

УДК 633.111.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.23>

ВПЛИВ МІКОРИЗНОГО ПРЕПАРАТУ НА УРОЖАЙНІСТЬ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ (TRITICUM AESTIVUM L.)

Юрченко С.О. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри селекції, насінництва і генетики,

Полтавський державний аграрний університет

Палазюк Б.О. – аспірант,

Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології,

Полтавського державного аграрного університету

Білокінь А.В. – студент II курсу магістратури,

Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології,

Полтавського державного аграрного університету

Кліматичні зміни несуть із собою стреси для рослин пшениці м'якої озимої, що спричиняють суттєве зниження урожайності та погіршення показників якості зерна. І це необхідно враховувати у сучасних агротехнологіях. Адже, зараз є досить широкий вибір щодо способів допомогти сільськогосподарським культурам у протистоянні несприятливим факторам. Зокрема, застосування препаратів на основі мікоризних грибів.

Метою наших досліджень було наукове обґрунтування доцільності та ефективності застосування мікоризоутворюючого препарату за вирощування пшениці м'якої озимої.

Методи дослідження: польовий для визначення особливостей росту й розвитку рослин, формування врожайності; вимірально-ваговий для визначення елементів продуктивності рослин; математично-статистичний – для оцінки достовірності отриманих результатів досліджень.

Схема досліджу передбачала застосування мікоризного препарату Мікофікс для обробки насіння (600 г/т) та внесення в рядки при посіві насіння (125 г/га).

На посівах пшениці озимої визначено параметри формування елементів продуктивності рослин залежно від способу застосування мікоризного препарату Мікофікс. Обробка насіння препаратом Мікофікс (600 г/т) забезпечила збільшення висоти рослин на 3,4%, кількості продуктивних стебел на 14,8%, маси зерна з колоса на 23,9%, маси 1000 зерен на 13,7%. У варіантах з внесенням у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га) було встановлено збільшення висоти рослин на 4,7%, кількості продуктивних стебел на 25,9%, маси зерна з колоса на 27,2%, маси 1000 зерен на 12,8%.

У середньому за роки досліджень передпосівна обробка насіння препаратом Мікофікс (600 г/т) забезпечила підвищення врожайності зерна на 17,4% порівняно з контролем. Внесення препарату Мікофікс (125 г/т) в рядки при посіві сприяло підвищенню врожаю зерна на 16,5%.

В посушливий 2024 рік кращі результати було одержано за передпосівної обробки насіння досліджуванним препаратом порівняно з внесенням у рядки при посіві. Різниця між варіантами складала 0,31 т/га. В 2023 році, що характеризувався достатньою кількістю опадів кращі результати було одержано у варіанті з внесенням препарату в рядки при посіві. Урожайність була більшою на 0,23 т/га порівняно з варіантом передпосівної обробки насіння.

Ключові слова: мікориза, пшениця м'яка озима, урожайність, елементи продуктивності, обробка насіння.

Yurchenko S.O., Palaziuk B.O., Bilokin A.V. The influence of mycorrhizal preparation on the yield of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.)

Climatic changes bring with them stresses for soft winter wheat plants, which cause a significant decrease in productivity and deterioration of grain quality indicators. And this must be taken into account in modern agricultural technologies. After all, now there is quite a wide

choice of ways to help agricultural crops to resist adverse factors. In particular, the use of preparations based on mycorrhizal fungi.

The goal of our research was scientific substantiation of the feasibility and effectiveness of using a mycorrhizal preparation for the cultivation of soft winter wheat.

Research methods: field to determine the characteristics of plant growth and development, yield formation; measuring and weighing to determine elements of plant productivity; mathematical and statistical – to assess the reliability of the obtained research results.

The scheme of the experiment provided for the use of the mycorrhizal drug Mycofix for seed treatment (600 g/t) and introduction into the rows when sowing seeds (125 g/ha).

On winter wheat crops, the parameters of the formation of elements of plant productivity were determined depending on the method of application of the Mycofix mycorrhizal preparation. Seed treatment with Mycofix (600 g/t) increased the height of plants by 3.4%, the number of productive stems by 14.8%, the mass of grain from an ear by 23.9%, the mass of 1000 grains by 13.7%. In the variants with the addition of Mycofix (125 g/ha) to the row during sowing, an increase in plant height by 4.7%, the number of productive stems by 25.9%, the mass of grain from an ear by 27.2%, the mass of 1000 grains per 12.8%.

On average, over the years of research, pre-sowing treatment of seeds with Mycofix (600 g/t) increased grain yield by 17.4% compared to the control. Application of Mycofix (125 g/t) in the rows during sowing helped to increase the grain yield by 16.5%.

In the dry year of 2024, better results were obtained with the pre-sowing treatment of seeds with the studied drug compared to applying it to the rows during sowing. The difference between the options was 0.31 t/ha. In 2023, which was characterized by a sufficient amount of precipitation, the best results were obtained in the variant with introduction of the drug into the rows during sowing. The yield was higher by 0.23 t/ha compared to the option of pre-sowing seed treatment.

Key words: mycorrhiza, soft winter wheat, productivity, productivity elements, seed treatment.

Постановка проблеми. Пшениця озима є однією з найважливіших продовольчих культур у всьому світі. Цінність зерна полягає у високому вмісті усіх необхідних для харчування елементів: білків, вуглеводів, жирів, вітамінів, ферментів і мінеральних речовин. Пшениця озима є досить вибагливою до зовнішніх факторів культивування. Реалізація урожайного потенціалу культури залежить від збалансованості мінерального живлення, забезпеченості вологою, теплом та світлом, а також її морозо- та зимостійкості. За умов стабільності посівних площ основним шляхом збільшення валових зборів зерна є підвищення урожайності. Це вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових агротехнічних прийомів спрямованих на створення сприятливих умов для росту і розвитку рослин.

Розвиток і впровадження екологічно орієнтованих технологій, виробництво екологічно безпечних продуктів харчування є одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасного сільського господарства. Різке скорочення застосування в сільському господарстві мінеральних добрив робить необхідним пошук альтернативних джерел поліпшення мінерального живлення сільськогосподарських культур.

Останнім часом у нашій країні та за кордоном розроблено цілу низку біопрепаратів на основі різних штамів бактерій і грибів, що характеризуються комплексом корисних властивостей для підвищення ґрунтової родючості і продуктивності культурних рослин, підвищення якості врожаю, зниження норм внесення мінеральних добрив і пестицидів. Мікробіологічні препарати, які використовують у землеробстві, не чинять негативного ефекту, а регулюють нормальне функціонування ґрунтової та ризосферної мікрофлори, покращують режим живлення рослин, забезпечують захист рослин від хвороб і шкідників.

Аналіз основних досліджень і публікацій. На даний час в технологіях вирощування сільськогосподарських культур надають перевагу використанню

високоефективних сортів на фоні високих доз хімічних добрив та стимуляторів росту. Однак, як прогнозує більшість вчених, буде досягнута максимальна межа їх ефективності, тому аграрії всього світу ведуть пошук нових і нестандартних рішень цієї проблеми [8, с. 7; 11, с. 154]. Одним із ефективних рішень є безпосереднє використання можливостей земної екосистеми, зокрема живих мікроорганізмів, органічних речовин та мінералів. Слід відмітити, що мікроскопічні організми нашої плани мають неабиякий потенціал для їх використання в сільському господарстві, зокрема в рослинництві [4, с. 83].

Корисними ґрунтовими мікроорганізмами є мікоризні гриби, що вступають в симбіоз з корінням рослин і відіграють важливу роль в підтримці родючості ґрунту. Велике різноманіття видів дає можливість підібрати інкулянти враховуючи їх колонізаційну здатність та ефективність, що залежить від генотипу гриба, виду рослин та ґрунтово-кліматичних факторів [7, с. 24]. Зокрема, такий вид гломових грибів як *Glomus intraradices* здатен утворити мікоризу з багатьма видами культур – пшеницею, кукурудзою, соняшником, соєю та овочевими, і це відкриває можливості його широкого застосування [3, с. 159; 12, с. 56; 5, с. 57; 3, с. 159].

Застосування препаратів на основі арбускулярних мікоризних грибів в рослинництві сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Завдяки утвореній мікоризної системи рослини отримують змогу поглинати більше води та мінеральних елементів живлення з ґрунту. Потужний ферментативний апарат грибів здатний виробляти різні ферменти, антибіотики, амінокислоти, які відіграють роль каталізаторів в живій природі. Також, вони здатні розщеплювати поживні речовини в ґрунті як з самого детриту, так із запасу поживних речовин гумусу в доступні форми для рослин [16, с. 476].

Під час утворення мікоризного симбіозу гриб колонізує тканини кореня модифікуючи клітини, з якими контактує мікориза. Прижившись на рослині, мікоризні гриби розмножуються на коренях рослин і поширюються в ґрунті у вигляді великої маси абсорбуючих ниток, збільшуючи поглинаючу здатність рослиною. Дані утворення тонші за кореневі волоски тому спроможні проникати у найтонші пори ґрунтових мінералів. Встановлено, що в 1 см³ ґрунту, що безпосередньо оточує корені, загальна протяжність ниток мікоризи може складати від 20 до 40 м [1, с. 356].

Наукові дослідження свідчать, що коренева система більшості сільськогосподарських культур здатна проникати на глибину 2–3 м, тоді як гіфи мікоризних грибів тягнуться до понад 10 м. Така розвинена мережа кореневої системи спроможна ефективно мобілізувати з нижніх шарів ґрунту вологу та необхідні елементи живлення, суттєво посилюючи природне живлення рослин [14, с. 1051].

За умов внесення мінеральних форм фосфорних добрив засвоєння фосфору не перевищує 10–20%, за рядкового способу внесення може зрости до 40%. Для забезпечення рослин даним макроелементом аграрії змушені збільшувати дози добрив, а не використаних фосфор переміщується вглиб і переходить у недоступні сполуки. Для повернення фосфатів із нижчих горизонтів у вищі та перетворення їх на доступні форми ефективним є використання властивостей мікоризи. При цьому зростає й забезпечення рослин іншими макро- і мікроелементами та вологою та дозволяє зменшити дози внесення фосфорних добрив на 20–20% [17, с. 330; 10, с. 56].

Ще однією важливим призначенням мікоризи є забезпечення рослин сільськогосподарських культур від ураження патогенними грибами та бактеріями шляхом стимулювання глибинних змін у метаболізмі рослин. За несприятливих ґрунтово-кліматичних умов вирощування мікориза діє як антистресант [1, с. 134].

Ефективність мікоризних препаратів підтверджується збільшенням урожайності: сої на 15–40%, кукурудзи на зерно – на 20–70%, зернових колосових – на 15–30%, овочевих – на 30–200% [15, с. 341].

Всі ці факти свідчать про високу ефективність застосування мікоризних препаратів за вирощування сільськогосподарських культур. Слід відмітити, що в перший рік застосування мікоризних препаратів може не спостерігатися різке збільшення урожайності, але сприятиме загальному оздоровленню ґрунту. Оскільки, крім поліпшення умов живлення, розвинена система гіфів і коренів покращує агрегатну структуру ґрунту, стимулює певні захисні реакції, а після розкладання перетворюється на багате джерело елементів живлення наступним рослинам [13, с. 18].

Постановка завдання. Метою досліджень було наукове обґрунтування доцільності та ефективності застосування мікоризоутворюючого препарату за вирощування пшениці м'якої озимої.

Польові досліді були проведені протягом 2022–2024 років на дослідному полі Полтавського державного аграрного університету. Це центральна частина Східного Лісостепу України майже на умовній межі із Північним Степом і Південним Лісостепом – зона недостатнього зволоження. Повторність досліді чотирикратно. Площа облікової ділянки 7,5 м². Ділянки розміщувалися методом рендомізації. Сівбу проводили селекційною сівалкою КЛЕН 1,5, норма висіву 5 млн. шт./га, глибина заробки насіння 3 см. Збирання врожаю розпочинали при вологості зерна 15% у фазі повної стиглості.

Всі чинники в досліді максимально подібні: досліді закладено на одному полі з вирівняним рельєфом, тип ґрунту: чорнозем опідзолений. Агрохімічна характеристика ґрунту: вміст гумусу – 3,9%; азоту, що легко гідролізується (за Тюріним та Коновою) – 119,1–127,1 мг; P₂O₅ в оцтовокислій витяжці (за Чириковим) – 100,0–131,0 мг; обмінного калію (за Масловою) – 171,0–200,0 мг на кілограм ґрунту. Щільність ґрунту – 1,05–1,17 г/см³.

Дослідження ефективності мікоризи проводили за вирощування сорту пшениці озимої Манжелія використовуючи препарат Мікофікс. Діючою складовою препарату є спори мікоризоутворюючого гриба – 1% (мінімум 2000 спор/гр) *Mycorrhiza Glomus intraradices* (CMCCROC7); субстанція – 99% екстракт морські водорості *Ascophyllum nodosum* з низьким вмістом мікро- та макроелементів природнього походження; ПАР; додаткові елементи, які забезпечують 98% життєздатності гриба та виняткову адаптивність до різних ґрунтово-кліматичних умов, ефективнішу мікоризацію.

Схема досліді включала наступні варіанти:

1. Контроль (без препарату);
2. Обробка насіння препаратом Мікофікс (600 г/т);
3. Внесення у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га).

Передпосівну обробку насіння проводили вручну в закритому від сонця приміщенні методом вологої інокуляції. Для цього препарат розчиняли у воді в співвідношенні 1:6, перемішували до рівномірної консистенції і використовували для обробки насіння згідно схеми досліді. Після обробки насіння підсушували до повної сипучості.

Оцінку урожайності пшениці озимої проводили методом суцільного обліку по варіантах згідно схеми досліді. Для аналізу структури врожаю брали зразки рослин з 1 м² з корінням без вибору і визначали: продуктивну кущистість, масу зерна з колосу, масу 1000 зерен.

Польові дослідження та статистичну обробку результатів виконували відповідно до загальноприйнятої методики [9, с. 45–57].

Виклад основного матеріалу дослідження. У роки проведення досліджень погодні умови характеризувалися значними відхиленнями як за показниками температурного режиму повітря, так і за кількістю опадів, що дозволило дослідити ефективність мікоризуючого препарату за різних умов. Середньодобова температура повітря впродовж весняно-літнього періоду вегетації рослин пшениці озимої за роки досліджень складала: в 2023 році – 14,2 °С, в 2024 році – 18,3 °С. Кількість опадів впродовж весняно-літньої вегетації також різнилася у роки досліджень. Зокрема, за період від часу відновлення весняної вегетації до твердої стиглості зерна в 2023 році випало 290,9 мм опадів, а в 2024 році – 145,6 мм, що в 2 рази менше.

Тривалість весняно-літньої вегетації рослин сорту пшениці озимої Манжелія суттєво різнилася у роки проведення досліджень. У посушливий 2024 рік на фоні підвищеного температурного режиму тривалість весняно літньої вегетації складала 101 доби, а у достатньо зволоженому із відносно нижчим температурним режимом повітря 2023 році вона складала 138 діб.

Формування врожаю пшениці озимої – це результат комплексної взаємодії елементів продуктивності, головними з яких є кількість продуктивних стебел, маса зерна з колоса, маса 1000 зернин. Тому нами було визначено параметри формування елементів продуктивності рослин залежно від застосування препарату Мікофікс та встановлено їхні відмінності (табл. 1).

Таблиця 1

Формування елементів продуктивності пшениці м'якої озимої за використання мікоризуючого препарату, 2023–2024 рр.

Показники	Варіант	2023 р.	Відхилення +,-	2024 р.	Відхилення +,-	Середнє за 2023–2024 рр.	Відхилення +,-
Висота рослин, см	1*	82,3	-	74,1	-	76,2	
	2*	84,6	2,3	77,3	3,2	80,9	4,7
	3*	85,2	2,9	78,5	4,4	81,9	5,7
Продуктивна куцистість, шт	1*	1,6	-	1,1	-	1,35	-
	2*	1,7	0,1	1,4	0,3	1,55	0,2
	3*	1,8	0,2	1,6	0,5	1,70	0,35
Маса зерна з колоса, г	1*	0,92	-	0,75	-	0,92	-
	2*	1,08	0,16	1,05	0,30	1,14	0,22
	3*	1,11	0,19	0,98	0,23	1,17	0,25
Маса 1000 зерен, г	1*	41,1	-	32,2	-	36,70	-
	2*	44,6	3,5	38,4	6,2	41,50	4,80
	3*	45,0	3,9	37,7	5,5	41,35	4,65

Примітка: 1* – контроль (без препарату); 2* – обробка насіння препаратом Мікофікс (600 г/т); 3* – внесення у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га).

Висота рослин в роки досліджень варіювала від 76,2 см до 85,2 см. Із досліджуваних варіантів більшої висоти досягли рослини за умов внесення у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га).

Продуктивна кущистість – елемент продуктивності, що характеризується високою мінливістю і в значній мірі залежить від погодних умов вирощування та агротехнічних прийомів. В роки досліджень кількість продуктивних стебел на рослині варіювала від 1,1–1,8 шт. Найвищі показники по всіх варіантах були відмічені в 2023 році, і суттєвої різниці між варіантами не спостерігалось. Суттєвий позитивний вплив на формування показника прослідковується 2024 році: у варіантах із застосуванням препарату збільшення кількості продуктивних стебел було на 0,3 шт., 0,5 шт., порівняно з контролем.

Продуктивність колоса характеризується масою зерна з колоса. За результатами багаторічних досліджень, було доведено, що між масою колоса і врожайністю існує позитивна кореляційна залежність ($r = 0,66–0,74$). Маса зерна з колоса варіювала в межах 0,75 г (контроль, 2024 р.) – 1,11 г (внесення у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га), 2023 р.). Позитивна дія препарату спостерігалася по всі варіантам досліджу.

Маса 1000 зерен – показник, який характеризує крупність насіння. Деякі автори засвідчують про його високий зв'язок із урожайністю. Слід відмітити, що це генетично зумовлена ознака, однак вона може сильно змінюватися залежно від умов вирощування. У роки досліджень маса 1000 зерен варіювала від 32,2 до 45,0 г. У 2023 році даний елемент продуктивності був більший ніж 2024 році і в середньому по досліді складав 43,6 г. За використання мікоризоутворюючого препарату відбулося підвищення значень показника маси 1000 зерен від 3,5 г до 6,2 г.

Таким чином, застосування мікоризи позитивно вплинуло на формування основних елементів продуктивності пшениці озимої. Зокрема, за обробка насіння препаратом Мікофікс (600 г/т) було відмічено збільшення висоти рослин на 3,4%, кількості продуктивних стебел на 14,8%, маси зерна з колоса на 23,9%, маси 1000 зерен на 13,7%. Внесення у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га) сприяло збільшенню висоти рослин на 4,7%, кількості продуктивних стебел на 25,9%, маси зерна з колоса на 27,2%, маси 1000 зерен на 12,8%.

Нашими дослідженнями було встановлено, що використання мікоризного препарату Мікофікс позитивно вплинуло на формування врожайності пшениці м'якої озимої (табл. 2).

Отримані дані також свідчать про значний вплив погодних умов та варіанту досліду на врожайність сорту пшениці озимої Манжелія.

Таблиця 2

Формування урожайності пшениці м'якої озимої за використання мікоризуючого препарату, т/га, 2023–2024 рр.

Роки	Варіанти						
	Контроль, т/га	Обробка насіння препаратом Мікофікс (600 г/т)			Внесення у рядок при сівбі препарату Мікофікс (125 г/га)		
		т/га	приріст до контролю		т/га	приріст до контролю	
			т/га	%		т/га	%
2023	4,96	5,32	0,36	7,4	5,55	0,59	11,9
2024	3,75	4,92	1,17	31,2	4,61	0,86	22,9
Середнє	4,36	5,12	0,76	17,4	5,08	0,72	16,5
НІР _{0,95}				0,42			

У роки досліджень урожайність варіювала в досить широких межах: 3,75–5,55 т/га. Найвища врожайність пшениці озимої по досліді відзначалася в 2023 році, що характеризувався більш сприятливими погодними умовами в період вегетації. При цьому середня урожайність була на рівні 5,28 т/га. Найменша врожайність була отримана в 2024 році, середнє значення по досліді складало 4,39 т/га. Суттєвий приріст урожайності (НІР 0,05 = 0,42 т/га) був відмічений у 2023 році у варіанті внесення препарату у рядок при посіві, що складав 0,59 т/га. За несприятливих умов 2024 року дія препарату сприяла суттєвому збільшенню врожайності як при обробці насіння на 1,07 т/га, так і рядковому внесенню при посіві – на 0,86 т/га.

За узагальненими даними можна зробити висновок про те, що застосування мікоризоутворюючого препарату Мікофікс за вирощування пшениці озимої сприяє збільшенню врожайності. Так, за передпосівної обробки насіння та внесення в рядки при посіві препарату збільшення урожайності складало 17,4%, 16,5% відповідно.

Висновки та перспективи. Аналізуючи окремі елементи продуктивності пшениці м'якої озимої було встановлено позитивний вплив мікоризного препарату Мікофікс на їх формування.

Для забезпечення збільшення урожайності пшениці озимої за несприятливих погодних умов необхідно застосовувати мікоризний препарат Мікофікс для передпосівної обробки насіння (600 г/т) та внесення в рядки при посіві (125 г/га).

Перспективою подальших досліджень є вивчення впливу мікоризних препаратів на якість зерна пшениці м'якої озимої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Антоняк Г. Л., Калинець-Мамчур З. І., Дудка І. О., Бабич Н. О., Панас Н. Є. Екологія грибів: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. 628 с.
2. Власюк, О. С. Ефективність мікробних препаратів за вирощування пшениці ярої залежно від фону удобрення. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2020. № 31. С. 51–56.
3. Господаренко Г. М., Прокопчук С.В. Формування симбіотичного апарату та врожай нуту залежно від мінерального живлення та інокуляції насіння. *Агробіологія*. 2013. Вип. 11. С. 158–161.
4. Грабовська Т.О., Мельник Г.Г. Вплив біопрепаратів на продуктивність пшениці озимої за органічного виробництва. *Агробіологія*. 2017. № 1. С. 80–85.
5. Димитров С. Г., Саблук В. Т., Тищенко М. В., Смірних В. М. Мікоризоутворюючі препарати та їхній симбіоз із рослинами пшениці м'якої озимої. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків* 2019. В.27. С. 51–61.
6. Камінський В. Ф., Гангур В. В. Динаміка продуктивності вологи в ґрунті за вирощування пшениці озимої в сівозмінах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 11–14.
7. Копилов Є. П. Ґрунтові гриби як біотичний чинник впливу на рослини. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2012. № 15–16. С. 7–28.
8. Остапчук М. О., Поліщук І.С. Мазур О.В., Максимов А.М. Використання біопрепаратів – перспективний напрямок вдосконалення агротехнологій. *Сільське господарство та лісівництво*. 2015. № 2. С. 5–17.
9. Царенко О. М., Злобін Ю.А. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології: навчальний посібник. Суми: Видавництво «Університетська книга», 2000. С. 45–57.
10. Чайковська Л.О. Ефективність поєданого використання біопрепаратів на основі фосфатомобілізувальних бактерій та мінеральних добрив при вирощуванні

зернових на півдні України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Вип. 13. С. 52–58.

11. Шевніков Д.М. Вплив мінеральних добрив та біопрепаратів на якість зерна пшениці твердої ярої. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2013. № 4. С. 153–157.

12. Юрченко С. О., Баган А. В., Сіленок І. Д., Богата І. В. Вплив мікоризного препарату на формування урожайності гібридів огірка посівного в умовах захищеного ґрунту. *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 126–131.

13. Boomsma, Christopher R., and Tony J. Vyn. «Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis?.» *Field Crops Research* 108.1 2008. P. 14–31.

14. Kough J. L., Molina R., Linderman R. G. Mycorrhizal responsiveness of Thuja, Calocedrus, Sequoia, and Sequoiadendron species of western North America. *Canadian Journal Forest Research*. 1985. Vol. 15, Iss. 6. P. 1049–1054.

15. Sharma, Suvigya, et al. Arbuscular mycorrhiza: a tool for enhancing crop production. *Mycorrhiza-nutrient uptake, biocontrol, ecorestoration* (2017). P. 235–250.

16. Seleiman, Mahmoud Fathy, and Ali Nasib Hardan. «Importance of mycorrhizae in crop productivity.» *Mitigating environmental stresses for agricultural sustainability in Egypt*. 2021. P. 471–484.

17. Schneider, Kimberley D., et al. «Soil phosphorus forms from organic and conventional forage fields.» *Soil Science Society of America Journal* 80.2. 2016. P. 328–340.