

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Ганженка Олександра Миколайовича на тему:
**«ТЕОРЕТИЧНІ ТА АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА
БІОПАЛИВА В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ»**, поданої на
здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук
за спеціальністю 06.01.09 – рослинництво.

Актуальність теми і отриманих результатів. Сьогодні екологічні проблеми планети спонукають людство до пошуків нових джерел енергії. Як наслідок все більше уваги приділяється відновлювальним енергетичним ресурсам, провідне місце серед яких посідає біомаса. Україна за наявності значного потенціалу для розвитку біоенергетики все ще значно відстає від європейських країн. Завдяки вмісту простих вуглеводів цукромістка біомаса є найбільш перспективною сировиною для виробництва різних видів біопалив. З огляду на це для досягнення необхідних обсягів використання біомаси постає потреба у розширенні площ посівів цукроносних культур. В умовах України основними цукроносними культурами визнано буряки цукрові та сорго цукрове. Тому науково-дослідні роботи, пов'язані з розробкою теоретичних та агробіологічних основ формування продуктивності цукроносних культур для виробництва біопалива є актуальним для сільськогосподарського виробництва України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота Ганженка О.М. пов'язана з тематикою досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за державною програмою наукових досліджень НААН № 22 «Теоретичні основи створення джерел біоенергетичної рослинної сировини та технології її переробки» («Біоенергетичні ресурси») (2011-2015 рр.), зокрема, за Підпрограмою 2 «Сорти і гібриди та технології вирощування цукроносних культур для виробництва біоетанолу» («Цукроносна біосировина»), 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.). Державною програмою наукових досліджень НААН № 16 «Селекція, насінництво і розсадництво та технологія вирощування біоенергетичних культур як сировини для виробництва рідких, твердих і газоподібних видів палива» («Біоенергетичні ресурси») (2016-2020 рр.), за завданнями: «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 досліджень полягала в обґрунтуванні теоретичних й агробіологічних основ формування продуктивності рослин та оптимізації технологічних процесів 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 в якості біопалива.

Для досягнення поставленої мети дисертантом вирішувались наступні задачі: проаналізувати стан і перспективи розвитку галузі біоенергетики та обґрунтувати доцільність вирощування цукроносних культур як сировини для виробництва різних видів біопалива в Лісостепу України; розробити методику 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.

Наукова новизна досліджень полягала 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.

Автором розроблено методику розрахунку виходу біопалива з одиниці площі посівів цукроносних культур, яка дозволяє проводити енергетичну оцінку ефективності їх вирощування; розроблено методику визначення площі листової поверхні сорго цукрового методом сканування та побудовано стохастичну модель для прогнозування фракційного складу коренеплодів буряків цукрових. На основі результатів експериментальних досліджень встановлено закономірності росту і розвитку 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 у 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.

Дисертантом удосконалено способи збирання врожаю зеленої біомаси цукроносних культур та обґрунтовано раціональну схему «зеленого конвеєра», що дозволяє підвищити ефективність роботи біогазових та біоетанольних заводів. Крім того, набули подальшого розвитку методика визначення площі листової поверхні цукроносних культур розрахунковим методом, а також 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 отриманих наукових результатів. Результати наукових досліджень увійшли до розділу колективної монографії та дев'яти науково-практичних рекомендацій з особливостей вирощування та перероблення біомаси сорго цукрового та буряків цукрових.

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 роботи. Основні результати досліджень щорічно були висвітлені в доповідях і обговорені на наукових семінарах, круглих столах, конференціях, а також пропагувались автором у засобах масової інформації. Результати та висновки досліджень апробовано в 2010–2020 рр. на методичних комісіях, вчених та координаційно-методичних радах Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН і оприлюднено у виступах на 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 у вигляді рукопису 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.

У **Вступі** (С. 44-52) є усі необхідні кваліфікаційні характеристики доцільності дисертаційних досліджень: викладено актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мета і завдання досліджень, об'єкт, предмет та методи дослідження, наукова новизна та практична цінність одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробація результатів досліджень та публікації.

У **першому розділі** (С. 53-90) «Стан і перспективи розвитку галузі біоенергетики та місце цукроносних культур у формуванні сталої сировинної бази (огляд літературних джерел)» наведено аналіз результатів досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів з питань сучасного стану та перспектив розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні та світі. Акцентована увага на тому, що біоенергетика є головною складовою частиною відновлювальної енергетики, здатною суттєво зменшити викиди парникових газів та сприяти досягненню цілей взятих нашою державою для побудови кліматично нейтральної економіки.

Аналіз літературних джерел свідчить, що попри значний обсяг інформації щодо можливостей використання сорго цукрового та буряків цукрових на енергетичні цілі, відсутні досконалі технології, які можуть гарантувати стабільність отримання високих урожаїв цукромісткої біомаси. Недостатньо вивчено вплив ґрунтово-кліматичних умов та технологічних аспектів на формування енергетичної продуктивності цукроносних рослин. Потребують уточнення питання щодо оптимізації енергоощадних технологій вирощування цукроносних культур у різних частинах Лісостепу України.

Другий розділ (С. 91-130) «Програма, методика та умови проведення досліджень» містить характеристику ґрунтово-кліматичних умов зон проведення досліджень, агрохімічні показники ґрунту, погодні умови за роки досліджень, методику проведення дослідів та номенклатуру досліджуваних факторів. У розділі ґрунтовно описано методику закладання польових дослідів, подано їх схеми, а також наведено характеристику сортів і гібридів цукроносних культур, що вивчались.

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.

Отримані результати досліджень оброблялись статистично з використанням методів кореляційного, регресійного та дисперсійного аналізів.

У третьому розділі (С. 131-143) «Методичні основи оцінки енергетичного потенціалу цукроносних культур» наводяться методичні підходи для проведення оцінки енергетичного потенціалу різних сортів і гібридів цукроносних культур та елементів технології їх вирощування. Запропоновано методику та алгоритм проведення розрахунку виходу біоетанолу, біогазу та твердого біопалива, а також енергії з одиниці площі посівів сорго цукрового та буряків цукрових.

У четвертому розділі (С 144-166) «Агробіологічні основи визначання біометричних показників цукроносних культур» автор наводить розроблену ним 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 істотно підвищити точність вимірювання. На основі реалізації запропонованої методики уточнено перевідні коефіцієнти для визначення площі листової поверхні розрахунковим методом. Статистично доведено, що розрахунковий метод визначення площі листової поверхні для рослин сорго цукрового з використанням уточнених перевідних коефіцієнтів є точніший, порівняно з ваговим методом «висічок».

З використанням методів стохастичного моделювання розроблено методику розрахунку середнього діаметра коренеплодів буряків цукрових і прогнозування їх фракційного складу. Розглянувши імітаційну модель коренеплоду як геометричної фігури, що складається з конуса та півсфери автором виведено аналітичні залежності, які дозволяють розрахувати параметри коренеплодів на основі врожайності та густоти стояння рослин.

У п'ятому розділі (С. 167-207) «Формування енергетичної продуктивності рослин сорго цукрового залежно від особливостей сорту, строків сівби насіння та доз добрив» наводяться результати експериментальних досліджень, проведених у різних частинах Лісостепової зони України, в яких вивчалися особливості формування продуктивності рослин різних сортів і гібридів сорго цукрового під впливом доз мінеральних добрив та строків сівби насіння.

За результатами досліджень встановлено, що 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).

За вирощування сорго цукрового в умовах недостатнього зволоження врожайність зеленої біомаси 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 забезпечило в 1,8 раза вищу цукристість соку порівняно із фазою викидання волоті. Подовження періоду вегетації рослин сорго цукрового за рахунок пізнішого збирання врожаю дозволяє збільшити суху речовину та зменшити вміст зольних елементів у біомасі.

Результати досліджень, проведених у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу засвідчили, що 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 у цих умовах впливали погодні умови (49,6 %), дози добрив (16,1 %) та особливості сорту і гібрида (15,4 %).

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.

У шостому розділі (С. 208-247) «Оцінка енергетичного потенціалу буряків цукрових залежно від елементів технології їх вирощування» наведено результати польових досліджень з визначення особливостей формування продуктивності буряків цукрових у різних ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу України за різної густоти стояння рослин та доз мінеральних добрив.

За результатами досліджень автором встановлено, що для зони нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України максимальна врожайність коренеплодів буряків цукрових сорту ‘Білоцерківський однонасінний 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.

В умовах 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 $N_{75}P_{50}K_{50}$. 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 – $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найвищу цукристість коренеплодів гібрида 'Ворскла' (19,0 %) отримано 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.

Найбільшу врожайність коренеплодів буряків цукрових гібридів ЩБ 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 $N_{150}P_{100}K_{100}$. Найвищі значення цукристості спостерігали на варіанті без внесення добрив за густоти стояння рослин 130 тис. шт. /га.

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.

У сьомому розділі (С. 248-265) «Агробіологічні основи формування продуктивності рослин буряків цукрових залежно від строків збирання врожаю» подано результати досліджень, проведених у центральній частині та на малопродуктивних землях західної частини Лісостепу України. Доведено, що на ґрунтах з низьким вмістом гумусу за врожайністю коренеплодів, виходом біопалива та енергії незначна перевага була за гібридом 'Булава' над гібридами 'Герой' та 'Козак', при цьому максимальний вихід біоетанолу та енергії досягався за збирання коренеплодів у кінці вересня - на початку жовтня. Встановлено тісну прямолінійну регресійну залежність між гідротермічним коефіцієнтом Селянінова і виходом біоетанолу та енергії з рослин буряків цукрових. В умовах нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України за розмірно-масовими характеристиками коренеплодів, вмістом сухої речовини і цукру кращим виявився гібрид 'Константа'.

Динаміка накопичення енергетично корисних речовин у коренеплодах і гичці буряків цукрових свідчить, що збирання біомаси для виробництва

біопалива доцільно розпочинати на початку вересня, при цьому зміщення строків збирання на пізніший термін призводить до зменшення виходу біогазу, водночас кількість етанолу зростає несуттєво.

У восьмому розділі (С. 266-322) «Енергетичний потенціал сорго цукрового залежно від сортових особливостей та строків збирання біомаси» автор наводить результати польових досліджень, проведених впродовж 2016-2020 рр. у східній, центральній та західній частині Лісостепової зони України, а також в умовах недостатнього зволоження.

За результатами проведених досліджень здобувачем встановлено, що 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. 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 виявився найстабільніший.

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 ($b=1,6$). В умовах 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' ($b=1,62$). 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 $b=1,29$.

Встановлено, що 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).

Проаналізувавши узагальнені дані з чотирьох дослідно-селекційних станцій, що різнились як за погодними, так і за ґрунтово-кліматичними умовами, автор робить висновок, що ранні строки збирання не забезпечують реалізацію енергетичного потенціалу жодного з досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового.

Дев'ятий розділ (С. 323-331) «Обґрунтування технологічних та агробіологічних аспектів використання біомаси сорго цукрового» містить результати лабораторних досліджень щодо особливостей отримання соку зі стебел сорго цукрового. За результатами досліджень відмічено, що

застосування інтенсивного подрібнення стебел сорго цукрового (до часток розміром менше 0,1 мм) сприяло збільшенню виходу соку в 1,4 - 1,9 рази в залежності від сортових особливостей. Фаза розвитку рослин не суттєво впливала на вихід соку. Натомість цукристість соку залежала від фаз розвитку рослин і сортових особливостей і змінювалася в межах 7,5 – 16 % (фаза цвітіння) і 13,1 - 19,0 % (фаза повної стиглості зерна). Збір стебел сорго цукрового у фазі повної стиглості зерен дозволяє в середньому на 3,2% підвищити загальний вміст цукрів у соку (з 13,3 до 16,5 %). Застосування інтенсивного подрібнення стебел незначно впливає на цукристість отриманого соку. На основі цього автор робить висновок, що вміст вуглеводів у соку визначається в першу чергу агробіологічними параметрами рослин: особливостями сорту і гібрида та фазами розвитку рослин сорго цукрового, а вплив технологічних чинників на якісні показники соку є другорядним.

У десятому розділі (С. 332-349) «Економічна та енергетична ефективність вирощування цукроносних культур для біопалива» розраховано показники економічної та енергетичної ефективності вирощування цукроносних культур. Відмічено, що 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 вирощування сорго цукрового призводило до підвищення собівартості біопалива. 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. Лише за вирощування буряків цукрових на малопродуктивних (маргінальних) землях внесення добрив позитивно впливало на рівень рентабельності та коефіцієнт енергетичної ефективності. Найбільший умовно чистий прибуток від реалізації зеленої біомаси сорго цукрового досягався за вирощування сорту 'Довіста' і варіював у межах від 18,3 до 39,3 тис. грн /га залежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування. У разі переробляння зеленої біомаси на біогаз, умовно чистий прибуток зростає у 3,9-6,5 раза.

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

У висновках та рекомендаціях виробництву (С. 350-357) узагальнено основні результати досліджень, які відповідають експериментальним даним і є логічним завершенням роботи.

Зокрема для навчальних та науково-дослідних установ автор рекомендує використовувати методику 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.

У рекомендаціях для сільськогосподарського виробництва відмічено, що під час вирощування сорго цукрового як сировини для виробництва біоетанолу, біогазу і твердого біопалива слід 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.

З метою збільшення виходу соку для переробної промисловості рекомендується проводити попереднє інтенсивне подрібнення стебел сорго цукрового на часточки розміром до 0,1 мм.

У списку використаних літературних джерел (С. 358-409) наведено перелік публікацій, на які посилається автор у тексті дисертації. Список використаних джерел налічує 466 найменувань, з яких 221 – латиницею.

У шести додатках (С. 410-450) наведено допоміжні дані, які не увійшли в основний текст дисертації, та матеріали, що підтверджують впровадження результатів наукових досліджень у навчальний процес та виробництво.

Оцінка мови і стилю дисертації. Дисертація написана українською мовою, логічно побудована, з широким використанням графічного матеріалу, який полегшує сприйняття експериментальних даних та розкриває встановлені закономірності. Викладенні у дисертаційній роботі результати досліджень чітко структуровані, та статистично обґрунтовані.

У цілому, порушені у дисертаційній роботі проблеми є актуальними для сучасної аграрної науки та виробництва. Робота відповідає усім вимогам МОН України, проте в процесі ознайомлення та аналізу дисертації виникли **деякі зауваження та побажання:**

1. В основному тексті дисертаційної роботи автор наводить надто детальну характеристику окремих сортів та гібридів сорго цукрового та буряків цукрових, яку краще було б розмістити у додатках.
2. У роботі забагато уваги приділено опису ґрунтово-кліматичних та погодних умов регіонів досліджень.
3. Під час аналізу продуктивності сортів і гібридів сорго цукрового з тексту дисертації не завжди зрозуміло про яку врожайність йде мова: загальну надземну біомасу, чи лише біомасу стебел.
4. У першому пункті рекомендацій виробництву вжито не коректне словосполучення «продуктивність досліджень».
5. У другому пункті пропозицій виробництву недоцільно наводити перелік сортів і гібридів сорго цукрового які рекомендується для вирощування в Лісостепу України, оскільки у подальшому вони перераховані в розрізі окремих підзон лісостепової зони.
6. Дисертаційна робота на мою думку перенасичена графічним матеріалом (186 рисунків), частину якого доцільно було б подати у табличному вигляді.
7. У дисертаційній роботі бажано було б більше акцентувати увагу на порівняльній оцінці двох досліджуваних цукроносних культур (сорго цукрове та буряків цукрові) між собою за показниками врожайності та виходом біопалива.
8. У десятому розділі наведено громісткі таблиці (табл. 10.1 - 10.4), що містять показники економічної та енергетичної ефективності застосування мінеральних добрив під час вирощування сорго цукрового, які краще було б розмістити у додатках, а у основному тексті подати лише найбільш вагомі показники.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У цілому можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ганженка Олександра Миколайовича є самостійною завершеною працею, виконаною на сучасному високому рівні, має значну наукову і практичну цінність та відповідає вимогам МОН України.

За актуальністю теми, науково-методичним рівнем проведених досліджень та практичною цінністю дисертація відповідає вимогам пункту 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог МОН, у достатній мірі проілюстрована графічним та табличним матеріалом.

У цілому дисертаційна робота на тему «Теоретичні та агробіологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для виробництва біопалива в лісостепу України», заслуговує позитивної оцінки, а її автор Ганженко Олександр Миколайович – присудження наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.09 - рослинництво.

Офіційний опонент:

доктор сільськогосподарських наук,
професор, академік НААН України
завідувач кафедри рослинництва
Національного університету
біоресурсів і природокористування
МОН України

С.М. Каленська

