Голові разової спеціалізованої вченої ради ДФ 20 051.176
Карпатського національного університету імені Василя Стефаника
доктору сільськогосподарських наук, професору
Володимиру ЗАЇЦІ

Відгук
офіційного опонента, доктора сільськогосподарських наук, професора,
Дороніна Володимира Аркадійовича на дисертаційну роботу
Сітника Андрія Андрійовича
на тему: **«ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 20 Аграрні науки та продовольство
за спеціальністю 201 Агрономія

Актуальність теми та отриманих результатів. У зв'язку з зростанням площ еродованих та малопродуктивних земель та прогресуючим погіршенням стану навколишнього середовища в Україні дедалі більшої наукової та практичної актуальності набуває проблема виведення деградованих дерново-підзолистих ґрунтів із інтенсивного рільничого використання та їхньої фітомеліоративної реабілітації через створення агрофітоценозів на основі багаторічних енергетичних культур. У контексті енергетичної безпеки України, виконання зобов'язань у рамках Європейського зеленого курсу, Паризької угоди та потреби заміщення імпортних викопних палив місцевою біомасою, наукове обґрунтування адаптивних технологій вирощування біоенергетичних культур у Західному регіоні набуває стратегічного значення. Регіон дедалі частіше виступає «новим аграрним полюсом» через відносно кращу вологозабезпеченість порівняно з півднем і сходом, а також наявність значних площ малопродуктивних земель, придатних під енергетичні плантації.

Серед перспективних багаторічних та однорічних енергетичних рослин вирізняється міскантус гігантський (Miscanthus × giganteus) та просо прутоподібне – стерильний гібрид родини Poaceae (тонконогові), C_4-рослина європейської кліматичної зони, просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.), сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) та кукурудза звичайна (*Zea mays* L.) за рахунок адаптивних властивостей та потенціалу продуктивності здатні формувати високі та стабільні врожаї надземної вегетативної маси – біомаси.

У зв'язку з цим актуальність дисертаційної роботи та наукова та практична значущість отриманих результатів полягають у встановленні специфічних особливостей росту, розвитку та формування продуктивності

багаторічних і однорічних біоенергетичних культур залежно від систем удобрення в ґрунтово-кліматичних умовах Західного регіону України. Встановлено закономірності впливу різних рівнів і співвідношень елементів мінерального живлення на показники рослин, динаміку накопичення сухої біомаси, її структурні компоненти та якісні характеристики як сировини для біоенергетики. Особливе значення має комплексна оцінка енергетичної ефективності та економічної доцільності удосконалених елементів технологій вирощування, що були об'єктом експериментального вивчення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові напрацювання, які узагальнені в дисертаційній роботі, входили до тематичного плану Карпатського національного університету імені Василя Стефаника та виконувалися в межах державної науково-технічної програми «Розробити системи заходів по запобіганню негативного впливу екстремальних екологічних ситуацій на природно-ресурсний потенціал Західного регіону України» (номер державної реєстрації 0113U006317) (2013–2027).

Наукова новизна отриманих результатів. *Вперше* в умовах змін клімату Західного регіону України вивчено особливості росту та розвитку рослин і формування врожайності міскантусу гігантського, проса прутоподібного, сорго цукрового та кукурудзи звичайної за вирощування на дерново-підзолистому ґрунті в умовах Західного регіону України та застосуванні системи удобрення.

Удосконалено технологію вирощування біоенергетичних культур завдяки оптимізації елементів догляду за посівами, що позитивно позначилось на формуванні урожайності високоякісної біомаси – рослинної сировини, придатної для виробництва біопалив.

Набули подальшого розвитку питання встановлення закономірностей ростових процесів біоенергетичних культур, формування ними біометричних показників; методичні підходи до з'ясування енергетичної та економічної оцінки запропонованих агрозаходів.

Практичне значення отриманих результатів. Відповідно до результатів досліджень для Західного регіону України виробництву рекомендовано оптимальні складові технології вирощування різних видів біоенергетичних культур. Окрім цього здобувачем здійснено впровадження результатів досліджень у виробництво (ПФГ «Поточище») та у співавторстві розроблені методичні рекомендації, що застосовуються у Карпатському національному університеті імені Василя Стефаника на кафедрі лісового і аграрного менеджменту на практичних заняттях з дисципліни «Новітні біоенергетичні рослинні ресурси».

Обґрунтованість і достовірність одержаних наукових результатів. Достовірність отриманих результатів забезпечена застосуванням сучасного комплексу загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, а також методів аналізу й синтезу. Польові дослідження проведено у 2022–2025 рр. з багаторічними біоенергетичними культурами та у 2023–2025 рр. – з однорічними енергетичними культурами на дослідному полігоні кафедри

лісового та аграрного менеджменту Карпатського національного університету імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ). Дослідження виконані відповідно до класичної методики польової дослідної справи в агрономії (дотримання принципів рендомізації, реплікації, вирівнювання умов, облікових ділянок тощо).

Статистичну обробку експериментальних даних здійснено за допомогою сучасних програмних засобів з використанням дисперсійного аналізу. Достовірність відмінностей підтверджена на рівні значущості $p \leq 0,05$ ($НІР_{0,05}$), а кількісна мінливість оцінена за допомогою основних статистичних показників: середнє арифметичне, стандартна похибка середнього (m), коефіцієнт варіації (V, %), найменша істотна різниця ($НСР_{05}$).

Методологічно дослідження відзначаються вдалим поєднанням польового експерименту, фенологічних спостережень, біометричних вимірювань, лабораторного аналізу якості біомаси, енергетичного та економічного розрахунків, що забезпечило комплексний, об'єктивний і науково обґрунтований підхід до вирішення поставлених завдань.

За підсумками виконаного дослідження опубліковано чотири наукові статті у фахових виданнях України категорії Б, одні методичні вказівки, а також сім тез доповідей у матеріалах науково-практичних конференцій..

Аналіз структури та змісту дисертації. Обсяг дисертаційної роботи викладено на 198 сторінках комп'ютерного набору, включає 29 таблиць, 25 рисунків. Складається робота із анотації, вступу, 6 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, додатків. Список використаних джерел налічує 327 джерел, з них 125 латиницею.

Загальна характеристика роботи. Дисертація містить усі розділи, передбачені вимогами до оформлення дисертації згідно з Наказом МОН України «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» № 40 від 12.01.2017 року (зі змінами), а також у відповідності з Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року (зі змінами) «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

У анотації детально викладені основні результати наукових досліджень, які отримані при виконанні дисертаційної роботи, а також подано список власних публікацій.

У вступі наведено актуальність обраної теми, об'єкт та предмет, мету, завдання роботи, наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача у виконанні дисертаційної роботи, відображена апробація результатів роботи, основні положення дисертації та методи, які застосовані для вирішення поставлених завдань.

У РОЗДІЛІ 1 «Аналіз сучасних досліджень щодо формування продуктивності біоенергетичних культур в умовах зміни клімату» включає 5 підрозділів, що викладенні на 27 сторінках, де автор приводить і узагальнює дані іноземної та вітчизняної літератури за тематикою дисертаційної роботи.

У РОЗДІЛІ 2 «Умови, програма та методичні засади проведення досліджень» наведено характеристику ґрунтово-кліматичних умов дослідного полігону Карпатського національного університету імені Василя Стефаника за період 2022–2025 рр. (багаторічні культури) та 2023–2025 рр. (однорічні культури), з урахуванням регіональних особливостей Західного регіону України: Детально описано програму досліджень, схеми двох польових експериментів: «Формування продуктивності багаторічних енергетичних культур залежно від рівнів удобрення» (Дослід 1) та «Вплив добрив на продуктивність однорічних енергетичних культур» (Дослід 2), а також методику польових і лабораторних досліджень відповідно до принципів агрономічної дослідної справи. Наведено характеристику сортів рослин, добрив та біопрепаратів, що використовували у дослідах, а також описано методики проведення спостережень, обліків та аналізів.

У РОЗДІЛІ 3 «Особливості росту та розвитку біоенергетичних культур залежно від окремих елементів технології вирощування» представлено результати вивчення особливостей росту, розвитку та формування продуктивності біоенергетичних культур залежно від елементів технології вирощування, зокрема систем мінерального та мікроелементного живлення, в ґрунтово-кліматичних умовах Західного регіону України.

Встановлено, що міскантус гігантський (Miscanthus × giganteus), просо прутоподібне (Panicum virgatum), сорго цукрове (Sorghum saccharatum) та кукурудза звичайна (Zea mays) суттєво відрізняються за рівнем і стабільністю продуктивності, а також характером реакції на внесення макро- та мікродобрив. Найвищий і найбільш стабільний вихід сухої біомаси забезпечував міскантус гігантський, тоді як сорго цукрове та кукурудза демонстрували вищу мінливість показників під впливом абіотичних факторів. У всіх вивчених культур домінуючим фактором підвищенням висоти було застосування мінеральних добрив, що забезпечувало значне зростання біомаси. Мікродобрива виступали як фізіологічні стимулятори, посилюючи ефект макроелементів, особливо в комбінованих варіантах удобрення, що сприяло оптимізації метаболічних процесів, кращому накопиченню сухої речовини та підвищенню енергетичного потенціалу біомаси.

У РОЗДІЛІ 4 «Продуктивність енергетичних культур за різного удобрення» наведено результати досліджень з вивчення продуктивності енергетичних культур за різного удобрення. Досліджено, що міскантус гігантський досягав повної продуктивності на 3–4-й роки вирощування, формуючи 30–42 т/га зеленої біомаси залежно від варіанта живлення та погодних умов року. Комбіновані варіанти удобрення забезпечували найвищі прирости врожайності (до +41 % порівняно з контролем), а також мінімальні міжрічні коливання, що свідчить про високу адаптивність культури до змін клімату. Просо прутоподібне характеризувалося поступовим наростанням продуктивності та стійкою реакцією на застосування мікродобрив: прирости врожайності становили 14–17 %, тоді як комбіновані варіанти забезпечували підвищення до +34 % порівняно з контролем. У фазі стабільної

продуктивності врожайність досягала 20–23 т/га, при цьому мікродобрива проявляли високу ефективність за мінімальних додаткових витрат.

Встановлено, що сорго цукрове забезпечувало найвищі валові виходи зеленої маси (52–70 т/га), однак підвищена вологість її та значний вплив погодних умов призводили до зниження стабільності врожайності у 2024–2025 рр. Мікродобрива забезпечували приріст 24–25 %, а максимальний ефект досягався за їх поєднання з мінеральними добривами (до +36 % порівняно з контролем). Кукурудза звичайна демонструвала найвищий приріст зернової продукції під впливом мінеральних добрив (до +54 %) та стабільне підвищення врожайності побічної продукції (на 6–9 %). Комбіновані варіанти удобрення N90P90K90 + мікродобрива забезпечували найвищу продуктивність зерна (10,6–10,7 т/га) та вегетативної маси (17,7 т/га).

У РОЗДІЛІ 5 «Елементний склад однорічних енергетичних культур в умовах Західного регіону України» подано дані про елементний склад однорічних енергетичних рослин залежно від підживлення посівів. Максимальний вміст фосфору спостерігався у варіанті з внесенням Інтермаг Титан, де його концентрація становила 184 мг/100 г у листках кукурудзи та 114 мг/100 г коренях, тоді як у варіанті з внесенням БЛЕК ДЖЕК КС найвищий вміст фосфору відмічено у стеблах кукурудзи – 164 мг/100 г. З цього випливає, що титановмісні добрива сприяють засвоєнню фосфору та калію рослинами кукурудзи з ґрунту, а гумінові препарати є ефективним джерелом калію. Водночас встановлено, що за застосування добрив у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ вміст калію був найвищим і становив у листках кукурудзи 1205 мг/100 г, у стеблах – 1362 мг/100 г, у зерні – 725 мг/100 г. Виявлено, що застосування мікродобрив сприяло підвищенню концентрацій мікроелементів (Fe, Mn, Ti, Zn, Ni), що свідчить про їх стимулюючу дію на процеси поглинання та нагромадження елементів живлення. Водночас для фосфору та сірки відзначалося зниження їх вмісту в коренях у варіантах із мікродобривами, що пов’язано з активнішим використанням цих елементів у метаболічних процесах рослини.

У РОЗДІЛІ 6 «Економічна та енергетична ефективність вирощування культур на біоенергетичні цілі» проведена економічна та енергетична оцінка вирощування біоенергетичних культур. Встановлено, що найбільш високорентабельними виявилися вирощування кукурудзи та міскантусу гігантського, тоді як просо прутоподібне демонструвало помірну прибутковість, а сорго цукрове при існуючій ціні зеленої маси було збитковим.

Міскантус гіганський мав максимальні значення коефіцієнта енергетичної ефективності (КЕЕ) – 34–39, яка пояснюється високим виходом сухої біомаси (до 51 т/га у найкращі роки) та низькими енергетичними витратами після закладки плантації. Комбіновані варіанти удобрення забезпечували найвищі енерговиходи (до 886 тис. МДж/га). Просо прутоподібне мало КЕЕ у межах 15–18. Високі значення цього показника на варіантах застосування мікродобрив засвідчують, що ця культура є

енергетично доцільною за умов мінімальних витрат і стабільного рівня продуктивності. Сорго цукрове після корекції енерговиходів із урахуванням фактичної вологості біомаси характеризувалося КЕЕ 9–11. Це значно нижче показників багаторічних культур, але відповідає рівню однорічних зеленомасових культур. Найвищі значення фіксувалися у варіантах із мікродобривами. Кукурудза формувала КЕЕ на рівні 11–13. Висока енерговіддача зумовлена поєднанням енергетично цінного зерна та побічної біомаси. Культура залишалася енергетично ефективною у всіх варіантах удобрення, причому мікродобрива забезпечували максимальну віддачу енергії на вкладену одиницю ресурсів.

ВИСНОВКИ дисертації ґрунтуються на результатах власних експериментальних досліджень, всього сформульовано 12 ключових висновків, які мають практичне спрямування стосовно встановлення особливостей формування продуктивності біоенергетичних культур (міскантус гігантський, просо прутоподібне, сорго цукрове, кукурудза звичайна) залежно від умов вирощування та систем підживлення в ґрунтово-кліматичних умовах Західного регіону України.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ містять пропозиції для господарств Західного регіону України з нестійким зволоженням на дерново-підзолистому ґрунті доцільно впроваджувати вирощування багаторічних біоенергетичних культур, зокрема міскантусу гігантського сорту Осінній зорецвіт та проса прутоподібного сорту Морозко, а також однорічних – сорго цукрове сорту Фаворит та кукурудзу звичайну гібрид Мантікора, як стабільних і адаптивних до кліматичних змін агроценозів із високим енергетичним потенціалом. Для забезпечення максимальної продуктивності та стабільності врожаїв міскантусу гігантського та проса прутоподібного рекомендується застосовувати комбіновану систему удобрення з внесенням у нормі $N_{30}P_{30}K_{30}$ + Інтермаг Титан, що забезпечує приріст біомаси до 35 % порівняно з контролем та найвищу енергетичну віддачу. Для однорічних біоенергетичних культур у зоні Передкарпаття оптимальним є застосування збалансованого мінерального живлення. За вирощування кукурудзи звичайної доцільно застосовувати удобрення $N_{90}P_{90}K_{90}$ + БЛЕК ДЖЕК КС та $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Інтермаг Титан, що забезпечує найвищу та найбільш стабільну врожайність зерна і побічної продукції з рентабельністю виробництва понад 100 %.

Оцінка мови та стилю дисертації. Мова і стиль викладення матеріалу дисертації Сітника А.А. відповідають вимогам академічного письма. Структура дисертації є логічною й такою, що відповідає поставленій меті та визначеними для її реалізації завданнями. Зроблені обґрунтовані висновки базуються на статистично підтверджених результатах власних досліджень автора. Виклад отриманих результатів у рукописі дисертації представлено в доступній для сприйняття формі та структуровано у логічній послідовності відповідно змісту. Стиль написання та оформлення дисертації відповідає загальноприйнятим в агрономічних дослідженнях вимогам.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи.

1. У перелік умовних позначень не включаються загальноприйняті скорочення, а саме: відсоток, градус Цельсія, N – азот, К – калій, Р – фосфор, гектар, гривня, діюча речовина, Європейський Союз, мільйон, Національна академія аграрних наук України, найменша істотна різниця, рік, тонна, тисяча, тисяч штук на гектар, а включаються лише специфічні скорочення і якщо в тексті вони часто згадуються.

2. Літературних джерел більше, ніж достатньо, а було б ще краще, щоб автор використовував новіші джерела. Наприклад по свічграсу Дригою В.В опубліковано більше 20 статей в українських виданнях і більше 10 в зарубіжних виданнях, в т.ч в журналах, які цитуються в науково метричній базі Скопус, захищено докторську дисертацію.

3. Як вносили добрива – в основне чи позакореневе підживлення?

4. На стор. 65 за характеристики кукурудзи доцільно вказати не лише рівень урожайності, а і чого – сухої чи сирої біомаси чи зерна.

5.Зустрічаються невдалі вирази: «...просо прутоподібне висаджували..», насіння висівається, а не висаджується (стор. 63);

6. На стор.70 (абз.1) наведено аналіз висоти рослин міскантусу за роками досліджень в 2024 р. висота підвищилася до 264 см, а в 2025 р. – до 238 см, не зрозуміло як це. Аналогічні результати і за використання позакореневого підживлення (стор. 70, абз. 2 і 3). Чому в 2025 р. висота рослин зменшилася порівняно з 2024 р.?

7. Рисунки з висоти рослин, кількості стебел і пагонів, густоти рослин гарно показують динаміку збільшення цих показників але відсутність цифрового матеріалу важко їх аналізувати. На наш погляд такий великий матеріал подавати в таблицях, так як в табл. 3.1.

8. У розділі 4 наведено урожайність зеленої (сирої) біомаси біоенергетичних культур, доцільно було б визначити вміст сухої речовини в рослинах і перерахувати крім урожайності сирої біомаси і урожайність сухої біомаси. Для виготовлення біопалива це важливий показник від якого залежить вихід палива.

9. У табл. 6,8 «Економічна ефективність вирощування сорго цукрового Фаворит, грн/га», що саме - зерна чи вегетативної маси? Аналогічно табл. 6,9.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Сітника Андрія Андрійовича на тему: «Особливості формування продуктивності біоенергетичних культур в умовах зміни клімату Західного регіону України», яка подана до захисту у спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 20 – Аграрні науки та продовольство за спеціальністю 201 Агрономія за актуальністю, науково-теоретичним рівнем, основними результатами обґрунтованості, основними положеннями і результатами, опублікованими у фахових виданнях, новизною постановки та практичним значенням відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року (зі змінами), «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а також

вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 №44 (зі змінами). Зміст дисертації відповідає спеціальності 201 Агрономія, а здобувач Сітник А.А. заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 20 – Аграрні науки та продовольство за спеціальністю 201 Агрономія.

Офіційний опонент,
доктор сільськогосподарських наук,
професор, заслужений діяч науки і техніки України,
завідувач відділом селекції і насінництва
Інституту біоенергетичних культур і
цукрових буряків НААН Володимир ДОРОНІН