляхом розрахунку виходу біоетанолу, біогазу та твердого біопалива, а також енергії з одиниці площі посівів.

В основу розрахунку виходу біоетанолу з цукроносних культур покладено формулу спиртового бродіння, згідно з якою вихід етилового спирту з 1 кг сахарози становить 0,53 кг. З огляду на це, кількість біоетанолу, яку можна отримати з 1 га посівів цукроносних культур розраховується за формулами:

Сорго
цукрове:
$$M_{\text{сорго}} = \frac{U_{\text{ст}} \cdot n \cdot S \cdot b \cdot k}{100},$$

Буряки
цукрові:
$$M_{\text{буряки}} = \frac{U_{\text{кор}} \cdot S \cdot b \cdot k}{100}$$

де $M_{\text{сорго}}$ та $M_{\text{буряки}}$ – вихід біоетанолу з 1 га посівів сорго цукрового та буряків цукрових, відповідно, т/га;

$U_{\text{ст}}$ та $U_{\text{кор}}$ – урожайність стебел та коренеплодів, відповідно, т/га;

n – коефіцієнт виходу соку, $n=0,5$;

S – цукристість, %;

b – коефіцієнт виходу біоетанолу з сахарози, $b=0,53$;

k – коефіцієнт заводського виходу, $k=0,9$.

Отже, вихід біоетанолу з 1 га посівів сорго цукрового та буряків цукрових залежить від врожайності біомаси та вмісту у ній цукрів (рис. 1).

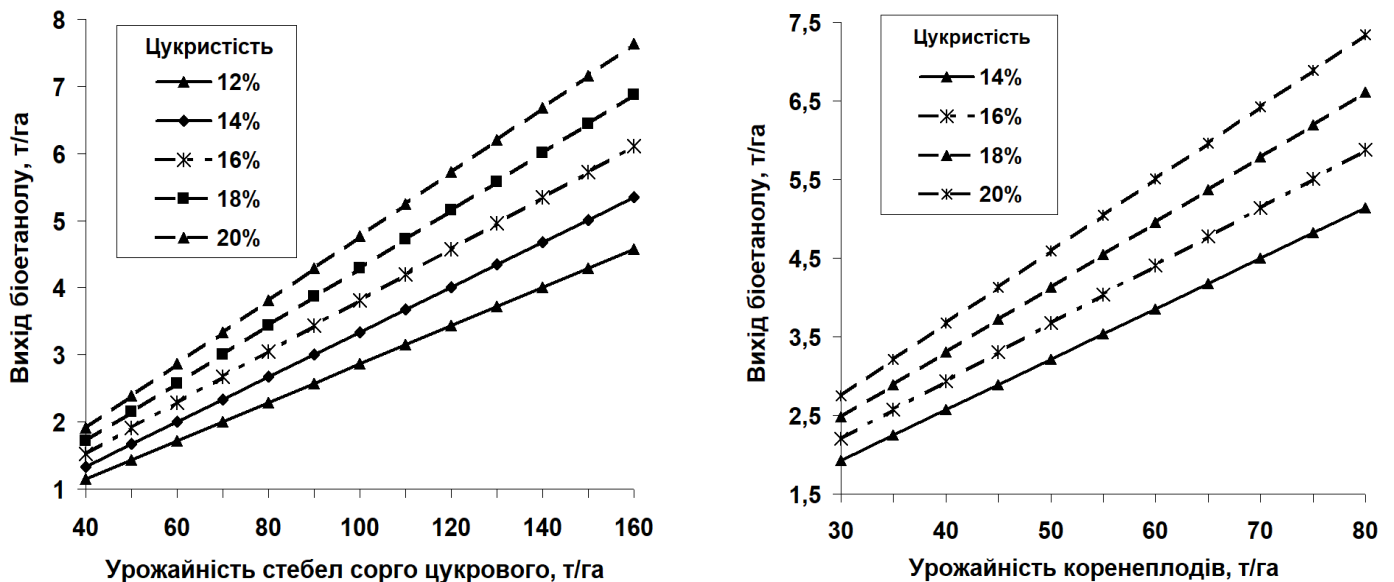


Рис. 1. Залежність виходу біоетанолу від показників продуктивності цукроносних культур

Для розрахунку виходу біогазу з біомаси приймаємо, що з 1 кг сухої речовини цукроносних культур можна отримати близько 0,7 м³ біогазу з вмістом метану 60 %, при цьому для виробництва біогазу використовуються як коренеплоди, так і гичка буряків цукрових:

Сорго
цукрове:

$$F_{\text{сорго}} = \frac{U_{\text{сорго}} Q_{\text{сорго}} q}{100},$$

Буряки
цукрові:

$$F_{\text{буряки}} = \frac{U_{\text{кор}} Q_{\text{кор}} + U_{\text{гич}} Q_{\text{гич}}}{100} q$$

де $F_{\text{сорго}}$ та $F_{\text{буряки}}$ – вихід біогазу з 1 га посівів сорго цукрового та буряків цукрових, тис.м³/га;

$U_{\text{сорго}}$, $U_{\text{кор}}$ та $U_{\text{гич}}$ – урожайність сорго цукрового, коренеплодів та гички буряків цукрових, відповідно, т/га;

$Q_{\text{сорго}}$, $Q_{\text{кор}}$, $Q_{\text{гич}}$ – вміст сухої речовини у біомасі відповідно сорго цукрового, коренеплодах та гичці буряків цукрових, %;

q – вихід біогазу з 1 кг сухої речовини ($q=0,7$ м³/кг).

Таким чином, вихід біогазу з 1 га посівів цукроносних культур залежить від врожайності біомаси та вмісту у ній сухої речовини (рис. 2).

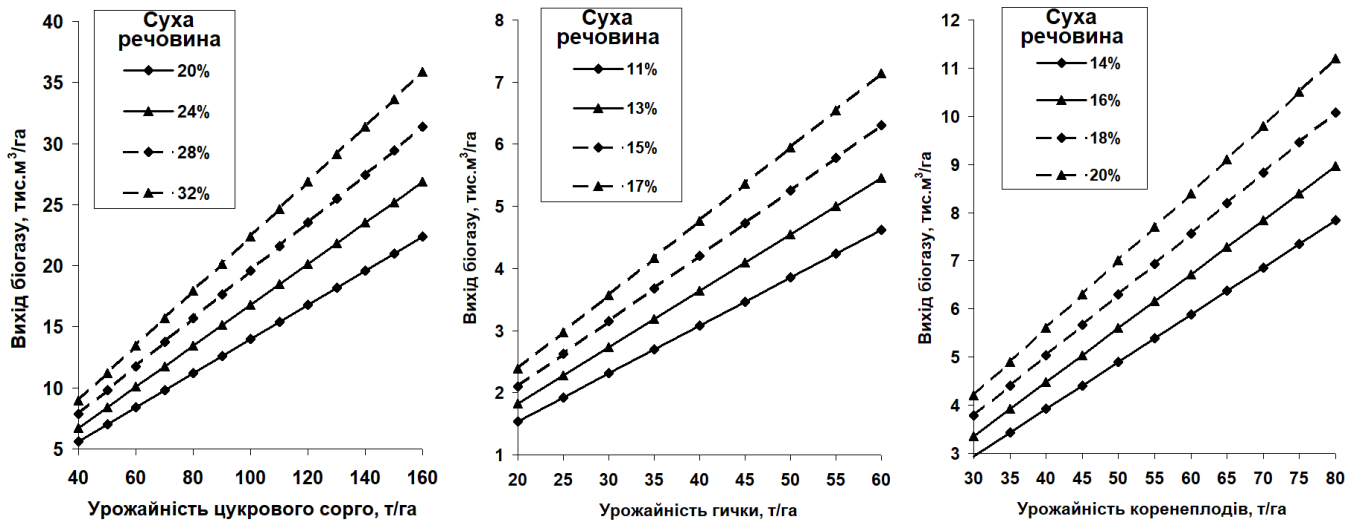


Рис. 2. Залежність виходу біогазу від показників продуктивності цукроносних культур

Після видалення соку сухі стебла сорго цукрового використовуються для виробництва твердого біопалива, вихід якого можна розрахувати за формулою:

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

де T – вихід твердого біопалива, т/га;

U – врожайність зеленої біомаси стебел сорго цукрового, т/га;

c – суха речовина біомаси стебел, %;

w – вологість твердого біопалива, %.

Енергетичний потенціал цукроносних культур визначається як добуток виходу відповідного біопалива на його питому теплотворну здатність, яка для біоетанолу становить 25 МДж/кг; біогазу (вміст біометану 60 %) – 21,5 МДж/м³; твердого біопалива (вологість 10 %, зольність 1 %) – 16,5 МДж/кг.

АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР

Розроблено методику визначення площі листової поверхні, яка полягає у скануванні листової пластини рослин сорго цукрового на планшетному сканері та опрацюванні отриманих графічних файлів за допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє проводити вимірювання з точністю до 0,25 мм². Встановлено, що для рослин сорго цукрового характерна слабка кореляційна залежність між його геометричними розмірами, водночас найвище значення коефіцієнта кореляції відзначалося між площею листової поверхні та добутком довжини на ширину листка ($r=0,976-0,995$). Розраховано уточнені перевідні коефіцієнти для розрахункового методу визначення площі листової поверхні окремих сортів і гібридів (табл. 2).

Оцінка істотності перевідних коефіцієнтів для визначення площі листка

Сорт і гібрид сорго цукрового	Перевідний коефіцієнт, k	Стандартна помилка, S_k	Критерій істотності, $t_k (t_{0,05}=1,98)$
‘Медовий F1’	0,736	0,016	45,3
‘Фаворит’	0,753	0,012	65,0
‘Силосне 42’	0,749	0,015	49,7
‘Бізон’	0,751	0,015	50,8
‘Зубр’	0,755	0,008	98,4
‘Мамонт’	0,760	0,012	65,6
‘Нектарний’	0,738	0,013	55,7

Розрахунковий метод визначення площі листової поверхні для рослин сорго цукрового з використанням уточнених перевідних коефіцієнтів є точніший, порівняно з ваговим методом «висічок».

На основі стохастичного моделювання розроблено методику розрахунку середнього діаметра коренеплодів і прогнозування їх фракційного складу з урахуванням врожайності та густоти стояння рослин, що дозволяє керувати процесом формування енергетичної продуктивності буряків цукрових.

Розглянувши модель коренеплоду буряка цукрового як геометричної фігури, що складається з конуса та півсфери (рис. 3) встановлено, що середній діаметр коренеплоду (D , см) можна визначити за формулою:

$$D = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{24 \cdot Y \cdot k}{G \cdot \pi \cdot \rho \cdot (2 + k)}}$$

де Y – врожайність коренеплодів, т/га;
 G – густота стояння рослин, тис.шт./га;
 ρ – щільність тіла коренеплоду, г/см³;
 k – індекс форми коренеплоду, $k = D/L$.

Таким чином, зі збільшенням урожайності коренеплодів та зменшенням густоти їх стояння середній діаметр коренеплоду буряків цукрових зростає (рис. 4).

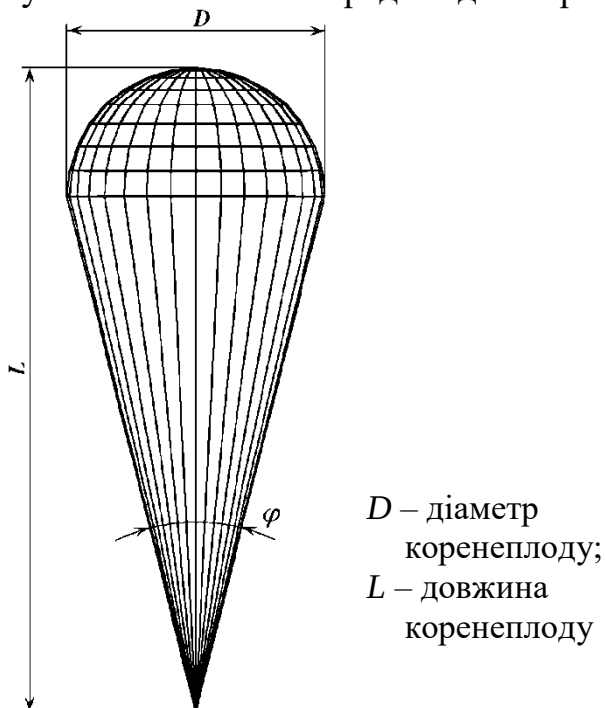


Рис. 3. Модель тіла коренеплоду

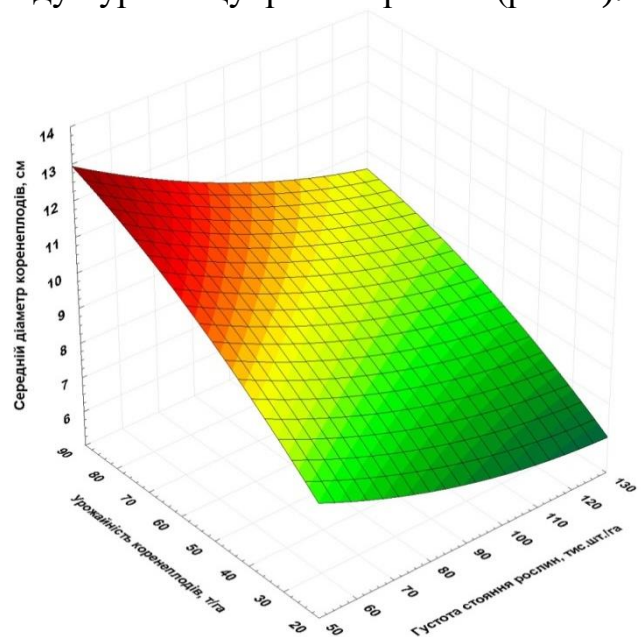


Рис. 4. Залежність середнього діаметра коренеплоду від врожайності та густоти стояння рослин буряків цукрових

За допомогою стохастичного моделювання, на основі гіпотези про нормальний закон розподілу коренеплодів за їх діаметром розроблено методику прогнозування фракційного складу коренеплодів залежно від біологічної врожайності та густоти стояння рослин.

ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ СОРТУ, СТРОКІВ СІВБИ НАСІННЯ ТА ДОЗ ДОБРИВ

У центральній частині Лісостепу України врожайність зеленої біомаси сорго цукрового найбільшою мірою залежить від погодних умов (39,0 %) та доз мінеральних добрив (38,8 %). Водночас ступінь впливу сортових особливостей і строків сівби насіння виявився значно меншим і становив відповідно 3,0 та 4,5 %. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ дозволило збільшити врожайність зеленої біомаси сорго цукрового на 24,9 т/га (рис. 5). За вирощування гібрида ‘Медовий F1’ урожайність зеленої біомаси збільшується на 6,6 т/га, цукристість соку – на 1,3 %, вихід біоетанолу – на 0,5 т/га порівняно з сортом ‘Силосне 42’. За сівби насіння сорго цукрового у третій декаді квітня зменшується врожайність зеленої біомаси на 6,6–9,6 т/га (рис. 6) порівняно з оптимальними строками (I–II декади травня).

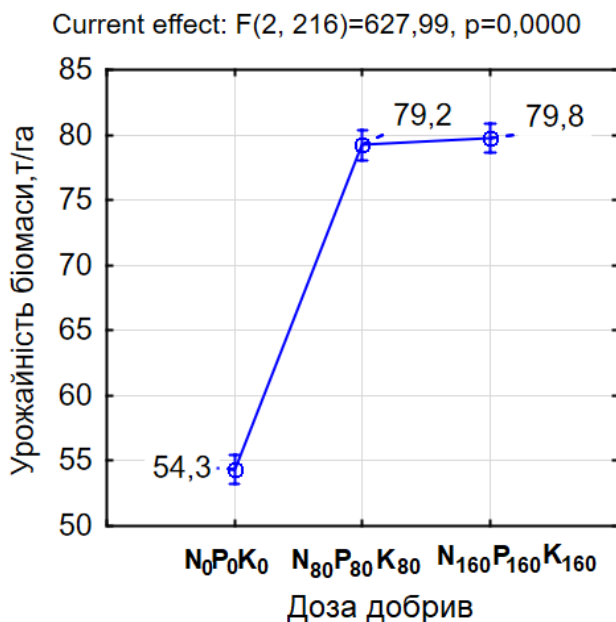


Рис. 5. Залежність врожайності біомаси сорго цукрового від доз добрив (БЦ ДСС, 2013-2015 рр.)

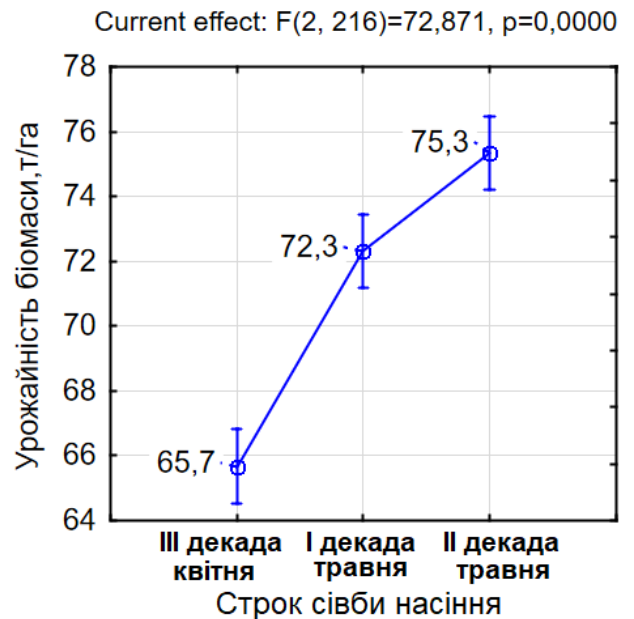


Рис. 6. Залежність врожайності біомаси сорго цукрового від строків сівби насіння (БЦ ДСС, 2013-2015 рр.)

Зі збільшенням дози добрив цукристість соку зростала незалежно від сортових особливостей та строків сівби насіння (рис. 7). Середній за дослідом вміст цукрів у соку сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ становив 15,3 %, у соку сорту ‘Силосне 42’ – 14,0 %. Простежувалася тенденція до збільшення цукристості соку сорту ‘Силосне 42’ за сівби насіння у першій декаді травня, у гібрида ‘Медовий F1’ – у другій декаді травня.

У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України врожайність зеленої біомаси залежить від сортових особливостей сорго цукрового (36,5 %), строків сівби насіння (12,1 %) та строків збирання врожаю (12,2 %) (рис. 8).



Рис. 7. Залежність цукристості соку сорго цукрового від сортових особливостей, строків сівби насіння та доз добрив (БЦ ДСС, 2013-2015 рр.):

1 – без добрив; 2 – $N_{80}P_{80}K_{80}$; 3 – $N_{160}P_{160}K_{160}$

Найбільший вплив на варіювання цукристості соку чинили строки збирання біомаси (68,1 %). Вплив строків сівби насіння, погодних умов та сортових особливостей виявився значно меншим і становив відповідно 2,7; 2,3 та 1,0 % (рис. 9).

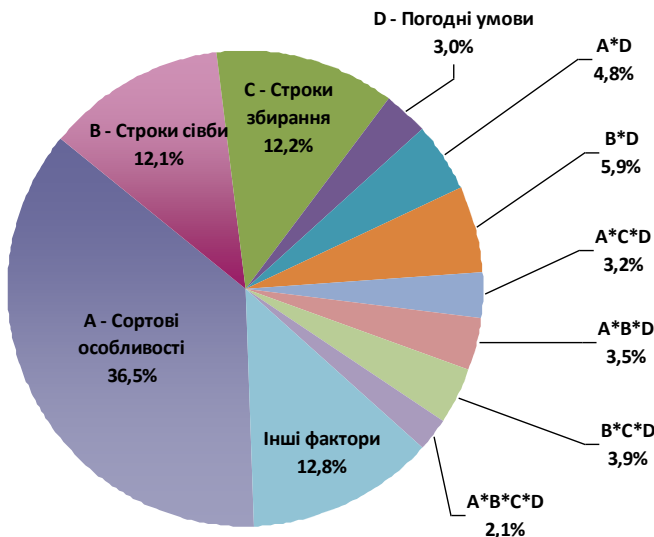


Рис. 8. Вплив факторів дослідів на врожайність зеленої біомаси сорго цукрового (ВП ДСС, 2011-2015 рр.)

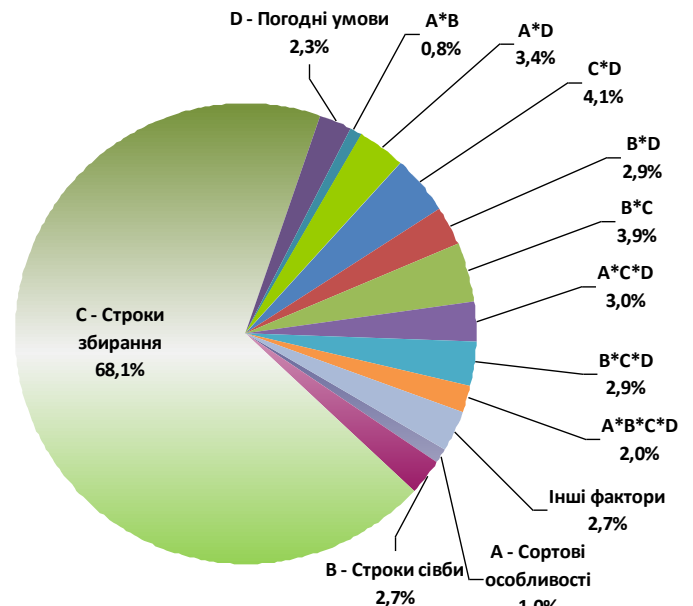


Рис. 9. Вплив факторів дослідів на цукристість соку сорго цукрового (ВП ДСС, 2011-2015 рр.)

Незважаючи на те, що сорго цукрове теплолюбна культура, перенесення строків сівби його насіння на більш пізній час у зоні недостатнього зволоження призводить до істотного зменшення врожайності зеленої біомаси (рис. 10). Скорочення термінів вегетації за рахунок ранніх строків збирання негативно впливало на врожайність. Найбільша урожайність зеленої біомаси досягається за пізніх строків збирання (I декада вересня) і становить для сорту 'Силосне 42' – 76,7 т/га, для гібрида 'Мамонт' – 98,5 т/га. Середня за роки досліджень врожайність зеленої біомаси гібрида 'Мамонт' була на 27,8 % вищою, ніж сорту 'Силосне 42'.

В умовах нестійкого зволоження східного Лісостепу України, встановлено тісну нелінійну залежність між площею листової поверхні на одній рослині та діаметром стебла (рис. 11).

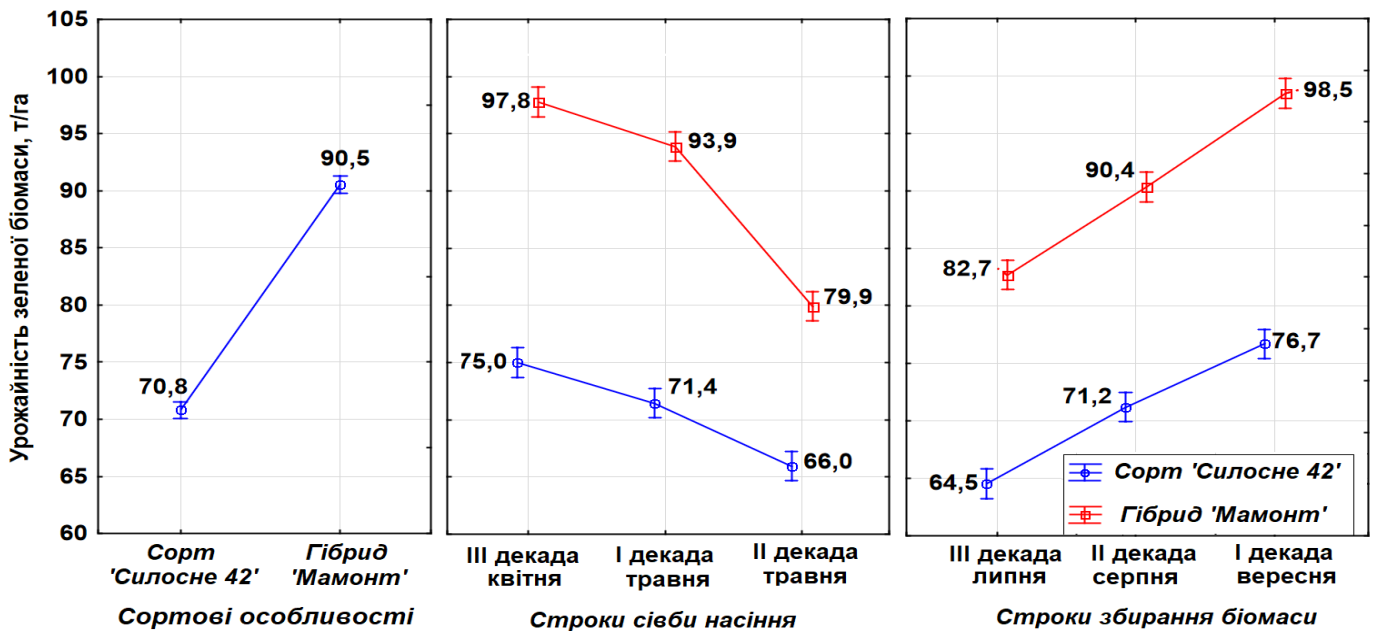


Рис. 10. Вплив сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання на врожайність зеленої біомаси сорго цукрового (ВП ДСС, 2011-2015 рр.)

Коефіцієнт кореляції для рослин сорго цукрового сортів 'Силосне 42' та 'Фаворит' становить відповідно $R=0,8623\pm0,061$ та $R=0,8954\pm0,053$. Криволінійна залежність має логарифмічний характер і описується рівняннями: для сортів 'Силосне 42': $y=1142,9\ln(x)+1262,6$; 'Фаворит': $y=1472,5\ln(x)+1328,1$. Обидві залежності істотні за критерієм Стьюдента ($t_{\phi} > t_{0,05}$).

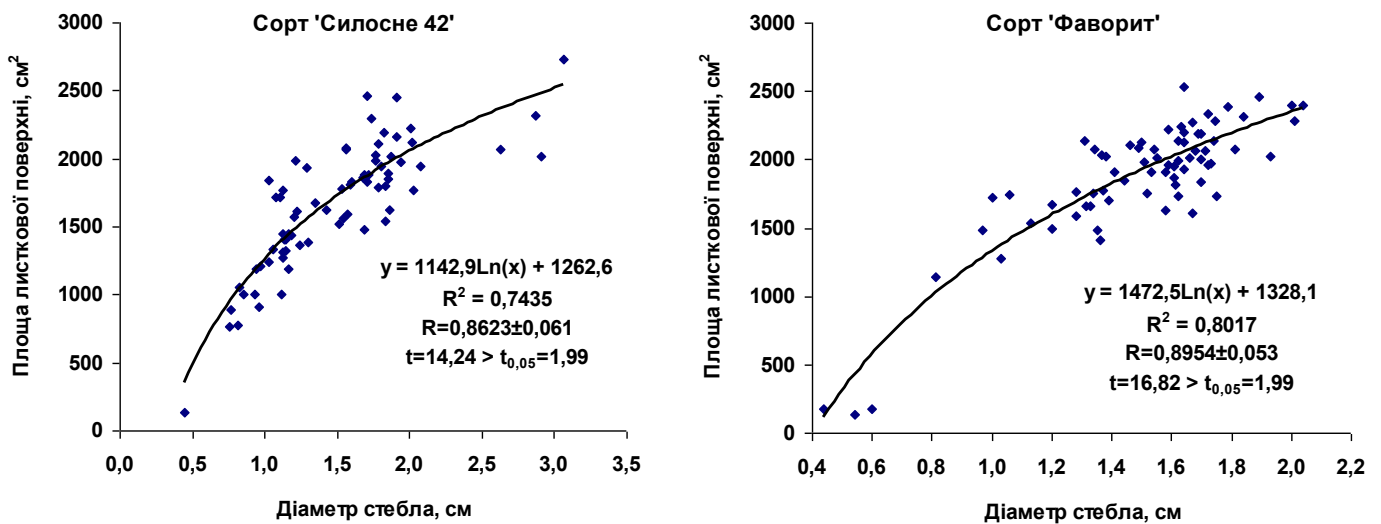


Рис. 11. Залежність площі листкової поверхні рослин сорго цукрового від діаметра стебла (І ДСС, 2013-2015 рр.)

Встановлено, що рослини сорго цукрового активно нарощують площу листкової поверхні до початку фази викидання волоті (ВВСН 51), після якої активна площа листя зменшується і на кінець фази повної стиглості (ВВСН 89) процес фотосинтезу припиняється. Застосування мінеральних добрив сприяє інтенсивнішому приросту площі листкової поверхні, що створює передумови для більш стрімкого формування енергетично корисних речовин. Залежність площі листкової поверхні від тривалості вегетаційного періоду апроксимується поліномами другого порядку (рис. 12).

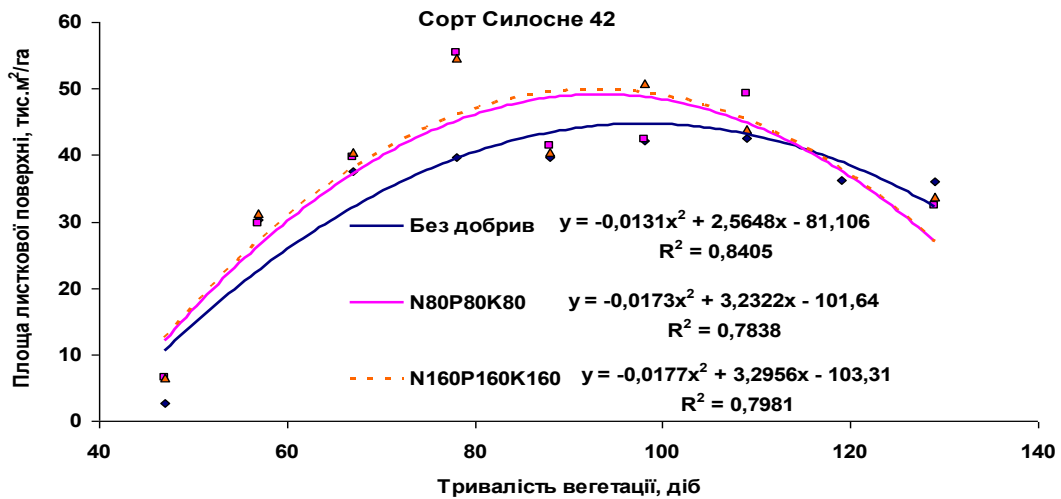


Рис. 12. Залежність площі листкової поверхні сорго цукрового сорту 'Силосне 42' від тривалості періоду вегетації (І ДСС, 2013-2015 рр.)

За вирощування сорго цукрового на малопродуктивних землях зі збільшенням дози мінеральних добрив істотно підвищувалася врожайність біомаси, вміст сухої речовини коливався в межах від 21,4 до 22,4 %, цукристість соку – від 13,0 до 14,0 %. Найбільший вихід біоетанолу отримано за сівби насіння у другій декаді травня на фоні внесення максимальної дози добрив (рис. 13).

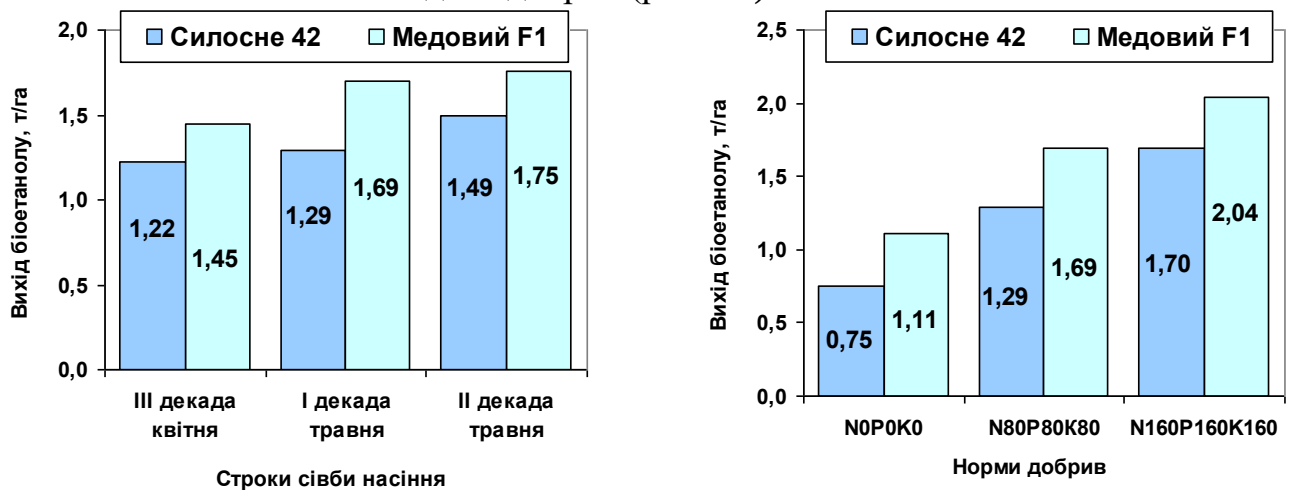


Рис. 13. Вихід біоетанолу з сорго цукрового залежно від сортових особливостей, строків сівби та доз добрив (Я ДСС, 2011-2015 рр.)

Таким чином, процес формування енергетичної продуктивності рослин сорго цукрового залежить як від параметрів технологічних процесів, так і від ґрунтово-кліматичних умов вирощування рослин.

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ

Для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України максимальна врожайність коренеплодів буряків цукрових сорту 'Білоцерківський однасінний 45' (49,0 т/га) та гібрида 'Олександрія' (53,1 т/га) досягається за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Найбільшої цукристості досягнуто на варіанті з густотою стояння рослин 150 тис. шт./га. Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу, біогазу та енергії отримано за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га (табл. 3).

Продуктивність буряків цукрових і вихід біопалива та енергії залежно від густоти стояння рослин (БЦ ДСС, 2010-2012 рр).

Показник	‘Білоцерківський однонасінний 45’			‘Олександрія’		
	Густота стояння рослин, тис.шт./га					
	70	110	150	70	110	150
Урожайність коренеплодів, т/га	38,4	49,0	42,7	43,0	53,1	48,1
Урожайність гички, т/га	13,4	23,1	25,1	13,4	19,8	23,2
Цукристість коренеплодів, %	15,7	17,4	17,9	15,2	16,3	17,2
Вихід біоетанолу з коренеплодів, кг/га	2765	3913	3510	2998	3973	3799
Вихід біогазу з гички, м³/га	1405	2430	2633	1411	2079	2432
Вихід енергії з коренеплодів, ГДж/га	69,12	97,82	87,75	74,94	99,33	94,97
Вихід енергії з гички, ГДж/га	30,64	52,98	57,41	30,76	45,32	53,01
Загальний вихід енергії, ГДж/га	99,76	150,80	145,16	105,71	144,66	147,99

Внесення добрив у дозі $N_{120}P_{150}K_{150}$ забезпечило найбільший вихід енергії з коренеплодів та гички буряків цукрових у разі переробляння їх на біогаз. Водночас динаміка виходу енергії свідчить, що для виробництва біогазу біомасу буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 45’ доцільно збирати від початку вересня, гібрида ‘Олександрія’ – із середини серпня (рис. 14).

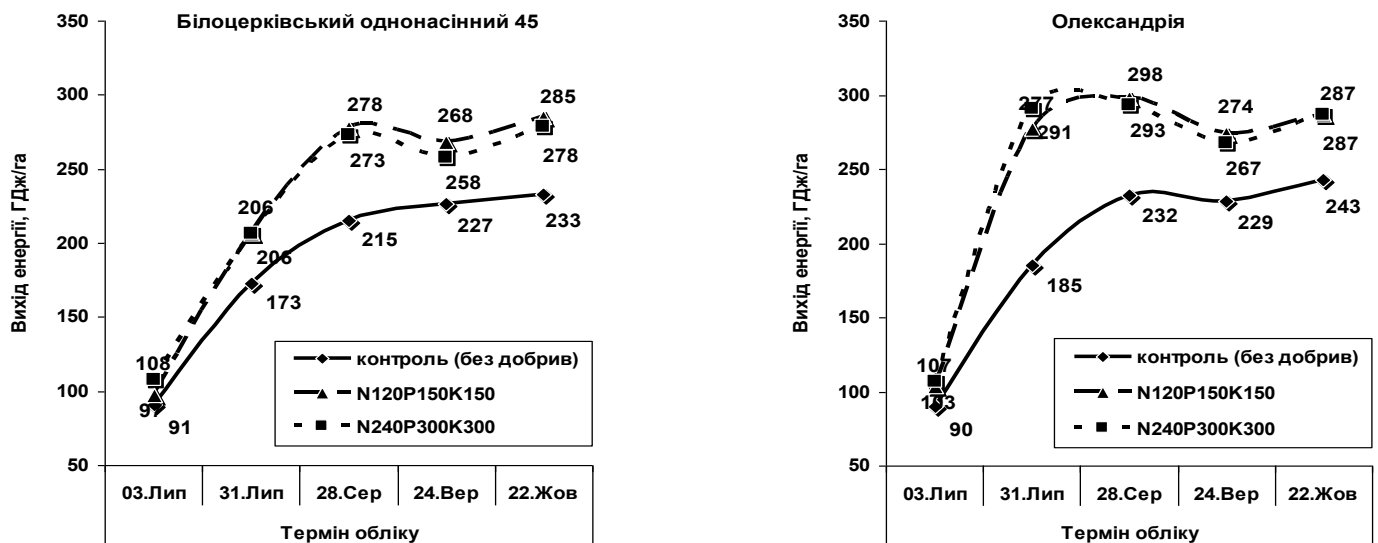


Рис.14. Динаміка накопичення енергії коренеплодами та гичкою буряків цукрових залежно від доз добрив (БЦ ДСС, 2010-2012 рр.)

У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України найвищу врожайність коренеплодів і гички буряків цукрових гібрида ‘Ворскла’ (51,8 та 24,7 т/га відповідно) отримано за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га та дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$. Максимальна у досліді врожайність коренеплодів гібрида ‘Булава’ (53,8 т/га) досягалася за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га на фоні внесення підвищеної дози добрив – $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найвищою цукристість коренеплодів гібрида ‘Ворскла’ (19,0 %) виявилася за дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$, гібрида ‘Булава’ (18,8 %) – за дози добрив $N_{150}P_{100}K_{100}$ та густоти стояння рослин 100 тис. шт./га. Зі збільшенням дози мінеральних добрив вихід біоетанолу і біогазу з буряків цукрових зростав (рис. 15).

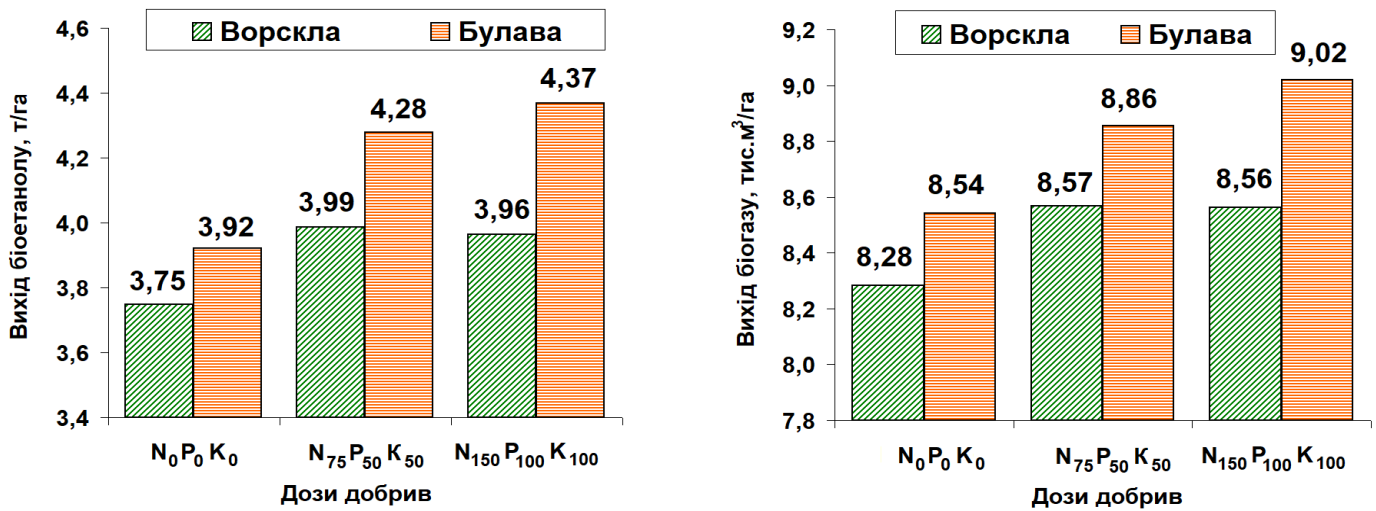


Рис. 15.. Вихід біопалива з буряків цукрових залежно від дози добрив (ВП ДСС, 2013-2015 рр.)

Найбільшої у досліді врожайності коренеплодів буряків цукрових гібридів ІЦБ 0801 (63,2 т/га) та 'Булава' (61,3 т/га) у зоні нестійкого зволоження східного Лісостепу України отримано за густоти стояння рослин 70 тис. шт./га та дози добрив $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найвищі значення цукристості зафіксовано на варіанті без внесення добрив за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га. Зі збільшенням густоти стояння рослин та зменшенням дози добрив урожайність коренеплодів істотно зменшувалася (рис. 16).

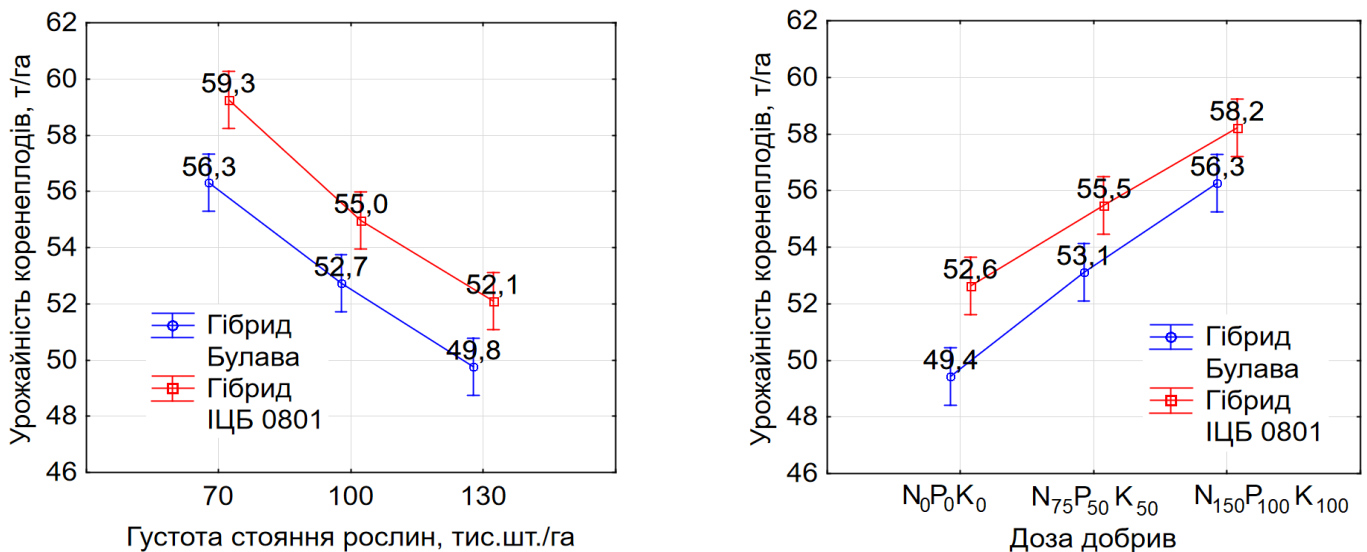


Рис. 16. Урожайність коренеплодів буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та дози добрив (І ДСС, 2013-2015 рр.)

На малопродуктивних ґрунтах Лісостепу України максимальна врожайність буряків цукрових гібридів 'Шевченківський' та 'Булава' досягалася за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га і внесення добрив $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу з коренеплодів буряків цукрових гібридів 'Шевченківський' (3,50 т/га) та 'Булава' (3,97 т/га) отримано за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га (рис. 17). Водночас варіювання врожайності коренеплодів значною мірою залежало від застосування добрив (59,1 %), вплив погодних умов становив 16,6 %, тоді як густоти стояння рослин та особливостей гібридів – 2,3 і 2,2 % відповідно (рис. 18).

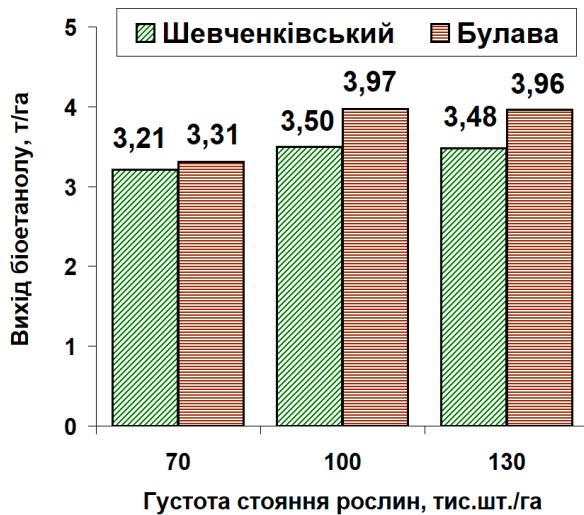


Рис. 17. Вихід біопалива залежно від густоти стояння рослин буряків цукрових (Я ДСС, 2013-2015 рр.)

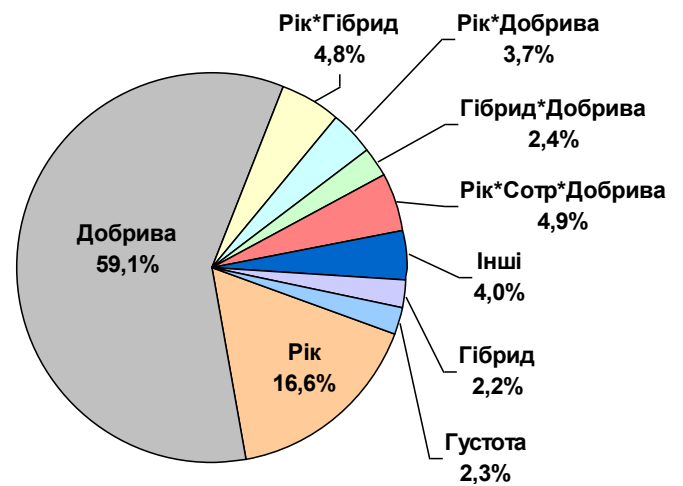


Рис. 18. Вплив досліджуваних факторів на врожайність коренеплодів буряків цукрових (Я ДСС, 2013-2015 рр.)

Отже, на формування енергетичної продуктивності буряків цукрових значний вплив мають біологічні особливості гібридів, дози мінеральних добрив, густота стояння рослин, а також ґрунтово-кліматичні та погодні умови.

АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ

За збирання буряків цукрових гібридів 'Булава', 'Герой' та 'Козак' на початку жовтня у західній частині Лісостепу України врожайність коренеплодів становила відповідно 55,3; 53,1 та 54,2 т/га, за більш ранніх строків збирання – врожайність коренеплодів зменшувалася (рис. 19).

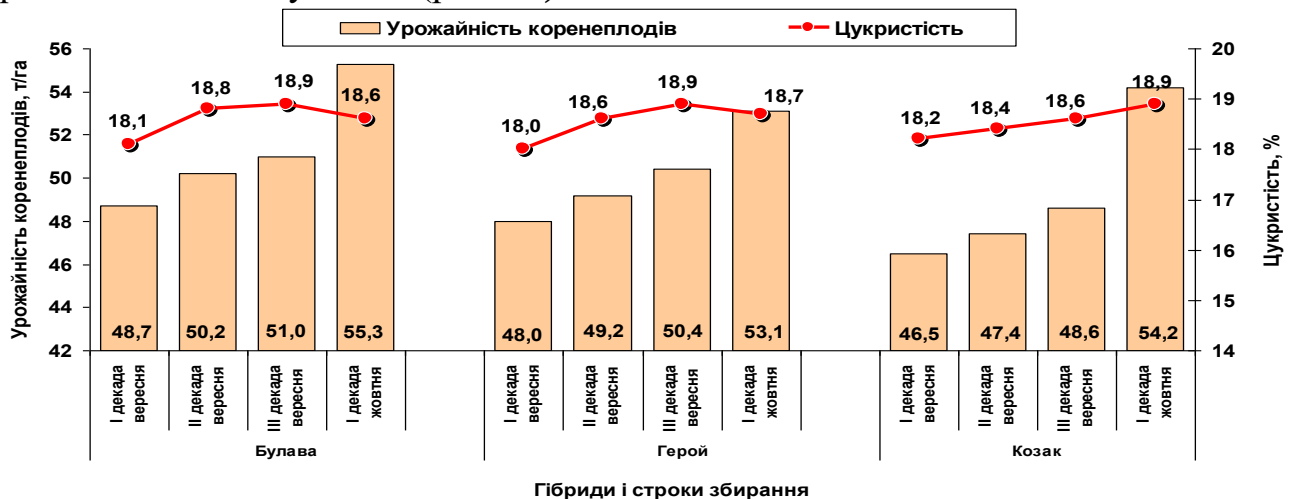


Рис. 19. Динаміка урожайності коренеплодів і цукристості буряків цукрових під впливом сортових особливостей та строків збирання біомаси (Я ДСС, 2016-2018 рр.)

Максимальна концентрація цукрів у коренеплодах рослин гібридів 'Булава' та 'Герой' відзначалася у III декаді вересня, гібрида 'Козак' – у I декаді жовтня.

У центральній частині Лісостепу України максимальна врожайність коренеплодів буряків цукрових формувалася на кінець вегетації і становила для гібридів 'Булава', 'Злука' і 'Константа' відповідно 48,9; 53,1 і 56,5 т/га. Водночас залежність урожайності коренеплодів від тривалості періоду вегетації описувалася

логарифмічною функцією (рис. 20). Аналіз динаміка накопичення сухої речовини у коренеплодах свідчить, що максимальне значення цього показника (24,3-25,1 %) спостерігається у I декаді вересня. Залежність сухої речовини від тривалості періоду вегетації рослин апроксимується поліномом другого порядку.

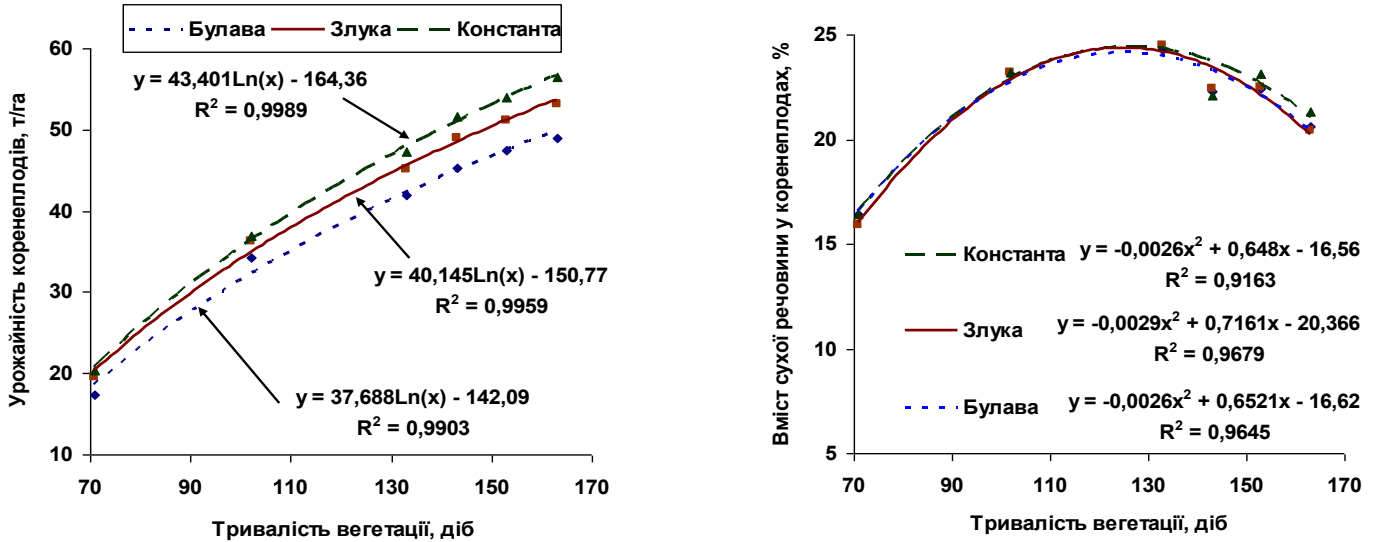


Рис. 20. Динаміка врожайності та вмісту сухої речовини в коренеплодах буряків цукрових (БЦ ДСС, 2016-2018 рр.)

Залежність виходу біоетанолу від тривалості періоду вегетації має лінійний характер і з високою точністю ($R^2 > 0,64$) може бути описана поліномом першого порядку (рис. 21). При цьому найінтенсивніше зростання виходу біоетанолу відбувається у гібрида 'Константа' ($b=0,0147$), дещо поступається перед ним гібрид 'Злука' ($b=0,0077$), останній за згаданим показником – гібрид 'Булава' ($b=0,0053$). Максимальний вихід біогазу з буряків цукрових гібридів 'Булава' (10,3-10,7 тис.м³/га), 'Злука' 11,0-11,4 тис. м³/га) та 'Константа' (11,6-11,9 тис. м³/га) відзначено за збирання біомаси у вересні. Більш ранні та пізні строки збирання призводять до зменшення цього показника.

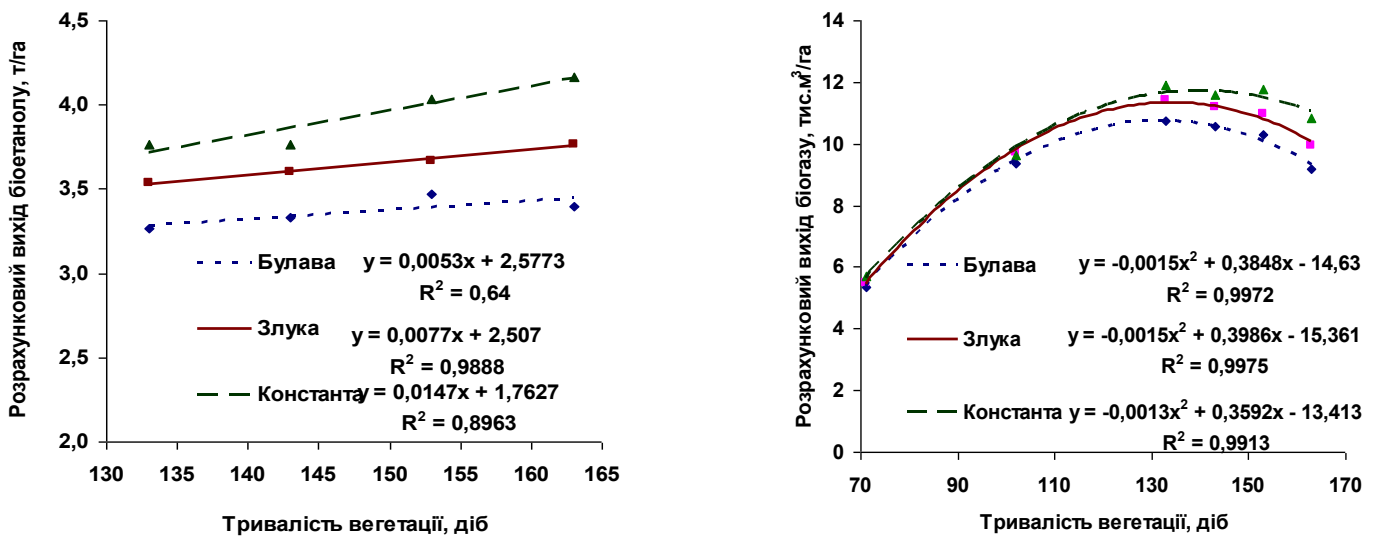


Рис. 21. Динаміка виходу біоетанолу та біогазу з біомаси буряків цукрових (БЦ ДСС, 2016-2018 рр.)

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА СТРОКІВ ЗБИРАННЯ БІОМАСИ

Найбільша врожайність зеленої біомаси і вихід енергії в зоні недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України досягається за вирощування сорго цукрового сорту 'Довіста' (152,5 т/га та 815,8 ГДж/га) і гібрида 'Медовий F1' (132,9 т/га та 732,5 ГДж/га), за умови збирання біомаси у фазі повної стиглості. Попри високий рівень пластичності, сорт 'Фаворит' поступається перед досліджуваними гібридами як за врожайністю зеленої біомаси (до 97,1 т/га), так і за загальним виходом енергії (523,0 ГДж/га). Сорт 'Силосне 42' вирізняється найменшим показником екологічної пластичності за врожайністю зеленої біомаси ($b=0,79$), проте він найстабільніший, що дає змогу отримувати сталий, хоча й невисокий вихід енергії незалежно від погодних умов та рівня агротехніки (табл. 4).

Таблиця 4

Екологічна стабільність і пластичність сортів та гібридів сорго цукрового за врожайністю зеленої біомаси і виходом енергії (ВП ДСС, 2017-2020рр.)

Сорт, гібрид сорго цукрового	Урожайність зеленої біомаси		Сумарний вихід енергії	
	пластичність (b)	стабільність (W)	пластичність (b)	стабільність (W)
'Силосне 42'	0,72	$1,2 \times 10^3$	0,78	$3,5 \times 10^4$
'Довіста'	1,55	$5,2 \times 10^3$	1,25	$7,5 \times 10^4$
'Медовий F1'	0,93	$1,8 \times 10^3$	1,03	$5,5 \times 10^4$
'Фаворит'	0,79	$1,3 \times 10^3$	0,93	$4,1 \times 10^4$

На формування врожаю зеленої біомаси сорго цукрового найбільше впливали погодні умови (40,9 %), менше – строки збирання (20,9 %) та сортові особливості (14,1 %). Проте на вихід енергії найбільший вплив виявляли строки збирання біомаси (44,2 %), тоді як вплив погодних умов (24,9 %) і сортових особливостей (10,0 %) був меншим (рис. 22). Це пояснюється значнішою залежністю виходу енергії від урожайності сухої біомаси, ніж від зеленої.

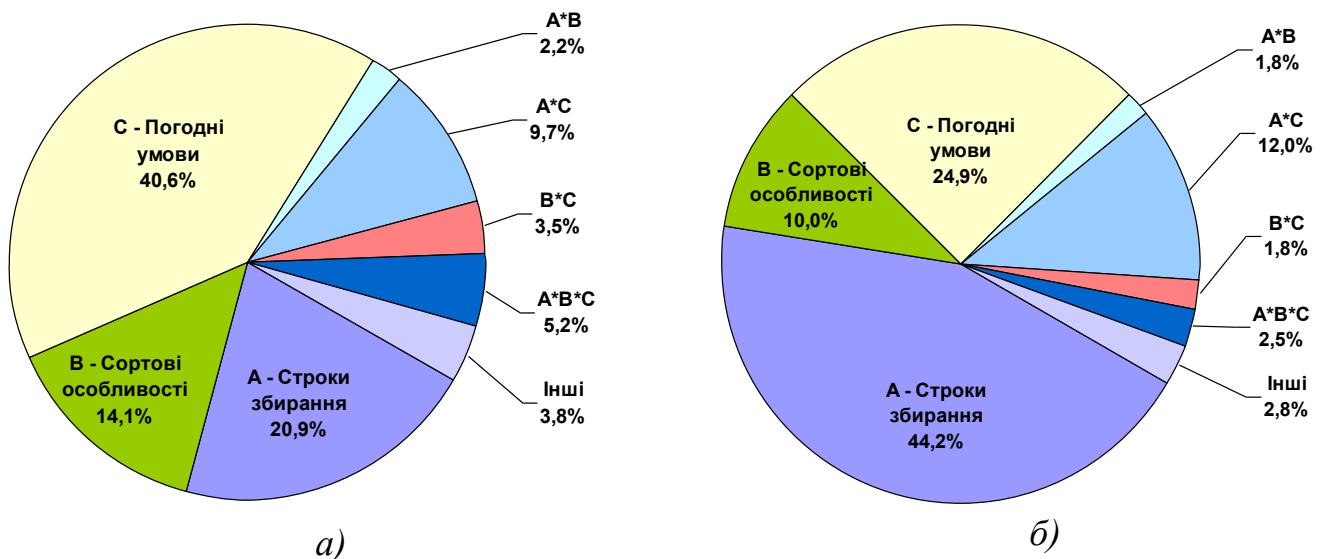


Рис. 22. Вплив досліджуваних чинників на продуктивність сорго цукрового (ВП ДСС, 2017-2020 рр.): а) – урожайність зеленої біомаси; б) – вихід енергії

Для зони нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 646 ГДж/га) отримано з сорго цукрового сорту ‘Довіста’ за збирання його біомаси на початку жовтня (рис. 23). Починаючи з кінця серпня сорт ‘Довіста’ суттєво перевищував за енергетичним потенціалом інші сорти та гібриди. Дворазове збирання сорго цукрового забезпечило збільшення зеленої біомаси, однак за виходом енергії поступалося порівняно з іншими строками збирання.

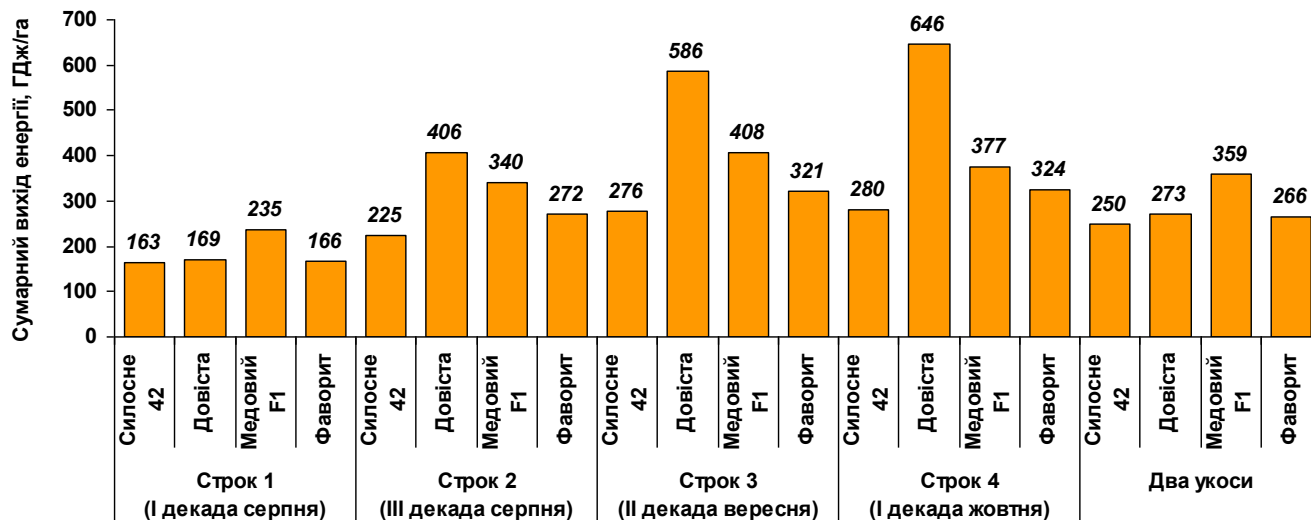


Рис. 23. Розрахунковий вихід енергії з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання (I ДСС, 2016-2020 рр.)

За врожайністю зеленої біомаси найпластичнішим визнано сорт ‘Довіста’ ($b=1,63$). Це свідчить, що згаданому сорту притаманний високий потенціал продуктивності, розкриття якого залежить від сприятливих погодних умов та унормованої агротехніки. Водночас за врожайністю зеленої біомаси сорт ‘Довіста’ виявився найменш стабільним (табл. 5). Показники пластичності інших досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового зафіксовано значно нижчими, і знаходилися в межах від $b=0,76$ (сорт ‘Фаворит’) до $b=0,82$ (гібрид ‘Медовий F1’). За виходом енергії найпластичнішим також визнано сорт ‘Довіста’ ($b=1,60$), менш пластичними були гібрид ‘Медовий F1’ ($b=0,95$) та сорти ‘Фаворит’ ($b=0,82$) і ‘Силосне 42’ ($b=0,64$).

Таблиця 5

Екологічна стабільність і пластичність сортів та гібридів сорго цукрового за врожайністю зеленої біомаси і виходом енергії (ВП ДСС, 2017-2020 рр.)

Сорт, гібрид сорго цукрового	Урожайність зеленої біомаси		Сумарний вихід енергії	
	пластичність (b)	стабільність (W)	пластичність (b)	стабільність (W)
‘Силосне 42’	0,79	$2,2 \times 10^2$	0,64	$5,4 \times 10^3$
‘Довіста’	1,63	$8,9 \times 10^2$	1,60	$2,9 \times 10^4$
‘Медовий F1’	0,82	$2,7 \times 10^2$	0,95	$1,3 \times 10^4$
‘Фаворит’	0,76	$2,6 \times 10^2$	0,82	$8,3 \times 10^3$

У зоні нестійкого зволоження центрального Лісостепу України на формування врожаю зеленої біомаси сорго цукрового найбільшою мірою впливали погодні умови (47,4 %), меншим встановлено вплив сортових особливостей (17,8 %) та строків

збирання (12,8 %). Проте на вихід енергії найбільший вплив чинили строки збирання біомаси (37,4 %), тоді як вплив погодних умов (26,9 %) та сортових особливостей (13,3 %) був меншим (рис. 24). Продуктивність і вихід енергії з різних сортів та гібридів сорго цукрового залежали від погодних умов, про що свідчить значний відсоток від спільної дії цих двох факторів.

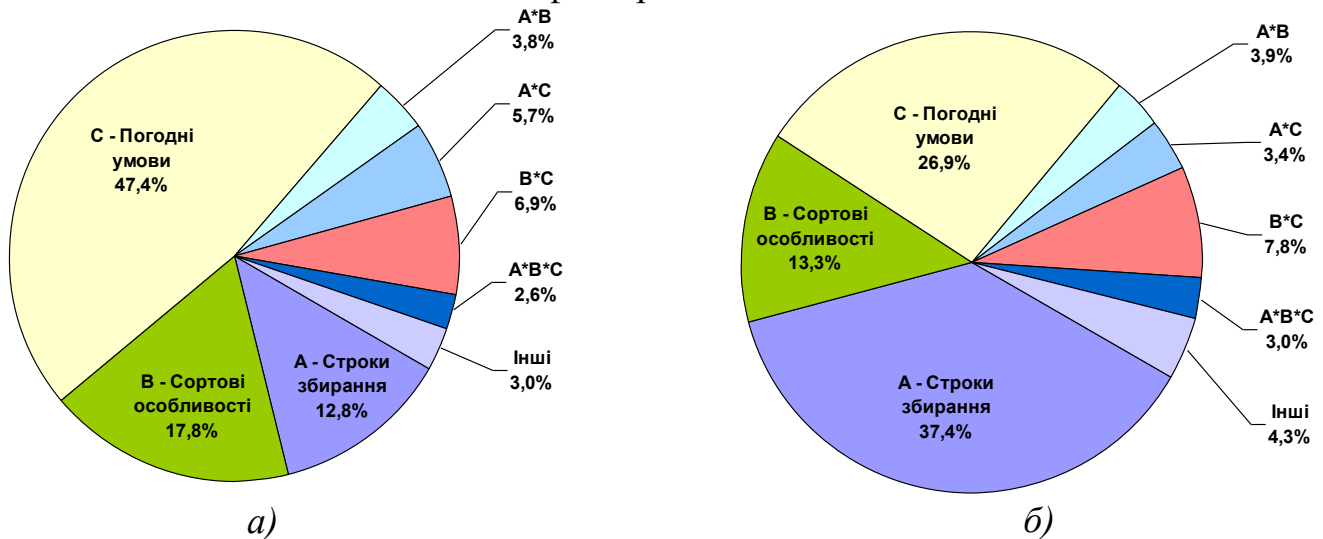


Рис. 24. Вплив досліджуваних чинників на продуктивність сорго цукрового (БЦ ДСС, 2016-2020 рр.): а) – урожайність зеленої біомаси; б) – вихід енергії.

За показниками врожайності зеленої біомаси сорт ‘Довіста’ переважав інші сорти і гібриди сорго цукрового, що вивчалися у досліді. Проте за рівнем екологічної пластичності він поступався перед гібридом ‘Медовий F1’, у якого цей показник становив $b=1,62$ (рис. 25), а у сортів ‘Довіста’, ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ – відповідно $b=0,86$; $b=0,73$ та $b=0,79$. Це свідчить, що для зони центрального Лісостепу України гібрид ‘Медовий F1’ має високий потенціал продуктивності, розкриття якого залежить від сприятливих погодних умов та високої агротехніки. Водночас за врожайністю зеленої біомаси гібрид ‘Медовий F1’ виявився найменш стабільним.

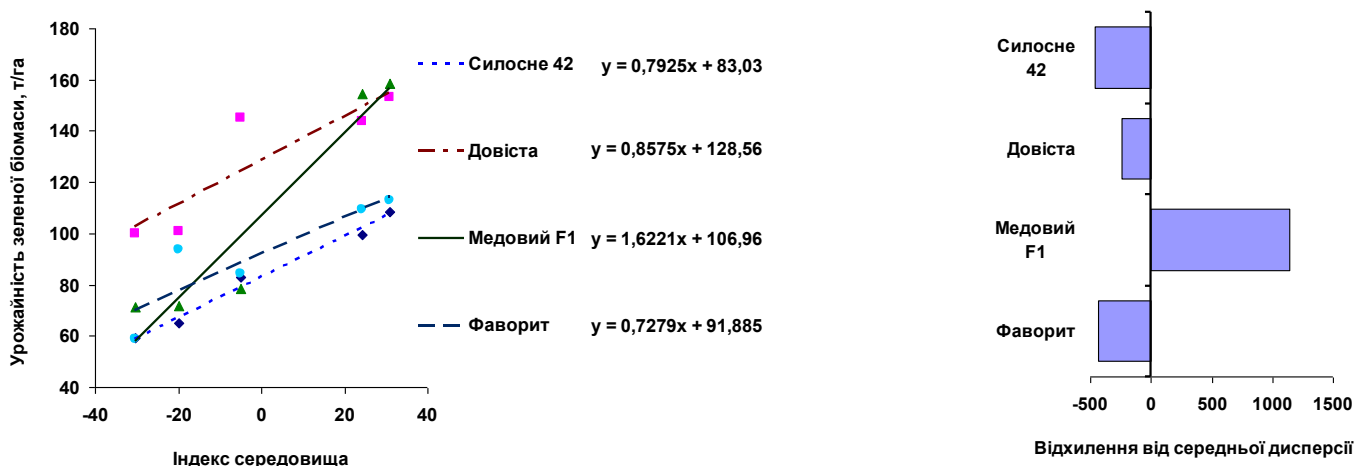


Рис. 25. Екологічна стабільність і пластичність сортів та гібридів сорго цукрового за врожайністю зеленої біомаси (БЦ ДСС, 2016-2020 рр.)

Отже, у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії отримано з біомаси сорго цукрового сорту ‘Довіста’ (до 791,8 ГДж/га). Проте найбільш екологічно пластичним за показником врожайності зеленої біомаси виявився гібрид ‘Медовий F1’ ($b=1,62$).

За вирощування сорго цукрового на ґрунтах із низьким рівнем родючості ранні строки збирання біомаси (до середини серпня) та дворазове збирання (початок серпня + початок жовтня) не забезпечують достатній вихід енергії з одиниці площі (до 250 ГДж/га), що пояснюється низькою врожайністю зеленої біомаси у цей час та низькою концентрацією у ній сухої речовини (рис. 26). Найповніша реалізація енергетичного потенціалу сортів і гібридів, що вивчалися у досліді, досягається за збирання біомаси з третьої декади серпня по другу декаду вересня.

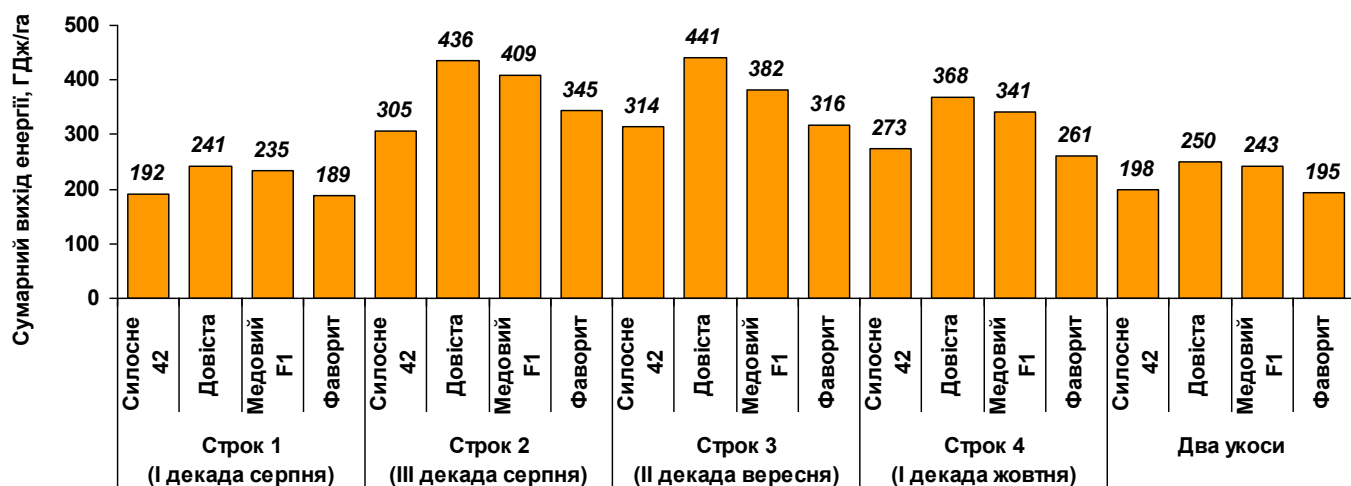


Рис. 26. Розрахунковий вихід енергії з біомаси сорго цукрового залежно від сортових особливостей і строків збирання (Я ДСС, 2016-2020 рр.)

Встановлено тісну кореляційну залежність (рис. 27) між виходом енергії з рослин сорго цукрового та врожайністю зеленої біомаси ($R=0,956\pm0,033$) та врожайністю сухої біомаси ($R=0,999\pm0,005$). Водночас коефіцієнт регресії між врожайністю сухої біомаси та виходом енергії перевищує коефіцієнт регресії між врожайністю зеленої біомаси та виходом енергії ($b_1=5,85 < b_2=20,10$).

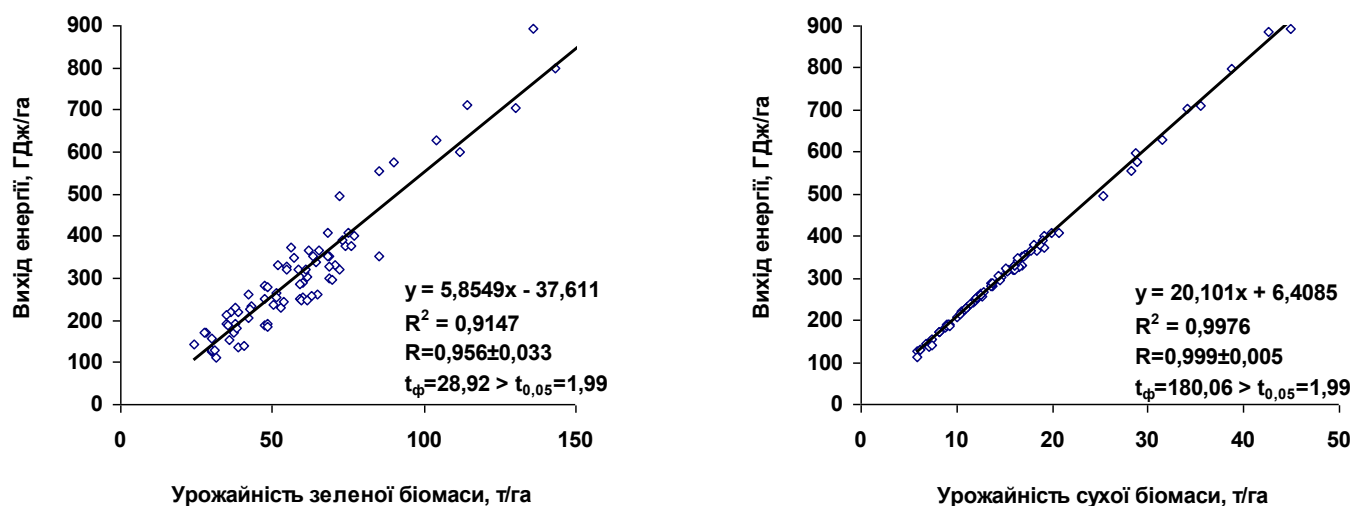


Рис. 27. Регресійна залежність виходу енергії від урожайності зеленої та сухої біомаси сорго цукрового (Я ДСС, 2016-2020 рр.)

Таким чином, на малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 441 ГДж/га) досягається за вирощування сорго цукрового сорту 'Довіста' та збирання його біомаси з кінця серпня до середини вересня.

Узагальнивши інформацію з чотирьох підзон, в яких проводилися дослідження, що різнилися між собою як за погодними, так і за ґрунтово-кліматичними умовами, можна стверджувати, що ранні строки збирання не забезпечують реалізацію енергетичного потенціалу жодного з досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового. Збирання зеленої біомаси у кінці серпня дозволяє досягти близького до максимального виходу енергії гібрида ‘Медовий F1’ (479 ГДж/га). Розкриття енергетичного потенціалу сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ реалізується за збирання їх біомаси починаючи з середини вересня. Збирання біомаси найпродуктивнішого сорту ‘Довіста’ слід розпочинати в кінці вересня, або на початку жовтня, вихід енергії при цьому в середньому становитиме 655 ГДж/га.

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА АГРОБІОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО

Інтенсивне подрібнення стебел сорго цукрового (розмір часточок близько 0,1 мм) сприяло збільшенню виходу соку в 1,4-1,9 раза порівняно з різними стеблами (розмір часточок 30-50 мм). У фазу цвітіння (ВВСН 65) середній для всіх досліджуваних гібридів вихід соку з різних стебел становив 39,6 %, із подрібнених – 63,4 % (рис. 28). Максимальний у досліді вихід соку отримано з подрібнених стебел сорту ‘Нектарний’ (71,1 %), найменшу його кількість – із різних стебел сорту ‘Силосне 42’ (26,6 %).

У фазі повної стиглості (ВВСН 85) інтенсивне подрібнення стебел сорго цукрового дозволило збільшити вихід соку для всіх досліджуваних гібридів у середньому в 1,6 раза (від 40,1 до 63,7 %). Максимальний ефект від подрібнення стебел у фазі повної стиглості відзначено у гібрида ‘Медовий F1’.

Фаза розвитку рослин не суттєво впливала на вихід соку, водночас цукристість останнього залежала від фаз і сортового асортименту рослин та варіювала в межах 7,5 -16 % (фаза цвітіння ВВСН 65) і 13,1-19,0 % (фаза повної стиглості ВВСН 85) (табл. 6). Збір стебел сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен дозволяє в середньому на 3,2 % підвищити загальний вміст цукрів у соку (від 13,3 до 16,5 %).

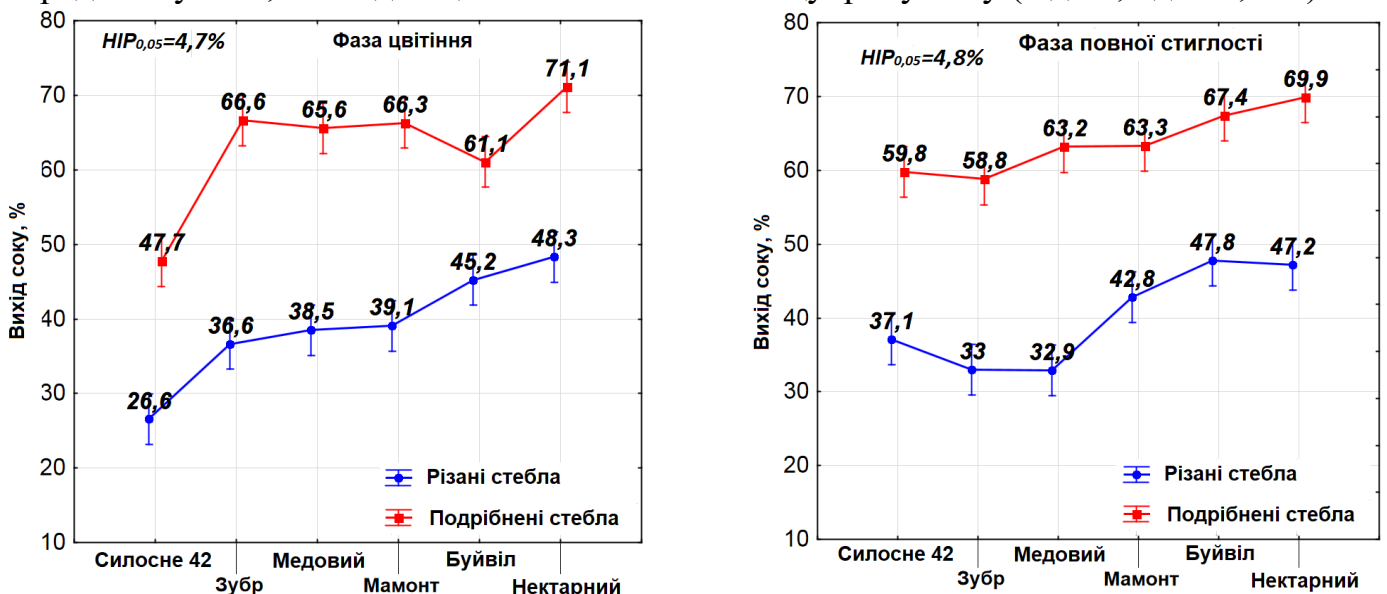


Рис. 28. Вихід соку залежно від сортових особливостей, способу підготовки стебел сорго цукрового та фази розвитку рослин (2011-2014 рр.)

Таблиця 6

Цукристість соку сорго цукрового залежно від сортових особливостей, фази розвитку рослин і способу підготовки стебел (2011-2014 рр.), %

Сорт, гібрид сорго цукрового	Фаза цвітіння		Фаза повної стиглості	
	різані стебла	подрібнені стебла	різані стебла	подрібнені стебла
‘Силосне 42’	7,5	12,5	13,1	14,0
‘Зубр’	14,0	15,0	17,0	18,5
‘Медовий F1’	10,1	15,1	16,5	19,0
‘Мамонт’	14,4	14,5	17,2	17,5
‘Буйвіл’	12,5	13,0	15,0	16,0
‘Нектарний’	15,0	16,0	16,1	18,0
НІР _{0,05}	1,2		1,1	

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ БІОПАЛИВА

Показники економічної ефективності, розраховані у цінах 2021 року, свідчать, що в центральній частині Лісостепу України найвищий прибуток від реалізації зеленої біомаси сорго цукрового отримано за внесення дози добрив $N_{80}P_{80}K_{80}$, водночас зі збільшенням дози добрив рівень рентабельності зменшується (табл. 7). Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності та найменша собівартість біометану відзначено на варіантах без застосування добрив.

Таблиця 7

Показники економічної та енергетичної ефективності застосування добрив під час вирощування сорго цукрового для біопалива у центральній частині Лісостепу України (БЦ ДСС, 2013-2015 рр.)

Показник	‘Силосне 42’			‘Медовий F1’		
	Без добрив	$N_{80}P_{80}K_{80}$	$N_{160}P_{160}K_{160}$	Без добрив	$N_{80}P_{80}K_{80}$	$N_{160}P_{160}K_{160}$
Урожайність зеленої біомаси, т/га	52,5	67,6	68,2	57,1	76,8	76,3
Витрати на вирощування, тис. грн /га	10,64	15,64	20,64	10,64	15,64	20,64
Виручка від реалізації продукції, тис. грн /га	22,05	28,41	28,66	23,98	32,26	32,05
Умовно чистий прибуток, тис. грн /га	11,41	12,76	8,02	13,34	16,61	11,40
Рівень рентабельності, %	107	82	39	125	106	55
Витрати енергії, ГДж/га	16,1	29,3	42,4	16,1	29,3	42,4
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	8,10	11,46	12,25	9,05	13,05	13,51
Коефіцієнт енергетичної ефективності	10,97	8,52	6,30	12,26	9,71	6,94
Собівартість біометану, грн /1000 м ³	2190	2276	2809	1959	1998	2547

Вирощування сорго цукрового сорту ‘Силосне 42’ на ґрунтах із низьким рівнем родючості без внесення добрив збиткове (табл. 8). Найвищий умовно чистий прибуток отримано за внесення добрив у дозі $N_{160}P_{160}K_{160}$, проте максимальний рівень рентабельності досягається за внесення дози $N_{80}P_{80}K_{80}$. Навіть на бідних землях внесення добрив призводить до зменшення коефіцієнта енергетичної ефективності, при цьому собівартість отриманого біогазу також знижується.

Таблиця 8

Показники економічної та енергетичної ефективності застосування добрив під час вирощування сорго цукрового для біопалива на ґрунтах із низьким рівнем родючості (Я ДСС, 2011-2015 рр.)

Показник	‘Силосне 42’			‘Медовий F1’		
	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	Без добрив	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀
Урожайність зеленої біомаси, т/га	23,6	40,9	54,1	34,9	54,5	67,5
Витрати на вирощування, тис. грн /га	10,6	15,6	20,6	10,6	15,6	20,6
Виручка від реалізації продукції, тис. грн /га	9,9	17,2	22,7	14,6	22,9	28,3
Умовно чистий прибуток, тис. грн /га	-0,7	1,5	2,1	4,0	7,2	7,7
Рівень рентабельності, %	-7	10	10	38	46	37
Витрати енергії, ГДж/га	16,1	29,3	42,4	16,1	29,3	42,4
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	3,59	6,24	8,37	5,33	8,41	10,50
Коефіцієнт енергетичної ефективності	4,85	4,64	4,30	7,22	6,26	5,40
Собівартість біометану, грн /1000 м ³	4947,2	4179,2	4109,8	3327,5	3099,1	3277,3

Для забезпечення максимального прибутку оптимальним строком збирання біомаси сорго цукрового як на кормові цілі, так і для виробництва біопалива визнано кінець вересня - початок жовтня (рис. 29). Проведення двох укосів підвищує показники економічної ефективності за реалізації зеленої біомаси, водночас неефективне для виробництва біопалива. У разі перероблення біомаси сорго цукрового на біогаз умовно чистий прибуток зростає в середньому в 4,2 раза, порівняно з прибутком, який можна отримати від реалізації зеленої біомаси.

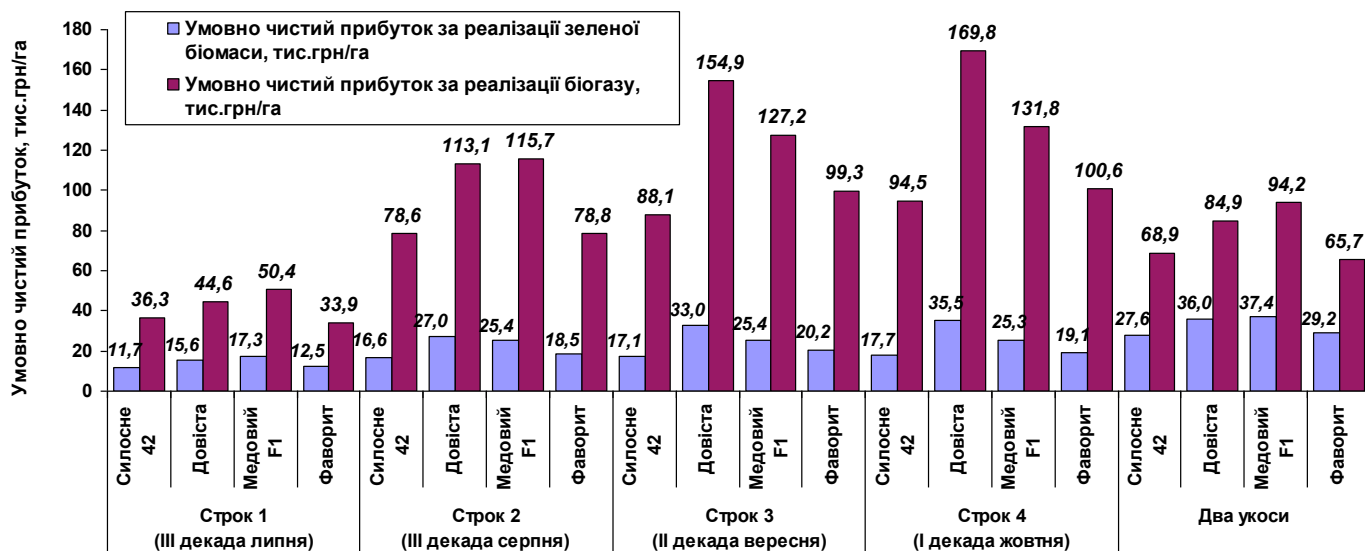


Рис. 29. Залежність умовно чистого прибутку від сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового (БЦ ДСС, 2016-2020 рр.)

За вирощування буряків цукрових у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України зі збільшенням дози мінеральних добрив витрати на вирощування зростали, водночас прибуток від реалізації коренеплодів із розрахунку на 1 гектар та рентабельність виробництва – зменшувалися (табл. 9). Внесення мінеральних добрив призводило до зменшення коефіцієнта енергетичної ефективності.

Таблиця 9

Показники економічної та енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових для виробництва біопалива в зоні недостатнього зволоження (ВП ДСС, 2013-2015 рр.)

Показник	‘Ворскла’			‘Булава’		
	Без добрив	N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	Без добрив	N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
Урожайність коренеплодів, т/га	44,8	46,9	47,2	47,1	50,3	51,2
Урожайність гички, т/га	19,7	19,6	19,2	19,1	17,8	18,1
Витрати на вирощування, грн /га	38480	43690	48717	38706	44031	49123
Прибуток, грн /га	19760	17280	12609	22476	21369	17476
Рівень рентабельності, %	51	40	26	58	49	36
Витрати енергії, ГДж/га	31,7	44	56,4	31,7	44	56,4
Вихід біогазу, тис. м ³ /га	8,28	8,57	8,56	8,54	8,86	9,02
Коеф. енергетичної ефективності	5,70	4,25	3,31	5,87	4,39	3,49
Собівартість біометану, грн/1000 м ³	7743	8498	9481	7553	8286	9076

На малопродуктивних землях у зоні нестійкого зволоження Лісостепу України вирощування буряків цукрових гібрида ‘Шевченківський’ без застосування добрив виявилось нерентабельним (-22 %), вирощування гібрида ‘Булава’ – характеризувалося найнижчим рівнем рентабельності (16 %) (табл. 10). Із внесенням добрив у дозі N₇₅P₅₀K₅₀ рентабельність вирощування буряків цукрових гібридів ‘Шевченківський’ і ‘Булава’ зростала до 28 та 42 % відповідно. Подальше підвищення дози добрив до N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀ збільшувало рівень рентабельності відповідно до 57 та 54 %. Особливістю вирощування буряків цукрових на малопродуктивних землях вирізняється те, що із внесенням мінеральних добрив зростає коефіцієнт енергетичної ефективності, тоді як собівартість отриманого біогазу – зменшується.

Таблиця 10

Показники економічної та енергетичної ефективності вирощування буряків цукрових для виробництва біопалива на малопродуктивних землях Лісостепу України (Я ДСС, 2013-2015 рр.)

Показники	‘Шевченківський’			‘Булава’		
	Без добрив	N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	Без добрив	N ₇₅ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
Урожайність коренеплодів, т/га	21,8	42,7	60,4	33,4	47,9	59,0
Урожайність гички, т/га	14,6	31,7	46,8	23,9	36,3	44,7
Затрати на вирощування, грн./га	36181	43269	50041	37341	43786	49898
Прибуток, грн./га	-7827	12227	28493	6093	18427	26773
Рівень рентабельності, %	-22	28	57	16	42	54
Затрати енергії, ГДж/га	31,7	44	56,4	31,7	44	56,4
Вихід біогазу, тис.м ³ /га	4,55	9,21	13,23	7,11	10,40	12,81
Коеф. енергетичної ефективності	3,13	4,56	5,11	4,89	5,15	4,95
Собівартість біометану, грн/1000 м ³	13261	7828	6306	8748	7018	6491

У різних частинах Лісостепу України вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі забезпечувало зниження собівартості біопалива у понад 2 рази порівняно з буряками цукровими.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування і практичне вирішення важливої наукової проблеми – підвищення продуктивності цукроносних культур як сировини для виробництва різних видів біопалива залежно від тривалості періоду вегетації, доз мінеральних добрив, густоти стояння рослин та строків збирання цукромісткої біомаси у Лісостепу України.

1. Для збільшення обсягів виробництва і використання біопалива в Україні доцільно створити стабільну сировинну базу на основі розширення площ посівів цукроносних культур. В умовах України найперспективнішими культурами для виробництва рідкого, газоподібного і твердого біопалива визнано буряки цукрові та сорго цукрове. Однак відсутність теоретичних і агробіологічних основ формування продуктивності цукроносних культур не дозволяє у повній мірі реалізувати їх біологічний потенціал.

2. Розроблено методичні основи оцінки енергетичного потенціалу різних сортів і гібридів сорго цукрового та буряків цукрових і технологій їх вирощування шляхом розрахунку виходу біопалива та енергії з одиниці площі посівів.

3. Розроблено методику визначення площі листової поверхні цукроносних культур, яка полягає у скануванні листової пластини планшетним сканером та опрацюванні графічних файлів за допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє виміряти площу листка з точністю до 0,25 мм².

4. Для рослин сорго цукрового встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r=0,976-0,995$) між площею листової поверхні та добутком довжини на ширину листка. Уточнено перевідні коефіцієнти для визначення площі листової поверхні розрахунковим методом, які становлять: для гібридів 'Медовий F1' – $b=0,736\pm0,016$; 'Бізон' – $b=0,751\pm0,015$; 'Зубр' – $b=0,755\pm0,008$; 'Мамонт' – $b=0,760\pm0,012$; для сортів 'Фаворит' – $b=0,753\pm0,012$; 'Силосне 42' – $b=0,749\pm0,016$; 'Нектарний' – $b=0,738\pm0,013$.

5. Розроблено методику розрахунку середнього діаметра коренеплодів буряків цукрових і прогнозування їх фракційного складу на основі біологічної врожайності та густоти стояння рослин, що дозволяє керувати процесом формування енергетичної продуктивності.

6. У центральній частині Лісостепу України вихід біоетанолу із сорго цукрового найбільшою мірою залежить від погодних умов (39,0 %) і доз мінеральних добрив (28,5 %). Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ дозволило збільшити врожайність зеленої біомаси сорго цукрового на 24,9 т/га, цукристість соку на 1,5 % та вихід біоетанолу на 1,13 т/га. За вирощування сорго цукрового гібрида 'Медовий F1' урожайність зеленої біомаси збільшується на 6,6 т/га, цукристість соку – на 1,3 %, вихід біоетанолу – на 0,5 т/га порівняно із сортом 'Силосне 42'. За сівби насіння сорго цукрового у третій декаді квітня зменшуються врожайність зеленої біомаси на 6,6 т/га, цукристість соку – на 0,5 % та вихід біоетанолу – на 0,34 т/га порівняно з оптимальними строками (I–II декади травня).

7 У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України врожайність зеленої біомаси сорго цукрового залежить від сортових особливостей (36,5 %), строків сівби насіння (12,1 %) та строків збирання врожаю (12,2 %). Найзначніше на цукристість соку впливали строки збирання біомаси (68,1 %). Збирання сорго цукрового у фазі

воскової стиглості (ВВСН 72-77) забезпечило в 1,8 раза вищу цукристість соку порівняно із фазою викидання волоті (ВВНС 62-67). Подовження періоду вегетації рослин сорго цукрового за рахунок пізнішого збирання врожаю дозволяє збільшити суху речовину та зменшити вміст зольних елементів у біомасі. Сорго цукрове гібрида ‘Мамонт’ за врожайністю зеленої біомаси (91,5 т/га), цукристістю соку (12,7 %) та вмістом сухої речовини (24,6 %) перевищувало сорт ‘Силосне 42’, відповідні показники якого становили 70,8 т/га, 12 % та 24,0 %.

8. У зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України, залежно від строків сівби насіння, вихід біоетанолу з рослин сорго цукрового гібрида ‘Фаворит’ варіював в межах 2,12-2,22 т/га, біогазу – 11,1-11,9 тис. м³/га, твердого біопалива – 17,5-18,6 т/га та енергії – 335-351 ГДж/га. За внесення дози добрив N₈₀P₈₀K₈₀ вихід біоетанолу з 1 га посівів сорту ‘Силосне 42’ і гібрида ‘Фаворит’ зростав на 0,1 та 0,4 т/га, біогазу на 0,5 та 1,9 тис. м³/га, твердого біопалива на 0,8 та 3,0 т/га відповідно. Найбільшою мірою на вихід енергії впливали погодні умови (49,6 %), дози добрив (16,1 %) та особливості сорту і гібрида (15,4 %).

9. На малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження найбільший вихід біоетанолу (1,75 т/га), біогазу (8,6 тис. м³/га) та твердого біопалива (18,5 т/га) досягається за сівби насіння сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ у другій декаді травня. За внесення дози добрив N₈₀P₈₀K₈₀ вихід біоетанолу з 1 га посівів зростав на 0,5 і 0,6 т/га, біогазу на 2,7 та 3,1 тис. м³/га, твердого біопалива на 4,2 і 4,8 т/га для сорту ‘Силосне 42’ та гібрида ‘Медовий F1’ відповідно.

10. Для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України максимальна врожайність коренеплодів буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однасінний 45’ і гібрида ‘Олександрія’ досягається за внесення дози добрив N₁₂₀P₁₅₀K₁₅₀ та густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Найвищої цукристості досягнуто на варіанті без внесення добрив та найбільшій густоті стояння рослин (150 тис. шт./га). Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу, біогазу та енергії отримано за густоти стояння рослин 110 тис. шт./га. Збирання біомаси буряків цукрових для виробництва біогазу у згаданій зоні доцільно розпочинати у кінці серпня, для отримання максимального виходу біоетанолу та енергії – у кінці вересня.

11. У зоні недостатнього зволоження Лісостепу України найвищу врожайність коренеплодів і гички буряків цукрових гібрида ‘Ворскла’ (51,8 та 24,7 т/га відповідно) отримано за густоти стояння рослин 130 тис.шт./га та дози добрив N₇₅P₅₀K₅₀. Максимальної у досліді врожайності коренеплодів гібрида ‘Булава’ (53,8 т/га) досягнуто за густоти стояння рослин 130 тис. шт./га на фоні внесення підвищеної дози добрив – N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀. Найвищу цукристість коренеплодів гібрида ‘Ворскла’ (19,0 %) отримано за дози добрив N₇₅P₅₀K₅₀, гібрида ‘Булава’ (18,8 %) за дози добрив N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀ та густоти стояння рослин 100 тис. шт. /га.

12. Найбільшу врожайність коренеплодів буряків цукрових гібридів ПЦБ 0801 (63,2 т/га) та ‘Булава’ (61,3 т/га) у зоні нестійкого зволоження східного Лісостепу України відмічено за густоти стояння рослин 70 тис. шт. /га та дози добрив N₁₅₀P₁₀₀K₁₀₀. Найвищі значення цукристості спостерігали на варіанті без внесення добрив за густоти стояння рослин 130 тис. шт. /га.

13. На малопродуктивних ґрунтах Лісостепу України максимальної врожайності буряків цукрових гібридів ‘Шевченківський’ та ‘Булава’ досягнуто за

густоти стояння рослин 130 тис. шт./га та внесення добрив $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу з гібридів ‘Шевченківський’ (3,50 т/га) та ‘Булава’ (3,97 т/га) отримано за густоти стояння рослин 100 тис. шт./га. Найзначніше на варіювання врожайності коренеплодів впливало застосування добрив (59,1 %), дещо меншим був вплив погодних умов (16,6 %). Для отримання максимального врожаю біомаси буряків цукрових, а відтак і виходу біоетанолу з коренеплодів та енергії з біопалива урожай треба збирати на початку жовтня.

14. Найбільша врожайність зеленої біомаси та вихід енергії в зоні недостатнього зволоження східної частини Лісостепу України досягається за вирощування сорго цукрового сорту ‘Довіста’ (152,5 т/га та 815,8 ГДж/га) і гібрида ‘Медовий F1’ (132,9 т/га та 732,5 ГДж/га) за умови збирання біомаси у фазі повної стиглості (ВВСН 84-87). Попри високий рівень пластичності, сорт ‘Фаворит’ поступається перед гібридами за врожайністю зеленої біомаси (до 97,1 т/га) та за загальним виходом енергії (523,0 ГДж/га). Сорт ‘Силосне 42’ вирізняється найменшим показником екологічної пластичності за врожайністю зеленої біомаси ($b=0,79$), проте він найстабільніший.

15. Для зони нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 646 ГДж/га) зафіксовано з біомаси сорго цукрового сорту ‘Довіста’, у якого також встановлено найвищий рівень екологічної пластичності ($b=1,6$).

16. У зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії отримано з біомаси сорго цукрового сорту ‘Довіста’ (до 791,8 ГДж/га). Проте найбільш екологічно пластичним за показником врожайності зеленої біомаси виявився гібрид ‘Медовий F1’ ($b=1,62$).

17. На малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження Лісостепу України найбільший вихід біопалива та енергії (до 441,5 ГДж/га) відзначено із сорго цукрового сорту ‘Довіста’ за збирання його біомаси з кінця серпня по середину вересня, рівень екологічної пластичності для даного сорту був найвищим і становив $b=1,29$.

18. У рослин сорго цукрового гібрида ‘Медовий F1’ збирання зеленої біомаси в кінці серпня дозволяє досягти максимального виходу енергії (479 ГДж/га), енергетичний потенціал сортів ‘Фаворит’ та ‘Силосне 42’ реалізується за їх збирання починаючи від середини вересня, а сорту ‘Довіста’ – в кінці вересня - на початку жовтня, що забезпечує найвищий вихід енергії з одиниці площі (655 ГДж/га).

19. Застосування інтенсивного подрібнення стебел сорго цукрового (до часток розміром менше 0,1 мм) сприяло збільшенню виходу соку в 1,4-1,9 раза. Фаза розвитку рослин несуттєво впливала на вихід соку, водночас цукристість останнього залежала від фаз розвитку рослин і сортових особливостей та варіювала в межах 7,5-16 % (фаза цвітіння, ВВСН 63-67) і 13,1-19,0 % (фаза повної стиглості ВВСН 85-88).

20. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{80}K_{80}$ для різних ґрунтово-кліматичних умов сприяло позитивному енергетичному балансу, за якого додаткова кількість енергії від підвищення продуктивності рослин сорго цукрового перевершує додаткові енерговитрати. Витрати енергії, пов’язані з внесенням дози добрив $N_{160}P_{160}K_{160}$ не покривалися додатковим виходом енергії, отриманої від зростання продуктивності рослин сорго цукрового. Застосування мінеральних добрив під час

виросування сорго цукрового призводило до підвищення собівартості біопалива.

21. Застосування мінеральних добрив під час вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біопалива призводить до зменшення показників економічної та енергетичної ефективності для більшості зон, в яких виконувалися дослідження. За вирощування буряків цукрових на малопродуктивних (маргінальних) землях внесення добрив позитивно впливало на рівень рентабельності та коефіцієнт енергетичної ефективності.

22. Найбільший умовно чистий прибуток від реалізації зеленої біомаси сорго цукрового досягався за вирощування сорту 'Довіста' і коливався в межах від 18,3 до 39,3 тис. грн /га залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування. У разі перероблення зеленої біомаси на біогаз, умовно чистий прибуток зростає у 3,9-6,5 рази.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для навчальних та науково-дослідних установ рекомендується:

- використовувати розроблені методичні рекомендації з визначення площі листової поверхні рослин сорго цукрового, що дозволить підвищити точність і продуктивність досліджень з визначення фотосинтетичного потенціалу;
- для розрахунку енергетичної продуктивності вирощування цукроносних культур використовувати методичні рекомендації з розрахунку виходу біопалива та енергії з одиниці площі посівів.

2. Для сільськогосподарського виробництва рекомендується:

- під час вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу, біогазу і твердого біопалива використовувати сучасні вітчизняні високоврожайні сорти ('Довіста', 'Силосне 42' і 'Фаворит') і гібриди ('Медовий F1', 'Зубр' та 'Мамонт') які характеризуються високим вмістом цукрів та сухої речовини;
- для забезпечення максимальної енергетичної та економічної ефективності під час вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі вносити мінеральні добрива у дозі більше ніж $N_{80}P_{80}K_{80}$ недоцільно;
- у разі вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу і твердого біопалива врожай найприйнятніше збирати у фазу повної стиглості зерен, коли відбувається максимальне накопичення цукрів та сухої речовини у стеблах;
- за вирощування сорго цукрового для виробництва біогазу збирання біомаси треба розпочинати у фазу цвітіння, коли формується максимальна врожайність біомаси;
- для отримання максимального виходу зеленої біомаси та енергії із сорго цукрового у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України економічно виправдано вирощувати сорт 'Довіста' та гібрид 'Медовий F1', а вирощену біомасу збирати не раніше середини вересня. На енергетичні цілі доцільно вирощувати буряки цукрові гібридів 'Ворскла' і 'Булава' за дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$ та густоти стояння рослин 100 тис. шт. /га;
- у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України ефективно вирощування сорту 'Довіста' із збиранням його біомаси на початку вересня.

Для гібридів буряків цукрових 'ЩБ 0801' і 'Булава' найприйнятніша густота стояння рослин 70 тис. шт. /га і доза добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$;

- у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України варто вирощувати сорго цукрове сорту 'Довіста' і гібрида 'Медовий F1', водночас біомасу середньопізннього сорту 'Довіста' збирати починаючи з середини вересня, а біомасу середньораннього гібрида 'Медовий F1' збирати двічі: в кінці липня та на початку жовтня. Буряки цукрові гібрида 'Константа' як сировину для виробництва біоетанолу доцільно вирощувати за густоти стояння рослин 100 тис. шт. /га. за енергетично обґрунтованої дози добрив $N_{75}P_{50}K_{50}$;
- на малопродуктивних грантах у зоні нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України найефективніше вирощувати сорго цукрове сорту 'Довіста' та збирати його біомасу з кінця серпня до середини вересня. За вирощування буряків цукрових економічно й енергетично обґрунтованою дозою добрив визнано $N_{150}P_{100}K_{100}$ та густота стояння рослин 130 тис. шт. /га;
- для отримання максимального виходу біоетанолу буряки цукрові треба збирати починаючи з першої декади жовтня, для біогазу – починаючи з першої декади вересня.

3. Для переробної промисловості рекомендується:

- з метою збільшення виходу соку – проводити попереднє інтенсивне подрібнення стебел сорго цукрового на часточки розміром до 0,1 мм.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Гументик М. Я., Радейко Б. М., Фучило Я. Д., Сінченко В. М., **Ганженко О.М.**, Бондар В. С., Фурса А. В., Квак В. М., Харитонов М. М., Кателевський В.М. Вирощування біоенергетичних культур /за ред. М. Я. Гументика. Київ : Компринт, 2018. 178 с. (ISBN 978-966-929-779-2) (Розділ 4. Технологія вирощування цукрового сорго. С. 83-102).

Статті в наукових фахових виданнях України

2. **Ганженко О.М.** Планування експериментів у сільськогосподарських дослідженнях. *Збірник наукових праць ІЦБ*. 2007. Вип. 9. С. 56-60.
3. **Ганженко О.М.**, Григоренко Н.О., Хіврич О.Б., Марчук О.О., Герасименко Л.А. Вплив сортових особливостей та мінерального живлення на урожайність і вуглеводний склад цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2011. №5. С.14-15. (Проведення досліджень, обробка експериментальних даних, написання тексту статті, частка участі – 60 %).
4. Роїк М., Курило В., Гументик М., **Ганженко О.** Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Збірник наукових праць*. 2011. №15(2) (Проведення досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

5. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., **Ганженко О.М.** Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Цукрові буряки*. 2011. №1. С. 6-7. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %).
6. Роїк М.В., Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Гументик М.Я. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2011. №12. С.14-24. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %).
7. Роїк М.В., Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Гументик М.Я. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2012. №13. С.115-125. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %).
8. **Ганженко О.М.** Прогнозування фракційного складу коренеплодів цукрових буряків. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2012. №14. С.266-270.
9. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Дубовий Ю.П., Макаренко А.С. Енергетична ефективність цукрових буряків залежно від густоти стояння рослин. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2013. №19. С.68-73. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %).
10. **Ганженко О.М.**, Герасименко Л.А., Дубовий Ю.П. Вплив фону мінерального живлення на енергетичну продуктивність цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2014. №4. С. 14-17. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %).
11. **Ганженко О.М.** Методика визначання площі листкової поверхні цукрового сорго. *Збірник наукових праць ІБКіЦБ*. 2014. №22. С.17-22.
12. **Ганженко О.М.**, Зиков П.Ю. Вплив способів отримання соку зі стебел цукрового сорго на його вихід та якість. *Цукрові буряки*. 2014. №5. С. 14-16. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 80 %).
13. **Ганженко О.М.**, Герасименко Л.А., Іванова О.Г. Вплив елементів технології вирощування цукрового сорго на енергетичну продуктивність. *Цукрові буряки*. 2015. №4. С. 17-19. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %).
14. Вербняк А.А., **Ганженко О.М.**, Смірних В.М. Сорго цукрове – перспективна біоенергетична культура в умовах недостатнього зволоження східного лісостепу України. *Цукрові буряки*. 2016. №4. С.9-10. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %).
15. **Ганженко О.М.**, Герасименко Л.А., Іванова О.Г., Копчук К.М. Енергетична продуктивність цукрового сорго залежно від елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків: зб. наук. праць*. 2016. Вип. 24. С. 11–18. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %).
16. Роїк М.В., **Ганженко О.М.**, Кононюк Н.О. Динаміка накопичення енергетично корисних речовин вітчизняними гібридами цукрових буряків. *Біоенергетика*. 2017. №2. С. 5-8. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

17. Квак В.М., **Ганженко О.М.**, Зиков П.Ю., Ганженко О.М. Визначання площі листкової поверхні в різних видів міскантусу розрахунковим методом. *Новітні агротехнології*. 2017. №5. doi: 10.21498/na.5.2017.122228 (*Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %*).
 18. **Ганженко О.М.**, Хіврич О.Б., Дубовий Ю.П., Сенчук С.М., Сасенко П.І., Зиков П.Ю. Строки збирання буряків цукрових – як важливий фактор в технології їх вирощування для виробництва біоетанолу. *Біоенергетика/Bioenergy*. 2019. №2 (14). С. 13-15. (*Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %*).
 19. **Ганженко О.М.** Вплив елементів технології вирощування на продуктивність та вихід біоетанолу з сорго цукрового у Центральному Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2019. №7. doi: 10.21498/na.7.2019.204794
 20. **Ганженко О.М.**, Фучило Я.Д., Квак В.М. Економічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур. *Біоенергетика/Bioenergy*. 2019. №1 (13). С. 4-7. (*Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %*).
 21. Роїк М.В., **Ганженко О.М.** Агроекологічні аспекти сталого розвитку біоенергетики. *Біоенергетика/Bioenergy*. №1 (15). 2020. С. 4-7. (*Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %*).
 22. **Ганженко О.М.** Продуктивність сорго цукрового залежно від елементів технології його вирощування у зоні недостатнього зволоження Східного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 64-76. http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/28_64-76_0.pdf
 23. **Ганженко О.М.** Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в центральній частині Лісостепу України. *Агробіологія. Збірник наукових праць*. 2021. № 1. С. 23–31. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-23-31
 24. **Ганженко О.М.** Продуктивність рослин сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* L.) залежно від елементів технології вирощування на біопаливо в зоні недостатнього зволоження Лісостепу України. *Plant Varieties Studying and protection*. 2021. Т. 17. № 3. С. 240-247. doi: 10.21498/2518-1017.17.3.2021.242978
- Статті в наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus / Web of Science*
25. Galatsidas S., Gounaris N., Vlachaki D., Dimitriadis E., Kiourtsis F., Keramitzis D., Gerwin W., Repmann F., Rettenmaier N., Reinhardt G., Ivanina V., **Hanzhenko O.**, Gnap I., Bogatov K., Barbera F., Mattioli D., Volkmann C., Baumgarten W. Revealing Bioenergy Potentials: Mapping Marginal Lands in Europe - The Seemla Approach. *Papers of the 26th European Biomass Conference: Setting the Course for a Biobased Economy*. 2018. Session: 1AO.4.1; P. 31-37. DOI: 10.5071/26thEUBCE2018-1AO.4.1. (*Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %*).

Статті в наукових виданнях інших держав

26. Курило В.Л., Гументик М.Я., **Ганженко А.Н.**, Макаренко А.С. Использование свеклосырья для производства билэтаноло в Украине *Сахарная свекла*. 2011. №10. С. 6-8. (Проведення досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).
27. Курило В., Ганженко А., Герасименко Л. Энергетическая ценность сахарного сорго в зависимости от сроков посева и глубины заделки семян. *Motrol*. 2013. Vol. 15. Iss. 6. P. 55-61. (Проведення досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %)
28. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Герасименко Л.А. Продуктивность сахарного сорго для производства биотоплива. *Сахарная свекла*. 2013. №4. С.38-41. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).
29. **Hanzhenko O.**, Roik,M. & Ivanina V. Catalogue for bioenergy crops and their suitability in the categories of MagLs (D2.2) In: *SEEMLA project reports, supported by the EU's Horizon 2020 programme under GA No. 691874*. 2016. 91 p. <https://www.seemla.eu/wp-content/uploads/2019/02/D2.2-Catalogue-for-bioenergy-crops-and-their-suitability-in-the-categories-of-MagLs.pdf> (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 80 %).
30. **Ганженко А.Н.** Влияние сортовых особенностей на количество и качество сока из сахарного сорго. *Сахарная свекла*. 2019. №1. С. 41-44.

Статті в інших наукових виданнях

31. **Ганженко О.М.**, Зиков П.Ю., Саганов М.І. Пропозиції щодо удосконалення просапних культиваторів. *Збірник наукових праць ІЦБ*. 2008. Вип. 10. К.: ІЦБ. С. 376-379. (Проведення досліджень, обробка експериментальних даних, написання тексту статті, частка участі – 55 %).
32. **Ганженко О.М.**, Крижко В.М., Зиков П.Ю., Саганов М.І. Удосконалення засобів механізації збирання маточних цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2009. №1. С.15-17. (Проведення досліджень, обробка експериментальних даних, написання тексту статті, частка участі – 55 %).
33. **Ганженко О.М.**, Григоренко Н.О. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго. *Цукор України*. 2011. №4. С. 27-32. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %).
34. Третяк В.М., Больбут В.С., **Ганженко О.М.**, Мазуренко А.М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин. *Збірник наукових праць ІБКІЦБ*. 2013. №19. С.163-167. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).
35. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., **Ганженко О.М.** Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. *Біоенергетика*. 2013. №1. С. 5-10. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %).

36. **Ганженко О.М.** Визначення площі листкової поверхні сільськогосподарських культур методом сканування / Методики проведення досліджень у буряківництві. Київ: ІБКіЦБ. 2014. С.80-83.
37. Третяк В.М., Больбут В.С., **Ганженко О.М.**, Мазуренко А.М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин. *Збірник наукових праць ННЦ «ІМЕСГ»*. 2014. №99, Том 2. С. 68-75. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 55 %).
38. Роїк М.В., **Ганженко О.М.**, Тимошук В.Л. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні. *Біоенергетика*. 2014. №2. С. 6-8. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі - 60 %).
39. Роїк М.В., **Ганженко О.М.**, Тимошук В.Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні. *Біоенергетика*. 2015. №1. С. 5-8. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).
40. Роїк М.В., **Ганженко О.М.**, Бобровний Є.В. Енергетично незалежні села Німеччини – приклад для України. *Біоенергетика*. 2016. №2 (8). С. 21-22. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).
41. **Ганженко О.М.**, Гументик М.Я. Теплотворні властивості твердого біопалива *Біоенергетика*. 2016. №1. С. 14-16. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).

Матеріали / тези доповідей наукових конференцій

42. Курило В.Л., Гументик М.Я., **Ганженко О.М.** Перспективи розвитку фітоенергетики в Україні. *Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. VI Міжнародна науково-практична конференція: Тези доп.* Львів. 2011. С. 87-89. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, написання та підготовка до друку тез, частка участі – 55 %).
43. Роїк М., Курило В., Гументик М., **Ганженко О.** Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Теоретичні і практичні аспекти розвитку агропромислового виробництва та сільських територій. Матеріали Міжнар. наук.-практ. Форум: Тези доп.* Львів. 2011. С.163-165. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, написання та підготовка до друку тез, частка участі – 55 %).
44. Baumgarten W., Ivanina V., **Hanzhenko O.** Biomass production on marginal lands – catalogue of bioenergy crops. *Geophysical Research Abstracts*. 2017. Vol. 19. EGU2017-7904-1. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-7904-1.pdf> (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, написання та підготовка до друку тез, частка участі – 55 %).
45. Хіврич О.Б., **Ганженко О.М.**, Гончарук Г.С., Зиков П.Ю. Вплив строків збирання буряків цукрових на вихід біоетанолу на малопродуктивних землях західного лісостепу України. *Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як*

альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. *X міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Львів. 2019. – С.142-145. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, написання та підготовка до друку тез, частка участі – 55 %).

46. Правдива Л.А., **Ганженко О.М.** Ефективність вирощування сорго цукрового як сировини для використання в харчовій та енергетичній промисловості. *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква. 2019. С. 3-5. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, написання та підготовка до друку тез, частка участі – 55 %).
47. **Ганженко О.М.** Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в центральному лісостепу України. *Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку. II Міжнародна науково-практична конференція. Тези доп.* Біла Церква. 2021. С. 174-176.
48. **Ганженко О.М.** Вплив сортових особливостей та строків збирання біомаси сорго цукрового на продуктивність та вихід біопалива у зоні недостатнього зволоження Лісостепу України. *Новітні агротехнології. II міжнародна науково-практична конференція 03.06.2021 р. Тези доп.* Київ, 2021. С. 18.

Публікації в періодичних виданнях

49. **Ганженко О.М.** Цукрове сорго. *The ukrainian Farmer.* 2012. №10. С.42-44.
50. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Хіврич О.Б. Вирощування цукрових буряків на біопаливо. *Пропозиція нова : український журнал з питань агробізнесу: інформаційний щомісячник.* 2014. №5. С. 50-54. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).
51. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Хіврич О.Б. Вирощування цукрових буряків на біопаливо. *Пропозиція нова : український журнал з питань агробізнесу: інформаційний щомісячник.* 2014. №6. С. 70-73. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).
52. Роїк М.В., **Ганженко О.М.** Агропромислові енергетичні плантації. *Агропрофі.* 2015. №42. С.12-14. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 70 %).
53. **Ганженко О.** Хіврич О., Герасименко Л. Цукрове сорго - на біопаливо. *Пропозиція нова : український журнал з питань агробізнесу: інформаційний щомісячник.* 2015. №5. С.66-71. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 65 %).
54. **Ганженко О.М.**, Герасименко Л.А. №1 для біопалива. *The Ukrainian Farmer.* 2017. №6. С. 136-138. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 80 %).
55. Зиков П.Ю., Хіврич О.Б., **Ганженко О.М.**, Правдива Л.А. Бункери-перевантажувачі для буряків. *Пропозиція.* №10. 2019. С. 142-145. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 60 %).

56. Роїк М.В., **Ганженко О.М.** Біоенергетичні культури – за ними майбутнє. *Агробізнес сьогодні*. 2021. №5. С.50. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 80 %).
57. Роїк М.В., **Ганженко О.М.** Екологічні аспекти розвитку біоенергетики. *Агробізнес сьогодні*. 2021. №5. С.62-64. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання статті, частка участі – 80 %).

Науково-методичні рекомендації

58. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Зиков П.Ю., Герасименко Л.А., Копак О.М. Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння цукрового сорго. (Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол №18 від 26.11.2012). Київ, 2012. 15 с. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %).
59. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Мазуренко А.М., Хіврич О.Б., Зиков П.Ю., Макаренко А.С. Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння енергетичних цукрових буряків (Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол №18 від 26.11.2012). Київ, 2012. 15 с. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)
60. Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Хіврич О.Б., Мазуренко А.М., Гументик М.Я., Зиков П.Ю., Макаренко А.С., Дмитрієв В.В., Квак В.М., Гончарук Г.С., Смірних В.М., Горобець А.М., Дубовий Ю.П., Власенко С.І., Іванова О.Г., Кононюк Н.О. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. (Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол №35, від 30.12.2013). Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 32 с. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)
61. **Ганженко О.М.**, Курило В.Л., Гамандій В.Л., Хіврич О.Б., Зиков П.Ю., Квак В.М., Шевченко І.Л., Шклярчук С.М., Дмитрієв В.В., Герасименко Л.А. Методичні рекомендації з визначання площі листової поверхні цукрового сорго. (Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол №16, від 19.08.2013). Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 32 с. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)
62. **Ганженко О.М.**, Курило В.Л., Герасименко Л.А., Зиков П.Ю., Хіврич О.Б., Гончарук Г.С., Смірних В.М., Дубовий Ю.П., Іванова О.Г. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива. (Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол 22, від 14.12.2015). Київ: ЦП «Компринт», 2017. 24 с. (Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)
63. Горбенко Ю.М., Книш О.С., **Ганженко О.М.**, Сичук Л.В., Пузняк О.М., Мисковець К.В., Поліщук М.О. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. (Розглянуто Вченою радою Волинської ДСГДС, протокол №11 від 17.10.2018). Рокині, 2018. 18 с. (Проведення досліджень, аналіз

отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 60 %)

64. Роїк М.В., **Ганженко О.М.**, Хіврич О.Б., Сінченко В.М., Гументик М.Я., Зиков П.Ю., Гончарук Г.С., Дубовий Ю.П., Кононюк Н.О., Дмитрієв В.В. Методичні рекомендації з технології вирощування буряків цукрових як сировини для виробництва біоетанолу. *(Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол № 13, від 27.11.2018)*. Київ: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 41 с. *(Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)*
65. **Ганженко О.М.**, Правдива Л.А., Фучило Я.Д., Хіврич О.Б., Зиков П.Ю., Гументик М.Я., Гончарук Г.С., Смірних В.М., Дубовий Ю.П., Атаманюк О.М., Іванова О.Г., Гамандій В.Л., Яланський О.В. Методичні рекомендації з вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва різних видів біопалива в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. *(Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол № 17, від 17.11.2020)*. Київ: ЦП Компринт, 2020. 20 с. *(Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)*
66. **Ганженко О.М.**, Хіврич О.Б., Атаманюк О.М., Гументик М.Я., Фучило Я.Д., Квак В.М., Правдива Л.А., Сенчук С.М., Кононюк Н.О., Зиков П.Ю., Дмитрієв В.В. Методичні рекомендації з технології вирощування та перероблення буряків цукрових як сировини для виробництва біогазу. *(Розглянуто Вченою радою ІБКіЦБ НААН, протокол № 17, від 17.11.2020)*. Київ: ЦП Компринт, 2021. 16 с. *(Проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка та написання рекомендацій, частка участі – 70 %)*

Патенти України на корисну модель

67. Патент на корисну модель 77038 Україна, МПК А01D 45/10. Пристрій для збирання стебел сільськогосподарських культур. / **Ганженко О.М.**, Зиков П.Ю., Роїк М.В., Курило В.Л. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – №u201208631; Заявлено 12.07.2012; Опубл. 25.01.2013, Бюл. №2.
68. Патент на корисну модель 79472 Україна, МПК А01С 5/00. Спосіб вирощування цукрового сорго / Герасименко Л.А., Курило В.Л., **Ганженко О.М.**, Григоренко Н.О., Марчук О.О. (Україна); Заявник і власник патенту Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – №u201211793; Заявлено 12.10.2012; Опубл. 25.04.2013, Бюл. №8.
69. Патент на корисну модель 102469 Україна, МПК А01С 7/00. Спосіб вирощування цукрового сорго / Курило В.Л., Копак О.М., Григоренко Н.О., **Ганженко О.М.**, Вихор В.С. (Україна) – №u2015 05570; Заявлено 05.06.2015; Опубл. 26.10.2016, Бюл. № 20.
70. Патент на корисну модель 102470 Україна, МПК А01В 79/02. Спосіб догляду за посівами цукрового сорго / Курило В.Л., Марчук О.О., **Ганженко О.М.**, Гументик М.Я., Хіврич О.Б. (Україна) – №u2015 05571; Заявлено 05.06.2015; Опубл. 26.10.2016, Бюл. № 20.

АНОТАЦІЯ

Ганженко О. М. Теоретичні та агробіологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для виробництва біопалива в лісостепу України.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.09 «Рослинництво». – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Київ, 2021.

У роботі висвітлено результати комплексних досліджень, проведених упродовж 2010-2020 рр. з теоретичного та агробіологічного обґрунтування процесу формування продуктивності цукроносних культур, як сировини для виробництва біопалива у Лісостепу України.

Проаналізовано наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених щодо стану й перспектив розвитку біоенергетики в Україні та світі, цілей, які Україна зобов'язалася досягти відповідно до міжнародних кліматичних угод, а також особливостей вирощування цукроносних культур для виробництва біопалива. Відзначено, що в умовах України буряки цукрові (*Beta vulgaris* L.) та сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) найбільш перспективні культури для виробництва рідкого, газоподібного і твердого біопалива.

Розроблено методичні основи для оцінки енергетичного потенціалу різних сортів і гібридів цукроносних культур та елементів технології їх вирощування шляхом розрахунку виходу біоетанолу, біогазу і твердого біопалива, а також енергії з одиниці площі посівів. Напрацьовано теоретичні й агробіологічні основи для визначення площі листової поверхні рослин сорго цукрового та фракційного складу коренеплодів буряків цукрових.

Визначено агробіологічні основи формування продуктивності сорго цукрового і буряків цукрових залежно від сортового асортименту, доз мінеральних добрив, строків сівби насіння та збирання цукромісткої біомаси для різних підзон Лісостепу України. Встановлено морфологічні й фізіологічні особливості формування і реалізації біологічного потенціалу продуктивності цукроносних культур залежно від елементів технології вирощування та факторів зовнішнього середовища.

На основі аналізу динаміки накопичення енергетично корисних речовин у вегетативних органах рослин обґрунтовано оптимальні строки збирання врожаю залежно від сортових особливостей, ґрунтово-кліматичних умови вирощування та особливостей подальшого використання цукромісткої біомаси.

Доведена економічна доцільність виробництва біопалива з біомаси сорго цукрового і буряків цукрових, а також обґрунтована енергетична ефективність застосування мінеральних добрив під час вирощування цукроносних культур на енергетичні цілі для різних частин Лісостепу України.

Ключові слова: буряки цукрові, сорго цукрове, урожайність, продуктивність, цукристість, строки збирання, дози добрив, біопаливо.

ABSTRACT

Hanzhenko O.M. Theoretical and agrobiological basis of the productivity formation of sugar crops for biofuel in the Forest-Steppe of Ukraine.

Thesis for a Doctor of Agriculture degree by specialty 01.06.09 – Plant growing. Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis presents the results of a comprehensive study on the theoretical and agrobiological justification of the process of productivity formation in sugar crops as a feedstock for biofuel production in the Forest-Steppe of Ukraine, conducted in the years 2010–2020.

Scientific works of Ukrainian and foreign scientists on the state and prospects of bioenergy development in Ukraine and the world, the goals that Ukraine has committed to achieve in accordance with international climate agreements, as well as the peculiarities of growing sugar crops for biofuel production are analysed. It is noted that in the conditions of Ukraine, sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and sugar sorghum (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) are the most promising crops for the production of liquid, gaseous, and solid biofuels.

Methodological bases for estimating the energy potential of different varieties and hybrids of sugar crops and the components of the cultivation technology by calculating the yield of bioethanol, biogas, and solid biofuels, as well as energy per unit area are developed. Theoretical and agrobiological bases for the determination of the leaf area in sugar sorghum plants and the fractional composition of sugar beet roots are developed.

The agrobiological bases of sugar sorghum and sugar beet productivity formation as affected by varietal assortment, doses of mineral fertilisers, sowing and harvesting dates in different subzones of the Forest-Steppe of Ukraine are substantiated. Morphological and physiological features of formation and realization of the biological potential of sugar crops productivity as affected by the components of cultivation technology and environmental factors are revealed.

Based on the analysis of the dynamics of energy nutrients accumulation in the vegetative organs of plants, the optimal timing of harvesting is justified varietal characteristics, soil and climatic conditions of cultivation and utilisation pathways of sugar-containing biomass.

The economic feasibility of biofuel production from sugar sorghum and sugar beet biomass is proved. The energy efficiency of mineral fertilisers application during the cultivation of sugar crops for energy purposes for different parts of the Forest-Steppe of Ukraine is substantiated.

Keywords: *sugar beet, sugar sorghum, yield, productivity, sugar content, harvesting dates, fertiliser doses, biofuels.*