

До разової спеціалізованої ради ДФ 35.051.098
Львівського національного університету
імені Івана Франка
м. Львів, вул. Університетська, 1

ВІДГУК

*офіційного опонента, доктора біологічних наук, професора,
член-кореспондента НАН України, завідувача відділу фізіології живлення
рослин Інституту фізіології рослин і генетики НАН України*

Швартау Віктора Валентиновича

*на дисертацію Макар Ориси Орестівни на тему «Фізіологічні основи
продуктивності і якості зерна ярої пшениці»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія»*

Актуальність теми дисертації. Рослинництво України є важливою галуззю економіки і в останні роки забезпечує понад 40% надходжень до бюджету від експорту. З початком війни росії проти України основним чинником формування технологій вирощування стала економія ресурсів. Війна в Україні викликала продовольчу кризу у світі, яка, на думку ООН, 2022, може тривати роками. Тому, головним трендом у формування технологій вирощування є економія ресурсів, забезпечення високих рівнів ефективності використання елементів живлення за провадження інноваційних рішень у живленні та захисті посівів для забезпечення формування продуктивності сортів і гібридів культурних рослин.

Україна є потужною аграрною державою, а вирощування пшениці озимої, соняшнику, кукурудзи, ріпаку та ряду інших культур – основою рослинництва країни. Численні експериментальні дані провідних селекційних центрів світу свідчать, що потенціал продуктивності культурних рослин може бути надзвичайно високим. У формуванні врожаю культурної рослини за сприятливих погодних умов (вологозабезпечення, температура, ФАР, захист від бур'янів, хвороб та шкідників) та оптимальної густоти посіву внесок сорту становить 60-70 %, а вдосконалення мінерального живлення (в першу чергу азотного) – 30-40%. Несприятливі погодні умови можуть суттєво зменшити врожайність, залежно від рівнів стійкості генотипу. Отже, для отримання високого врожаю пшениці необхідна оптимізація взаємодії двох головних складових – високого генетичного потенціалу продуктивності та відповідних для його повного розкриття умов вирощування.

Рівень врожайності культурних рослин пов'язаний з відповідними збалансованими дозами внесення макро- та мікроелементів. Серед економічних чинників, що негативно відбиваються на виробництві продукції рослинництва в країні, можна зазначити високі ціни на добрива та транспортні витрати, обмеженість земельних і водних ресурсів. Тому, для України питання вдосконалення систем живлення є виключно важливим не тільки для

формування високих та якісних врожаїв, але й до збереження родючості ґрунтів. Відповідно Конституції України земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави (стаття 14; <https://www.president.gov.ua/ua/documents/constitution/konstituciya-ukrayini-rozdil-i>), а вирішення проблем живлення рослин є шляхом забезпечення продовольчої, екологічної та економічної безпеки держави.

Тому, є безумовно актуальною **Мета дослідження** – вивчення фізіологічних основ формування якісного врожаю зерна різних сортів пшениці ярої вітчизняної селекції в умовах польового експерименту за різної біодоступності мікроелементів, із акцентом на посухостійкість і вміст мікроелементів Феруму (Fe), Цинку (Zn), Купруму (Cu); та ідентифікування бактерій-ендофітів у зв'язку із їх потенційним впливом на врожайність та якість зерна

На думку опонента завдання дослідження викладені коректно:

1. Дослідити основні фізико-хімічні властивості ґрунтів дослідних ділянок, зокрема вміст органічної речовин, рН, концентрацію доступних форм Fe, Zn та Cu.

2. Визначити посухостійкість окремих сортів пшениці ярої за фізіологічними показниками водного режиму прапорцевих листків та їх зв'язок із врожайністю.

3. Визначити кількісні та якісні показники продуктивності рослин пшениці за умов різної доступності елементів мінерального живлення, зокрема, врожайність та структуру врожаю, масу сухої речовини, загальний вміст білків в зерні, концентрацію мікроелементів в зерні.

4. Оцінити здатність рослин різних сортів пшениці ярої до поглинання, транслокації та акумулювання Fe, Zn та Cu від ґрунту до репродуктивних органів та завантаження в зерно за різних умов мінерального живлення.

5. Ізолювати та ідентифікувати бактеріальні ендоефіти з зерна та тканин проростків *in vitro* сортів пшениці, контрастних за накопиченням мікроелементів та встановити ймовірний вплив ендоефітної колонізації на діапазон надходження мікроелементів із врахуванням здатності до синтезу ауксиноподібних сполук.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі фізіології та екології рослин біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка в рамках проекту CRDF «Сталі підходи до збільшення врожайності та харчова цінності пшениці» (OISE 16-62755, 2017-18 pp.), в межах співпраці Львівського національного університету імені Івана Франка та Корнелльського Університету (США); частково дослідження проводились на базі кафедри біології та біотехнології мікроорганізмів Інституту біологічних наук Люблінського католицького університету імені Івана Павла II (Польща) в межах стипендій Visegrad Scholarship «Bacterial endophytes of the spring wheat varieties» (№ 51810815, 2018-19 pp.) та Visegrad Scholarship «Bacterial endophytes of the spring wheat varieties with different micronutrient acquisition ability» (№ 52010505, 2020-21 pp.).

Структура роботи.

Дисертація містить такі розділи: “Вступ”, “Огляд літератури”, “Матеріали та методи досліджень”, “Результати досліджень”, “Аналіз та узагальнення результатів досліджень”, “Висновки”, “Список використаних джерел” та “Додатки”. Дисертацію викладено на 244 сторінках друкованого тексту і проілюстровано 36 рисунками та 14 таблицями.

Список літератури включає 489 найменування.

У **Вступі** дисертант обґрунтовує актуальність проведення досліджень; детально викладає значення пшениці та якості зерна для забезпечення продовольчої безпеки у світі та в Україні, шляхи вирішення проблем живлення культури, показує зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами, формулює мету та завдання дослідження, визначає об'єкт, предмет та методи дослідження, висвітлює наукову новизну, практичне значення та інформацію про особистий внесок, публікації, апробацію одержаних результатів, обсяг і структуру дисертації.

У розділі 1 – **Огляді літератури** дисертантом наведено загальну характеристику пшениці, як важливого об'єкту дослідження. Наведено інформацію щодо харчової якості зерна пшениці, розглянуто білки зерна пшениці.

Автором розглянуто посуха та тепловий стрес як фактори зниження врожаю зерна пшениці.

В огляді також розглянуто особливості поглинання мікроелементів рослинами та їх роль в покращенні харчової цінності зерна; а також роль бактеріальних ендоспорофитів в покращенні харчової цінності зерна пшениці.

Огляд літератури написаний ґрунтовно із залученням значної кількості сучасних вітчизняних та закордонних наукових джерел з досліджуваної тематики, достатньо інформативний і побудований таким чином, що з нього логічно витікають завдання дослідження.

У розділі 2 «**Умови, матеріали та методи дослідження**» наведено характеристика досліджуваних сортів пшениці, умови проведення польових досліджень. Варто відзначити суттєву кількість сортів у досліді.

Автор у прецизійному стилі викладає методики, які були використані у дисертаційній роботі:

- визначення основних фізико-хімічних показників ґрунту
- визначення рН ґрунту
- визначення вмісту органічної речовини ґрунту
- екстрагування біодоступних форм мікроелементів із ґрунту
- визначення посівної якості насіння
- визначення площі прапорцевого листка
- визначення основних показників водного режиму рослин
- визначення загального вмісту білків у зерні
- визначення врожайності зерна та структури врожаю
- визначення концентрації мікроелементів в рослинному матеріалі
- виділення бактеріальних ендоспорофитів з зерна пшениці

- виділення бактеріальної ДНК
- визначення бактеріальної здатності до синтезу ауксиноподібних сполук (IRCs)
- втримання асептичної культури проростків пшениці в умовах *in vitro*
- екстрагування та секвенування бактеріальної ДНК, отриманої з рослин *in vitro*

Також, добре викладено пункт 2.15. «Статистична обробка результатів».

Наведені у дисертаційній роботі **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ** та їх фахове обговорення представлено у **розділі 3**.

У межах **розділу 3** проведено аналіз основних фізико-хімічних властивостей ґрунтів двох різних за біодоступністю мікроелементів дослідних ділянок, оскільки, обмежену біодоступність мікроелементів вважають основною причиною їх низького вмісту в зерні пшениці.

Кращі морфометричні показники, зокрема, довжина кореня і висота пагона для всіх досліджуваних сортів пшениці ярої спостерігали на чорноземних слаболужних ґрунтах ділянки Дмитрів. Показано існування позитивних кореляційних зв'язків між площею прапорцевого листка та врожайністю зерна на ділянці Дмитрів та слабкі позитивні кореляції на ділянці Д. Лужок. У подальшому варто більш детально вивчити дану залежність, її вплив на ефективність використання вологи та елементів живлення, й відповідно визначити особливості впливу на продуктивність.

Автором досліджено рівні посухостійкості досліджуваних сортів пшениці за результатами визначення показників водного дефіциту (WD), відносного вмісту води (RWC), водоутримної здатності у перерахунку на масу (EL WLW) і площу (EL WLA) прапорцевих листків впродовж вегетаційного сезону 2018 р. із низьким рівнем опадів і високими температурами. Показники EL WLW та EL WLA можна рекомендувати як додаткові показники стійкості пшениці до водного стресу. Підтверджено відмінності в реакції на посуху серед сортів пшениці м'якої і твердої (*T. aestivum* і *T. durum*). Відзначено високу посухостійкість сорту МІП Райдужна та виокремлено сорти з високою врожайністю та посухостійкістю: Жізель (тверда), Голіковська (полба) і Сімкода миронівська (м'яка).

Автором також припущено, що сорти м'якої пшениці – Дубравка, Оксамит миронівський, та твердої – Чадо, Династія, є стійкішими до факторів навколишнього середовища, із властивою їм вищою адаптаційною пластичністю до умов вирощування, за умов різного забезпечення мінеральними елементами.

Важливим є обґрунтування у роботі основ формування продуктивності пшениці: проведено кореляційний аналіз між врожайністю та елементами її структури; найбільше позитивних кореляцій виявлено між врожайністю зерна (ВЗ) та кількістю зерен в колосі (КЗК), масою 1000 зерен (МТЗ), висотою колоса (ВК). Підтверджено залежність концентрації Fe, Zn та Cu в органах пшениці від вмісту їх доступних форм в ґрунті. Виявлено сортові особливості накопичення елементів. Досліджено здатність сортів акумулювання Fe, Zn та Cu в прапорцевих листках та колосах з подальшою їх реутилізацією у зерно.

Встановлено кореляційні залежності між концентраціями мікроелементів, що може вказувати на існування одного або кількох спільних генетичних і фізіологічних механізмів, залучених до поглинання мінеральних елементів кореневою системою, їх переміщення та перерозподілу в тканинах рослин, з подальшою реутилізацією до колосу. Показано, що найбільш високі рівні Fe та Cu накопичувалися в прапорцевих листках, а Zn в зерні. За умов різного мінерального живлення тверді сорти накопичували більше Zn, ніж м'які сорти. На ділянці Д. Лужок тверді сорти накопичували майже вдвічі більше Zn, ніж м'які. За умов вищої біодоступності Fe на ділянці Д. Лужок його концентрація в органах пшениці була в середньому на 30 % вищою. Проте, не встановлено різниці в розподілі Fe між м'якими та твердими сортами. Таким чином, вищі концентрації Zn в зерні отримано за умов росту на ґрунтах з вищою біодоступністю даного елемента. Вищий вміст Fe та Cu виявлено в зерні отриманому з ділянки Д. Лужок, що пояснюється високою біодоступністю. Показано, що сорти *T. turgidum* накопичували більше Cu, ніж *T. aestivum*. Прямі кореляційні залежності виявлено між концентрацією Fe та Cu в зерні для обох дослідних ділянок.

З'ясовано, що вища врожайність властива для сортів за умов вирощування на чорноземах карбонатних порід з високим вмістом органічної речовини ґрунту та низькою біодоступністю Fe, Cu та Zn, проте, якість зерна в цих умовах нижча: вміст мікроелементів та білків за таких умов був низьким. Розрахований коефіцієнт біологічного накопичення дозволив порівняти сортову здатність кожного генотипу поглинати елементи з ґрунту та транспортувати їх до зерна. У результаті кластерного аналізу виокремлено сорти зі схожими дослідними ознаками.

Враховуючи результати врожайності, здатності до акумулювання мікроелементів, кореляційного та кластерного аналізу відібрано 4 контрастні сорти пшениці: Оксамит миронівський, Струна миронівська, Дубравка та Голіковська. Для обраних сортів розраховано величину фактора транслокації (ФТ). Вищі величини ФТ Fe та Cu – зерно/колос ніж зерно/прапорцевий листок, свідчить про більшу залежність концентрації Fe та Cu в зерні від їх вмісту в колосі ніж від вмісту в прапорцевому листку на даному етапі онтогенезу.

В результаті кореляційного аналізу головних компонент (biplot PCA) для обраних сортів встановлено позитивну залежність ВЗ з КЗК, МТЗ, концентрацією Cu і Fe, та негативну з концентрацією Zn. Згідно з даними biplot PCA сорт полба Голіковська накопичує високі концентрації Zn при невисокій врожайності. Сорти Дубравка та Оксамит миронівський виділялись високими концентраціями Cu та Fe в зерні, на відміну від сорту Струна миронівська. Окрім того, сорт Оксамит миронівський вирізнявся найвищими концентраціями Fe, Zn та Cu в зародках упродовж двох років дослідження.

В роботі вперше ідентифіковано бактеріальні ендофіти зерна та з отриманих *in vitro* вегетативних органів проростків пшениці ярої сортів Оксамит миронівський, Струна миронівська, Дубравка та Голіковська, які різнилися за здатністю накопичувати Fe, Zn та Cu за їх низької біодоступності.

Із зерна пшениці ярої ізольовано, культивовано та ідентифіковано 20 штамів бактерій ендofітів, які представляли роди *Staphylococcus*, *Pantoea*, *Sphingobium*, *Bacillus*, *Kosakonia*, *Micrococcus*, *Kocuria* та *Corynebacterium*. Визначені нуклеотидні послідовності бактеріальних ендofітів внесено в базу GenBank. Культивовані штами продемонстрували здатність синтезувати та виділяти в культуральне середовище ауксин-подібні сполуки (IRCs макс.: 16,57 мкг/мл). IRCs, які продуковані бактеріями роду *Pantoea* spp. та *Bacillus* spp. із зерна високоврожайних сортів Оксамит миронівський та Голіковська, можна вважати одним із визначальних факторів формування врожайності зерна пшениці та його харчових характеристик. Автором обговорено ймовірну роль окремих штамів ендofітних бактерій у накопиченні мікроелементів у зерні різних сортів пшениці та їх можливий вплив на врожайність та основні її компоненти.

В результаті метагеномного аналізу тканин коренів та листків проростків пшениці, отриманих в стерильній культурі *in vitro*, ідентифіковано 14 родів бактерій: *Propionibacterium*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Veillonella*, *Bradyrhizobium*, *Paracoccus*, *Variovorax*, *Oxalobacter*, *Enterobacter*, *Erwinia* та *Acinetobacter*. Доведено, що стерильні зародки стали початковою точкою формування ендofітного мікробіому проростків пшениці, яка вирощена в стерильних умовах *in vitro*. Встановлено факт вертикальної передачі ендofітних бактерій родів *Staphylococcus* та *Bacillus*. Вперше виділено та ідентифіковано бактеріальні ендofіти зерна і тканин листків та коренів *T. turgidum* subsp. *dicoccum*.

Автор розглядають значення впливу ендofітної колонізації на діапазон надходження мікроелементів у рослину, їх доставку до репродуктивних органів та завантаження в зерно.

Бактерії роду *Pantoea* виділені з зерна сорту Оксамит миронівський характеризувались високою здатністю до синтезу ауксинів, окрім того, цей сорт вирізнявся високою врожайністю та концентрацією Fe, Cu в зерні. Сорт полба Голіковська при низькій врожайності, виділявся високим коефіцієнтом біоаккумуляції Zn та високою концентрацією цього мікроелемента в зерні, а бактерії роду *Bacillus* отримані з цього сорту продемонстрували високий рівень синтезу ауксинів. Ауксини, що виробляються ендofітними бактеріями сприяють підкисленню ризосфери що в свою чергу покращує поглинання та транспорт елементів. Одержані результати свідчать про ймовірну перспективність використання штамів *Pantoea* spp. U.MO2, U.MO3 та *Bacillus* spp. U.H2 з метою підвищення врожайності та покращення мікроелементного складу зерна. Представлена робота являє собою інноваційний підхід до аналізу впливу мікробіому рослин на харчову цінність зерна пшениці ярої.

В результаті аналізу отриманих нами даних, зокрема, врожайності у розділі 4 «АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ» автор узагальнює, спираючись на літературні джерела, результати лабораторних та польових дослідів і підводить підсумок експериментальних досліджень.

Висновки відповідають меті і завданням дисертації та обґрунтовані експериментальним матеріалом. Позитивним є те, що автор не тільки чітко висвітлює наукову новизну одержаних результатів і можливості їх практичного застосування, але й пропонує рекомендації виробництву.

Матеріали в додатках підтверджують практичне значення одержаних результатів та розширюють відомості про результати експериментальних досліджень. Список використаних літературних джерел, а також посилання на них у тексті дисертації зроблено з дотриманням вимог до написання дисертацій.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. При виконанні дисертаційної роботи О.О. Макар проводила багаторічні лабораторні та польові дослідження. Дослідження проведено з використанням достатньої вибірки зразків кожного із варіантів, повторюваність дослідів 3–5-кратна. Аналіз отриманих результатів проведено з використанням сучасних наукових методів і підходів. Залучення вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій з досліджуваної тематики дозволило автору всебічно проаналізувати та обговорити отримані результати. Подані у дисертації підсумки до підрозділів та розділів, висновки обґрунтовані результатами проведених експериментальних досліджень, які належним чином статистично опрацьовані. Виклад основного матеріалу дисертації є коректним та відзначається належним науково-теоретичним рівнем.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що автором визначено фізико-хімічні властивості ґрунтів дослідних ділянок. Встановлено залежність між рН, вмістом органічної речовини та концентрацією доступних форм Fe, Zn та Cu в ґрунті.

Підтверджено відмінності в реакції на посуху серед 24 сортів пшениці м'якої і твердої української селекції (*Triticum aestivum* L., *T. durum* Desf., *T. turgidum* subsp. *dicocum*) за показниками водного дефіциту (WD), відносного вмісту води (RWC), водоутримної здатності у перерахунку на масу (EL WLW) і площу (EL WLA) прапорцевих листків рослин в умовах польового експерименту. Встановлено, що сорти МІП Райдужна, Жізель, Голіковська, Сімкода миронівська, Панянка та Тера характеризувались високою посухостійкістю. Показники EL WLW та EL WLA, що характеризують водоутримну здатність тканин листків, можуть бути рекомендовані як додаткові показники стійкості до водного стресу. RWC як параметр посухостійкості доцільно застосовувати для пшениці твердої, тоді як EL WLA 2–6 год – для пшениці м'якої ярої.

Вперше визначено концентрації мікроелементів Fe, Cu, Zn в прапорцевих листках, колосі, зернівках різних сортів пшениці в польових умовах, на дослідних ділянках, які різнились за рН, вмістом органічної речовини та концентрацією доступних форм мікроелементів. Оцінено здатність до транслокації мікроелементів для окремих сортів. Відібрано сорти здатні накопичувати високі концентрації мікроелементів в зерні за умов різного рівня біодоступності.

Ідентифіковано сорти пшениці ярої, які відтворюють високі рівні господарсько-цінних ознак за контрастних погодних умов вирощування. Виявлено сорти із широкою фенотиповою та адаптивною пластичністю, яка проявляється у підвищенні врожайності, збільшенні концентрації білків та мікроелементів у зерні.

Вперше для дослідних сортів здійснено кореляційний аналіз залежності між врожайністю, її компонентами та здатністю рослин до поглинання та акумулювання в зерні Fe, Cu та Zn.

Вперше виділено бактеріальні ендofіти з зернівок сортів пшениці ярої Оксамит миронівський, Струна миронівська, Дубравка та Голіковська, які мали різну здатність до накопичення мікроелементів. Ізольовано, культивовано та ідентифіковано 20 штамів бактеріальних ендofітів. Ідентифіковані послідовності внесено в базу GenBank. Проаналізовано ймовірний вплив окремих ізольованих штамів бактерій-ендofітів на врожайність та концентрацію Fe, Cu та Zn в зерні пшениці.

Продемонстровано відмінності у здатності до синтезу ауксин-споріднених сполук (IRCs) серед культивованих штамів бактеріальних ендofітів, ізольованих із зернівок пшениці.

Автором вперше проведено метагеномний аналіз бактеріальних ендofітів у тканинах коренів та листків проростків пшениці сортів Оксамит миронівський, Струна миронівська, Дубравка та Голіковська, вирощених в умовах *in vitro*. Ідентифіковано 14 родів бактерій. Доведено існування механізмів вертикальної передачі ендofітних бактерій родів *Staphylococcus*, *Bacillus*.

Вперше ізольовано та ідентифіковано бактеріальні ендofіти з зернівок та тканин проростків півчастої полби *T. turgidum* subsp. *dicoccum* сорту Голіковська.

Практичне значення роботи. Автором отримані експериментальні дані доповнюють сучасні знання про поглинання, транспорт та акумулювання Fe, Zn та Cu різними органами пшениці за росту на ґрунтах з низьким вмістом їх біодоступних форм. Виокремлено сорти пшениці з високою здатністю акумулювати мікроелементи в зерні за низької їх біодоступності в ґрунтах. Використання певних штамів бактеріальних ендofітів може сприяти росту та покращенню мінерального живлення пшениці, що в свою чергу поліпшить харчову цінність зерна. Виділені, ідентифіковані та культивовані штами бактерій-ендofітів можуть бути використані для розробки нової групи біопрепаратів – фітопробіотиків. Результати досліджень впроваджені у навчальний процес вищої школи при викладанні курсів “Практикум з фізіології рослин”, “Живлення рослин”, “Біотехнологія рослин”.

До викладеної автором наукової та практичної новизни зауважень не маю.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях. Результати рецензованої дисертації відображені у публікаціях автора та апробовані на наукових конференціях.

За матеріалами дисертації опубліковано 19 праць, у тому числі 3 статті у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, 16 робіт – матеріали і тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях. Основні положення дисертації були представлені на XIV - XVII міжнародних наукових конференціях студентів та аспірантів “Молодь і поступ біології” (Львів, 2018, 2019, 2020, 2021); симпозиумі з міжнародною участю “Сталі підходи до підвищення врожайності та харчової цінності пшениці” (Львів, 2018); IV, V Міжнародних наукових конференціях “Сучасна біологія рослин: теоретичні та прикладні аспекти” (Харків, 2018, 2020); IV Ogólnopolskie Sympozjum Mikrobiologiczne “METAGENOMY RÓŻNYCH ŚRODOWISK” (Люблін, Польща, 2019); X International Agriculture Symposium “AGROSYM 2019” (Яхорина, Боснія і Герцеговина, 2019); V Ogólnopolskie Sympozjum Mikrobiologiczne “METAGENOMY RÓŻNYCH ŚRODOWISK” (Варшава, Польща, 2021); XV Конференції молодих вчених “Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів” (Київ, 2021); FEMS “World Microbe Forum” (2021); 54th Microbiological Conference “MICROORGANISMS OF DIFFERENT ENVIRONMENTS” (Люблін, Польща, 2021), а також на наукових семінарах кафедри фізіології та екології рослин та на щорічних звітних наукових конференціях біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка.

Анотація у повній мірі відображає зміст роботи та не містить тверджень чи ідей, які не наведені в основному тексті дисертації. Праця написана змістовно, літературною мовою, стиль викладення матеріалу науковий.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У роботі не виявлено ознак академічного плагиату, фабрикації, фальсифікації.

Дискусійні положення й зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

Зауважень по суті до роботи не маю.

Для того, щоб заповнити цей розділ Відгуку зазначу наступне:

1. Результати роботи варто у подальшому представити також у вигляді 1-2 оглядових статей.
2. Була б незайвою редакційна правка тексту.
3. Щодо вибору сортів для дослідження – для агровиробників важливо отримувати інформацію щодо сортів вітчизняної та західної селекції. У дисертації варто було б зазначити, що сорти ... з європейською плазмою.
4. Проблемою у озоленні зразків пшениці є утворення дрібнодисперсного осаду кремнію після озолення у азотній кислоті. Варто було б зупинитися на ролі додавання пероксиду водню в отриманні гідролізатів зразків. Проте, зазначу, що за вимірювання концентрації мікроелементів на ААС С115М1 тонкий осад кремнію не має значення, на відміну від розпилювання розчинів після озолення крізь небулайзери ICP-MS Agilent чи інших виробників.

5. На ринку України вже є численні мікробіологічні препарати компаній від Monsanto до Indigo, також є препарати китайських виробників. Тому у подальшому варто у дослідженнях мати контроль з відомими препаратами.
6. Обширні та точні дані з визначення вмісту ряду неорганічних елементів сформували базу даних, яка є чудовою для обрахунків ефективності використання елементів живлення. Цей напрям важливий як для вдосконалення систем живлення, так і для підвищення рентабельності зерновиробництва, формування екологічно безпечних агрофітоценозів.

Вказані зауваження та рекомендації не впливають на високу оцінку та наукову цінність дисертаційної роботи Ориси Макар.

Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам. Аналіз дисертації та опублікованих праць дає підстави для висновку про те, що дослідження Макар Ориси Орестівни є завершеним, цілісним та самостійним. Вважаємо, що дисертаційна робота Макар О.О. «Фізіологічні основи продуктивності і якості зерна ярої пшениці» за змістом, рівнем наукової новизни, практичним значенням та характером висновків відповідає галузі знань 09 – Біологія, спеціальності 091 – Біологія та сучасним вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» і затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор – Макар Орися Орестівна – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 09 – Біологія за спеціальністю 091 – Біологія.

Офіційний опонент:

*доктор біологічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України,
завідувач відділу фізіології живлення рослин
Інституту фізіології рослин
і генетики НАН України*

Віктор ШВАРТАУ