

ВПЛИВ РІДКОГО КОМПЛЕКСНОГО ДОБРИВА ЗА ВІРУСНОГО УРАЖЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ

Богдан Михайло Михайлович

кандидат сільськогосподарських наук

Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного

Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-4786-8558

b_mi@ukr.net

Стаття присвячена дослідженню ролі рідкого комплексного добрива (РКД) Фізіоживлін-Р у формуванні елементів продуктивності та посівних якостей пшениці за штучного ураження вірусом смугастої мозаїки пшениці (ВСМП). Мікробіологічні, молекулярно-генетичні, біометричні, статистичні. У польових двох річних дослідах досліджено вплив позакореневої обробки рідким комплексним добривом із збалансованим за макро- і мікроелементним складом (з вмістом N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Zn, Cu, Fe, Mo, Li) здорових і вірус-інфікованих рослин пшениці (штучне ураження) на структурні показники урожаю, посівну якість насіння і ростові процеси ювенільних рослин. Наявності вірусу смугастої мозаїки пшениці в листках пшениці з ВСМП-симптомами підтверджено методом полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Дослідженнями встановлено істотне пригнічення величини основних структурних показників продуктивності пшениці м'якої за впливу ураження ВСМП: зменшення кількості продуктивних пагонів, висоти стебел, кількості колосків у колосі, довжини і кількості зерен у головному колосі, маси зерен головного і бокового колосу, маси 1000 зерен. Виявлено, що позакоренева обробка РКД посівів здорових рослин підвищувала головним чином масу зерен головного і бокового колосу. Виявлено, що маса ювенільних рослин вирощених з насіння рослин оброблених рідким комплексним добривом істотно зростала, але переважно за рахунок збільшення кореневої системи. Застосування РКД за вірусного зараження менш згубно діяло на наростання сирової маси, що позначалося у її зростанні порівняно із вірус-інфікованими рослинами без обробки, яке відбувалося за рахунок поліпшення росту кореневої системи. Варто відмітити, що маса 1000 зерен з вірус-уражених рослин за обробки РКД мала навіть тенденцію до зростання по відношенню до чистого контролю. Таким чином, за отриманими даними встановлено, що обробка рідким комплексним добривом дозволяє підвищити толерантність рослин пшениці до вірусного ураження, певним чином знижуючи втрати продуктивності, хоча й не впливає на посівну якість насіння і структуру продуктивності посівів наступного року.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., рідке комплексне добриво, ВСМП, продуктивність, посівна якість.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.4.3>

Вступ. Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є основною продовольчою культурою не лише в Україні, а і у світі. Цінність пшениці, зокрема полягає у тому, що ця культура задовольняє харчові потреби людей у більшості білків та інших важливих біологічно активних сполук (вітамінних, макро- і мікроелементах та ін.) (Awulachew, 2020).

В 2017–2019 роках вирощування пшениці склало у світі 772,9–764,1 млн т зерна, а в Україні – 26,2–28,4 млн т зерна, але в 2020 році спостерігалось зниження на рівні 757,0 млн т зерна, а в Україні – 24,9 млн т зерна. Тому стабілізація урожайності пшениці на високому рівні має особливе значення в технології вирощування (Pandey et al., 2020; Faostat, 2024).

Посіви пшениці, постійно зазнають впливу різних факторів: абіотичних (світло, вологість, температура, дефіцит поживних речовин) і біотичних (фітопатогени, зокрема бактерії, гриби, нематоди, віруси), які зрештою знижують стійкість рослин, врожайність та її якість (Wang et al., 2013; Devadas et al., 2014; Velasquez et al., 2018; Kaur et al., 2022). Проте на протипагу фітопатогенному втручанню, в процесі еволюції рослини сформували складні захисні механізми (Sun et al., 2020; Kaur et al., 2022; Huliaieva, 2024). Доступність і збалансованість поживних елементів для рослин є одним із чинників,

задіяних у цьому процесі. Макроелементи: азот, фосфор, калій, кальцій, сірка, магній та мікроелементи: бор, марганець, залізо, цинк, мідь важливі для росту і розвитку рослин (Kumar et al., 2021; Tripathi et al., 2022). Ці поживні елементи можуть прямо або опосередковано впливати на стійкість рослин до дії стресових факторів – шляхом активації ферментів, які беруть участь у синтезі захисних метаболітів або шляхом зміни складу корневих ексудатів, спричинюючи зміну складу і активності корисних мікроорганізмів ризосфери відповідно (Graham & Webb, 1991; Devadas et al., 2014; Meena et al., 2015; Kumari et al., 2022).

Одними із небезпечних чинників зниження врожаю і якості посівів пшениці серед біотичних факторів є вірус смугастої мозаїки пшениці (ВСМП, *Wheat streak mosaic virus* (WSMV)), який належить до роду *Tritimovirus* родини *Potyviriidae*. Хвороба спричинена цим вірусом належить до найбільш економічно руйнівних захворювань пшениці в Україні та у всьому світі. ВСМП передається пшеничним кліщем *Aceria tritici* Schev (*Aceria tosichella* Keifer.) (Dráb et al., 2014; Chalupníková et al., 2017; Cabi, 2024) і в невеликих кількостях насінням пшениці (Jones et al., 2005; Singh et al., 2018). Ураження ВСМП істотно пригнічує ростові процеси, а саме: знижує схожість насіння, спричинює затримку росту рослин, некротичне ураження

листіків, карликовість. Уражені рослини характеризуються значним зменшенням кількості продуктивних стебел, озерненості колосу, маси 1000 зерен, вмісту клейковини в зерні (на 30%). Не дивно, що втрати врожаю за ураження посівів ВСМП можуть сягати 60–70% (Nadi et al., 2011; Markov, 2019). У зв'язку з цим, покращення стійкості до ВСМП є важливою задачею у вирощуванні пшениці (Price et al., 2010; Lau et al., 2022).

Варто зазначити, що елементи живлення послаблюють дію вірусної інфекції, сприяючи розвитку і відновленню рослин, внаслідок змін їх морфо-фізіологічного стану. Тому застосування добрив є необхідним засобом не тільки для підвищення і покращення врожайності, але і засобом захисту проти появи хвороб на її початкових етапах (Elmer & Datnoff, 2014).

Надзвичайно важливим макроелементом для нормального росту та розвитку рослини є азот (N), що також вважається необхідним у контексті стійкості рослин до хвороб (Tripathi et al., 2022). В дослідженнях (Gauthier et al., 2023) показано, що вміст ряду поживних елементів у ґрунті, а саме: фосфору, магнію, цинку, азоту, вуглецю, бору, сірки і кальцію впливав на рівень вірусного інфікування пшениці (SBWMV та SBCMV). Особливе значення у підвищенні стійкості сільськогосподарських культур до хвороб, зокрема вірусного ураження належить внесенню збалансованих за поживними елементами мінеральних добрив (Bhaduri et al., 2023).

Проте питання зв'язку мінерального живлення і стійкості до вірусного ураження залишається недостатньо дослідженим. Тому **метою** нашої роботи було дослідження впливу позакореневого підживлення рідким комплексним добривом за умов зараження вірусом смугастої мозаїки на продуктивність і посівну якість насіння пшениці.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження дії позакореневого підживлення рідким комплексним добривом (РКД) Фізіоживлін-Р (Україна) (N – 21,1%, P₂O₅ – 16,0%, K₂O – 16,0%, CaO – 8%, MgO – 4,0%, SO₃ – 9,0%, B – 0,02%, Mn – 0,1%, Zn – 0,01%, Cu – 0,05%, Fe – 0,3%, Mo – 0,01%, Li – 0,005% (ЕДТА – 1,9–2,2%, цитрат – 2,0–2,5%) (Patent 113638 Ukraine) на продуктивність з використанням пшениці м'якої (дворучки) *Triticum aestivum* L. сорту Зимоярка проводили у 2017–2018 рр. Рослини пшениці вирощували на дослідних ділянках Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного. Ґрунт дерново-підзолистий. У ґрунт перед посівом вносили N₉₀P₉₀K₉₀ (аміачна селітра, гранульований суперфосфат і калій хлористий). Дворазове позакореневе підживлення РКД Фізіоживлін-Р проводили у фази куціння і виходу у трубку. Підживлення посівів по вегетації здійснювали за допомогою ручного обприскувача. Дослідження проводили за наступною схемою вирощування 1 – здорові рослини (обробка водою, (контроль)); 2 – інфіковані ВСМП + обробка водою; 3 – Фізіоживлін-Р у нормі 6,0 л/га; 4 – інфіковані ВСМП+ обробка Фізіоживлін-Р у нормі 6,0 л/га.

Аналіз схожості та енергії проростання пшениці м'якої проводили за ДСТУ 2240-93. Схожість і енергію проростання насіння у 2018 році визначали з урожаю

отриманого у 2017 році. Посівні якості визначали у відсотках до загальної кількості взятого на пророщування насіння пшениці, як середнє між 4-х кратною повторністю по 100 насінин. Пророщування насіння проводили у чашках Петрі. Схожість виражали відсотковим відношенням кількості насіння, яке проросло, до загальної кількості висіяного. Через 3 доби пророщування визначали енергію проростання, а через 7 – лабораторну схожість. Ваговий аналіз проводили на 7 добу, враховуючи приріст маси сирої речовини вегетативних органів і кореневої системи.

Інфікували ювенільні рослини у фазі двох справжніх листків. Зараження проводили методом механічної інокуляції листків свіжоприготовленим вірусомісним матеріалом із попереднім опудрюванням карборундом. Виділення вірусного матеріалу проводили шляхом гомогенізації свіжозрізаних листків хворих рослин з чіткими симптомами ВСМП із додаванням 0,1 М фосфатного буферу рН 7,0. Рослинний гомогенат фільтрували через капронове сито та використовували для механічного зараження рослин. Інфікування рослин здійснювали за допомогою скляного шпателя або пальцями в одноразових рукавичках, змочених в інокулюмі. Надлишок інокулюму змивали водою.

Діагностику на наявність ВСМП проводили методом полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Загальну РНК екстрагували з 0,5 г листової тканини рослин із використанням комерційного набору AUGC-Gain (Ukrainian Genetic Technologies). Постановку двокрокової ЗТ-ПЛР проводили з використанням Termo Scientific RevertAid Reverse Transcriptase згідно з рекомендаціями виробника. Використовували WSMV – специфічні олігонуклеотидні праймери для ампліфікації фрагмента генів білка оболонки ВСМП: WSMV1 (5'TGCGGAACCTATCGACAACA3'), WSMV2 (5'AATCACACGCTGCCACAATA3'). Праймери призначені для ампліфікації продукту ДНК довжиною 404 п.н. (Mishchenko, et al., 2018).

Для ПЛР 2 мкл матричної геномної ДНК ампліфікували в 25 мкл загального об'єму, що містить 1 × реакційний буфер, 5 пмоль кожного праймера, 0,3 мМ dNTP, 1,25 U TaqDNA полімерази та вода без нуклеази. Реакції проводили за таких умов: 3 хв денатурація при 95°C, термоцикування протягом 35 циклів (1 хв при 94°C, 1 хв при 60°C і 1 хв 30 с при 72°C), закінчуючи остаточним розширенням при 72°C протягом 10 хв. (Authorized Thermal Cycler (licensed and PCR authorized (USA))). Продукти ПЛР візуалізували в 1,5% агарозному гелі з ДНК-маркерами з TBE буфером і броміду етидію (0,5 мг мл⁻¹) і візуалізували в УФ-світлі за допомогою УФ-трансліюмінатора (Vilber Lourmat ECX-20.C) (Mishchenko, et al., 2021).

Елементи продуктивності досліджували у фазу повної стиглості зерна пшениці. Статистичну обробку одержаних результатів виконували з використанням комп'ютерних програм Microsoft Excel.

Результати. Методом ПЛР проведено аналіз наявності вірусу смугастої мозаїки пшениці в листках пшениці з ВСМП-симптомами (рис. 1), які використовували для інокуляції рослин. Очікувані розміри ампліфікованих фрагментів ДНК для ВСМП були 404 -п.н.

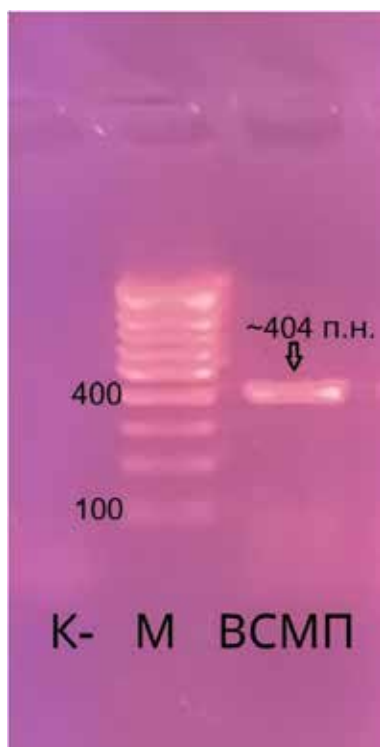


Рис 1. Виявлення вірусів ВСМП методом ПЛР (в режимі ЗТ-ПЛР (RT-PCR)) у рослинах пшениці: М – молекулярний маркер (CSL-MDNA-50BP DNA Ladder RTU), ВСМП (з листків пшениці, польовий дослід, ВСМП), К- – негативний контроль

Нашими дослідженнями у польових умовах встановлено істотне пригнічення величини основних структурних показників продуктивності пшениці м'якої за впливу ураження ВСМП: зменшення кількості продуктивних пагонів (на 30,8%), висоти стебел (на 50,8%), кількості колосків у колосі (на 24,2%), довжини (32,4%) і к-ті зерен у головному колосі (на 76,5%), маси зерен головного (74,8%) і бокового (92,4%) колосу, маси 1000 зерен (31,5%) (табл. 1).

Позакореневе підживлення рідким комплексним добривом Фізіоживлін-Р на посівах здорових рослин підвищувало масу зерен головного і бокового колосу на 6,3 та 38,9% відповідно, й спричинювало лише тенденцію до збільшення маси 1000 зерен (табл. 1). Проте підживлення РКД вірус-інфікованих рослин викликало суттєву ріст-стимулюючу дію на окремі елементи продуктивності порівняно з вірус-інфікованими рослинами без підживлення, а саме: збільшення кількості продуктивних пагонів (на 27,8%), висоти стебел (на 27,3%), маси зерен бокового колосу (у 6,5 рази), маси 1000 зерен (на 12,5%). Варто відмітити, що маса 1000 зерен з рослин уражених ВСМП за дії РКД мала навіть тенденцію до зростання по відношенню до чистого контролю.

У лабораторних умовах перевірка посівної якості отриманого у польових дослідах 2017 року насіння за параметрами енергії проростання і лабораторної схожості показала динаміку змін: погіршення цих показників за формування насінин в умовах ураження ВСМП на 17% і 15,9% відповідно. Тоді як за обробки РКД істотно поліпшувалася лише енергія проростання, а схожість мала лише тенденцію до збільшення (рис. 2). Відповідно на варіанті обробки Фізіоживлін-Р здорових рослин відмічено зростання енергії проростання (на 7,2%) і тенденцію до збільшення схожості (рис. 2).

Сира маса ювенільних рослин вирощених з насіння ВСМП-уражених рослин була нижчою на 13,5%, ніж здорових. Варто відмітити, що це відбувалося за рахунок пригнічення росту наземної маси рослин. Маса рослин вирощених з урожаю зерна на варіантах з обробкою РКД збільшувалася на 17,9% (рис. 3).

На цьому варіанті зростання маси рослин відбувалося переважно за рахунок збільшення маси кореневої системи. Застосування РКД за вірусного зараження менш згубно діяло на наростання сирі маси (яка зростала на 13,2% порівняно із вірус-інфікованими рослинами без обробки), що відбувалося за рахунок поліпшення росту кореневої системи. Варто відмітити, що вага кореневої системи на варіанті Фізіоживлін-Р+ВСМП була навіть більше, ніж на контролі на 20,4% (див. рис. 3).

Таблиця 1

Елементи продуктивності пшениці м'якої першого року вирощування (польовий дослід, фаза повної стиглості зерна, 2017 р.)

Варіант досліджу	Здорові рослини (контроль)	ВСМП	Фізіоживлін-Р	Фізіоживлін-Р + ВСМП
К-ть продуктивних пагонів, шт.	2,6±0,10	1,8±0,07	2,4±0,09	2,3±0,10
Висота стебел, см	89,2±3,6	43,9±1,8	89,6±3,5	55,9±2,20
К-ть колосків гол. колосу, шт.	20,7±0,82	15,7±0,63	20,5±0,82	14,0±0,56
Довжина гол. колоса, см	10,8±0,43	7,3±0,29	9,55±0,38	7,55±0,30
К-сть зерен у гол. колосі, шт.	48,4±1,93	11,4±0,46	49,5±1,98	23,3±0,93
Маса зерен гол. колосу, г	1,75±0,07	0,44±0,02	1,86±0,07*	0,45±0,02
Маса зерен бок. колосу, г	1,31±0,05	0,1±0,01	1,82±0,07*	0,65±0,03
Маса 1000 зерен	35,2±1,41	24,1±0,96	36,5±1,46	27,1±1,10

Примітка: * – різниця з контролем достовірна при $P \leq 0,05$.

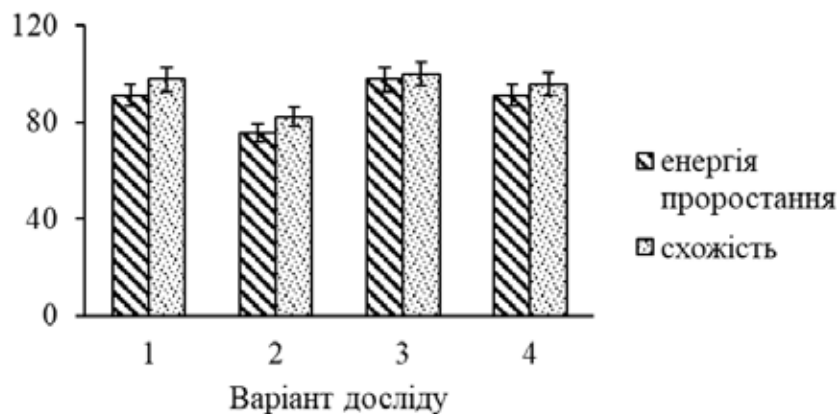


Рис. 2. Енергія проростання і схожість насіння пшениці (урожай зерна 1-го року) за позакореневої обробки рослин: 1 – здорові рослини (контроль); 2 – рослини інфіковані ВСМП; 3 – Фізіоживлін-Р; 4 – Фізіоживлін-Р+ВСМП (лабораторний дослід, 2018 р.)

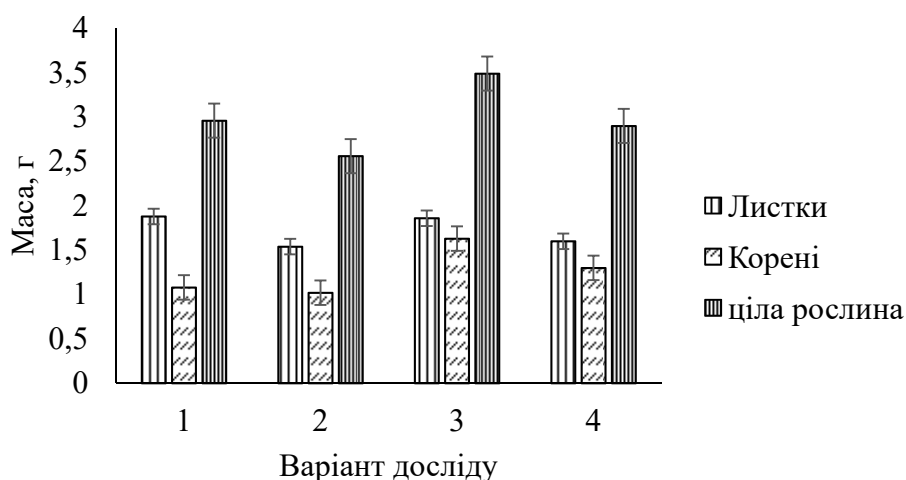


Рис. 3. Маса листків і коренів (урожай зерна 1-го року) за дії позакореневої обробки РКД Фізіоживлін-Р: 1 – здорові рослини (контроль); 2 – інфіковані ВСМП; 3 – Фізіоживлін-Р; 4 – Фізіоживлін Р+ВСМП (лабораторний дослід, 7-добові рослини, 2018 р.)

Надалі у пролонгованих дослідженнях ми проаналізували вплив отриманого посівного матеріалу за дії вищеписаних факторів (ВСМП, РДК і їх поєднання) на основні показники структури урожаю в наступному році (кількість колосків і довжина головного колосу, кількість зерен у ньому і їх маса, маса 1000 зерен) (табл. 2). Виявлено, що елементи продуктивності пшениці сорту Зимоярка урожаю 2018 року з насіння попереднього року (дослід 2) мали подібну динаміку за основними показниками. Тобто, всі визначені нами елементи продуктивності з насіння вірус-інфікованих рослин мали меншу кількість, довжину і вагу відносно контролю: кількість колосків у головному колосі (на 10,64%), довжина гол. колосу (на 9,21%), к-ть зерен у гол. колосі (на 19,22%), маса зерен гол. колосу (на 15,45%), маса 1000 зерен (на 7,4%). Відповідно рослини з насіння варіанту застосування Фізіоживліну Р мали більшу довжину гол. колосу (на 7,9%), кількість зерен у колосі (на 7,4%), масу зерен гол. колосу (на 18,2%), але тенденцію до збільшення маси 1000 зерен.

На варіанті з насіння Фізіоживлін-Р+ВСМП відносно вірус-інфікованих рослин без обробки істотно поліпшувалася лише кількість колосків у головному колосі (на 7,14%).

Обговорення. Нашими дослідженнями показано, що ураження рослин ВСМП впливало на накопичення зеленої маси ювенільних рослин і згодом позначалося на структурі продуктивності, з рослин отримали слабке насіння зі знизеним потенціалом продуктивності. Відомо, що втручаючись у рослинний метаболізм, віруси порушують дононо-акцепторні зв'язки рослини-хазяїна, відволікаючи частину енергетичних ресурсів рослинних тканин для відтворення вірусних часток. Проте на прояв вірусної інфекції впливають багато факторів, включаючи умови середовища і стійкість рослин (Paudel et al., 2018; Hulciaeva, 2024). Всередині клітини господаря вірус регулює різноманітні процеси такі як відтік цукру, розподіл вуглецю або флоемний транспорт метаболітів, збільшуючи потребу у фотосинтезі (Bhattacharyya et al., 2018; Hulciaeva, 2024).

Елементи продуктивності пшениці м'якої другого року вирощування, отриманої з насіння першого року (2017 р.) (польовий дослід, фаза повної стиглості зерна, 2018 р.)

Варіант досліджу	Здорові рослини	ВСМП	Фізіоживлін-Р	Фізіоживлін Р+ ВСМП
К-ть колосків у гол. у колосі, шт.	14,1±0,56	12,6±0,50	14,3±0,57	13,5±0,54
Довжина гол. колосу, см	7,6±0,31	6,9±0,28	8,2±0,33*	7,1±0,28
К-ть зерен у гол. колосі, шт.	22,9±0,92	18,5±0,74	24,6±0,99*	17,5±0,7
Маса зерен гол. колосу	1,1±0,04	0,93±0,04	1,3±0,05*	0,9±0,04
Маса 1000 зерен, г	27,8±1,1	25,73±1,02	28,1±1,1	25,8±1,1

Примітка: * – різниця з контролем достовірна при $P \leq 0,05$.

На противагу, у наших дослідженнях виявлено, що застосування на посівах пшениці м'якої рідкого комплексного добрива Фізіоживлін-Р (складається з N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Zn, Cu, Fe, Mo, Li) дозволяє поліпшити продуктивність і посівну якість насіння пшениці, збільшити енергію проростання, наростання зеленої маси і кореневої системи. Зростання посівної якості насіння при застосуванні рідкого комплексного добрива характеризується впливом на структуру урожаю наступного року. Застосування РДК Фізіоживлін-Р на вірус-інфікованих рослинах дозволяє збільшити толерантність до вірусного ураження за зниження його негативного прояву на структуру урожаю, яка не позначається на посівній якості насіння при його наступному посіві.

З літературних даних відомо неабиякий позитивний вплив макроелементів на рослини пшениці за дії стресових факторів, а саме N (посилення фотосинтезу, активація ферментів, водного балансу, поглинання поживних речовин, зниження перекисного окислення ліпідів, активація антиоксидантного захисту), P (ростові процеси, транспорт вуглеводів, водний баланс), K (ферментативна і антиоксидантна активність) (Kumari et al., 2022). Відомо також участь Ca, Mg і S в активації захисних механізмів при абіотичному стресі. Мікроелементи, а саме B, Zn, Cu, Fe також пом'якшують дію стресових факторів на

рослини. Причому, пом'якшуюча стрес дія характерна як за окремого, так і за комбінованого застосування цих елементів (Kumari et al., 2022). Отже, обробка вірус-інфікованих рослин рідким комплексним добривом із вмістом макро- і мікроелементів активує різні ланки метаболізму рослин, знижуючи окисний стрес, спричинений патогеном, активуючи ферментативні і захисні процеси. Відповідно, створюється певний баланс вірус/рослина, що дозволяє знизити негативний вплив вірусного ураження на структуру продуктивності й ростові процеси рослин протягом вегетації, але не відтворюється в урожаї наступного року.

Висновки. Таким чином, при застосуванні у посівах пшениці комплексного добрива Фізіоживлін-Р формується якісне насіння, здатне формувати більший урожай зерна наступного року, завдяки поліпшенню енергії проростання і ростових процесів ювенільних рослин. Тоді як позакоренева обробка рідким комплексним добривом вірус-інфікованих рослин пшениці дозволяє підвищити толерантність рослин пшениці до вірусної інфекції під час вегетаційного періоду, що позначається у поліпшенні ростових процесів і структури урожаю, але не впливає на посівну якість отриманого насіння і структуру урожаю наступного року без дії додаткових заходів.

Бібліографічні посилання:

1. Awulachew, M.T. (2020). The role of wheat in human nutrition and its medicinal value. *Global Academic Journal of Medical Sciences*, 2(6), 50–54. doi: 10.36348/gajms.2020.v02i06.001
2. Bhaduri, D., Rakshit, R., & Chakraborty, K. (2014). Primary and secondary nutrients—a boon to defense system against plant diseases. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 5(1), 461–467. doi:10.5958/0976-4038.2014.00597.1
3. Bhattacharyya, D., & Chakraborty, S. (2018). Chloroplast: the Trojan horse in plant-virus interaction. *Molecular Plant Pathology*, 19(2), 504–518. doi: 10.1111/mpp.12533
4. Cabi. Digital Library. *Wheat streak mosaic virus* (wheat streak). Access mode: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/56858>
5. Chalupníková, J., Kundu, J.K., Singh, K., Bartaková, P. & Beoni, E. (2017). *Wheat streak mosaic virus*: incidence in field crops, potential reservoir within grass species and uptake in winter wheat cultivars. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 523–531.
6. Devadas, R., Simpfendorfer, S., Backhouse, D., & Lamb, D. W. (2014). Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. *The Crop Journal*, 2, 201–206. doi: 10.1016/j.cj.2014.05.002
7. Dráb, T., Svobodová, E., Ripl, J., Jarošová, J., Rabenstein, F., Melcher, U. & Kundu, J.K. (2014). SYBR Green I based RT-qPCR assays for the detection of RNA viruses of cereals and grasses. *Crop and Pasture Science*, 65, 1323–1328. doi: 10.1071/CP14151
8. Elmer, W.H. & Datnoff, L.E. (2014). Mineral nutrition and suppression of plant disease, van Alfen N.K. (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Academic Press, 231–244.

9. Faostat. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Access mode: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
10. Gauthier, K., Pankovic, D., Nikolic, M., Hobert, M., Germeier, C.U., Ordon, F., Perovic, D. & Niehl, A. (2023). Nutrients and soil structure influence furovirus infection of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1200674. doi: 10.3389/fpls.2023.1200674
11. Graham, D.R., & Webb, M.J. (1991). Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants, 329–370. In Mortvedt, J.J. & Cox, F.R. (Eds). *Micronutrients in Agriculture*. doi: 10.2136/sssabookser4.2ed.c10
12. Huljaieva, H.B. (2024). Klitynni, fiziolohe-biokhimichni i molekuliarno-henetychni mekhanizmy vzaiemodii roslin i zbudnykiv khvorob riznykh taksonomichnykh hrup. [Cellular, physiological-biochemical, and molecular-genetic mechanisms of the interaction of plants and disease agents of various taxonomic groups]. *Physiology of Plants and Genetics*, 56(4), 279–310 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2024.04.279
13. Jones, R.A.C., Coutts, B.A. Mackie, A.E. & Dwyer, G.I. (2005). Seed transmission of *Wheat streak mosaic virus* shown unequivocally in wheat. *Plant Disease*, 89, 1048–1050.
14. Kaur, S., Samota, M.K., Choudhary, M., Choudhary, M., Pandey, A.K., Sharma, A., & Thakur, J. (2022). How do plants defend themselves against pathogens-Biochemical mechanisms and genetic interventions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(2), 485–504. doi: 10.1007/s12298-022-01146-y.
15. Kumar, S., Kumar, S. & Mohapatra, T. (2021). Interaction between macro- and micro-nutrients in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 665583. doi: 10.3389/fpls.2021.665583
16. Kumari, V.V., Banerjee, P., Verma, V.C., Sukumaran, S., Chandran, M.A.S, Gopinath, K.A., & Awasthi, N.K. (2022). Plant nutrition: an effective way to alleviate abiotic stress in agricultural crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 31, 23(15), 8519. doi: 10.3390/ijms23158519
17. Lau, S.E., Teo, W.F.A., Teoh, E.Y. & Tan, B.Ch. (2022). Microbiome engineering and plant biostimulants for sustainable crop improvement and mitigation of biotic and abiotic stresses. *Discov Food* 2, 9. doi: 10.1007/s44187-022-00009-5
18. Markov, I. (2019). Virusni khvoroby zernovykh kolosovykh i zakhody shchodo obmezhenia yikhnoho poshyrennia. [Viral diseases of cereal grains and measures to limit their spread]. *Propozitsiya*, 1. (in Ukrainian). Access mode: <https://propozitsiya.com/ua/virusni-hvoroby-zernovykh-kolosovykh-i-zakhody-shchodo-obmezheniya-yihnogo-poshyrennya>
19. Meena V.S., Meena S.K., Verma J.P., Meena R.S., & Ghosh B. N. (2015). The needs of nutrient use efficiency for sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 102 562–563. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.044
20. Mishchenko, L., Nazarov, T., Dunich, A., Mishchenko, I., Ryshchakova, O., Motsnyi, I., & Smertenko, A. (2021). Impact of wheat streak mosaic virus on peroxisome proliferation, redox reactions, and resistance responses in wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 22(19), 10218. doi: 10.3390/ijms221910218
21. Mishchenko, L.T., Dunich, A.A., Mishchenko, I.A., Petrenkova V.P., & Mukha, T.I. (2018). Monitoring of economically important wheat viruses under weather conditions change in Ukraine and investigation of seed transmission of wheat streak mosaic virus. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24, 660–669
22. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Sortovi ta posivni yakosti. Tekh-nichni umovy: DSTU 2240-93. [Seeds of crops. Varietal and showing qualities. Technical conditions: DSTU 2240-93]. K., State Standard of Ukraine, 1994, 73. (in Ukrainian).
23. Pandey, M., Shrestha, J., Subedi, S., & Shah, K.K. (2020). Role of nutrients in wheat: a review. *Tropical Agrobiodiversity (TRAB)*, 1(1), 18–23. doi: 10.26480/trab.01.2020.18.23
24. Paudel, D.B., & Sanfaçon, H. (2018). Exploring the diversity of mechanisms associated with plant tolerance to virus infection. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1575. doi: 10.3389/fpls.2018.01575
25. Price, J.A., Workneh, F., Evett, S.R., Jones, D.C., Arthur, J., & Rush, C.M. (2010). Effects of wheat streak mosaic virus on root development and water-use efficiency of hard red winter wheat. *Plant Disease*, 94, 6, 766–770. doi: 10.1094/PDIS-94-6-0766
26. Singh, K., Wegulo, S.N., Skoracka, A., & Kundu, J.K. (2018). Wheat streak mosaic virus: a century old virus with rising importance worldwide. *Molecular Plant Pathology*, 19(9), 2193–2206. doi: 10.1111/mp.12683
27. Sposib pidvyshchennia produktyvnosti pshenytsi ozymoi iz zastosuvanniam ridkohe kompleksnoho dobrovya, shcho mistyt khelaty mikroelementiv: pat. 113638 Ukraina MPK [Method for increasing winter wheat productivity using liquid complex fertilizer containing chelates of trace elements: patent 113638 Ukraina MPK] (2016.01) A01C 21/00 C05G 1/00 C05D 9/02 (2006.01) C05D 11/00 C05D 11/00. No u 2016 07482; appl. 08.07.2016; publ. 10.02.2017, Bul., 3. 6 p. (in Ukrainian)
28. Sun, Y., Wang, M., Mur, Luis A., Shen, Q., & Guo, S. (2020). Unravelling the roles of nitrogen nutrition in plant disease defences international journal of molecular sciences. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 572. doi: 10.3390/ijms21020572
29. Tripathi, R., Tewari, R., Singh, K.P., Keswani, C., Minkina, T., Srivastava, A.K., & Sansinenea, E. (2022). Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 20;13, 883970. doi: 10.3389/fpls.2022.883970.
30. Velasquez, A.C., Castroverde, C., & He, S.Y. (2018). Plant-pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*, 28, 619–634. doi: 10.1016/j.cub.2018.03.054
31. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 7370–7390. doi: 10.3390/ijms14047370

Bohdan M. M., PhD (Biological Sciences), Agricultural Sciences, D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Influence of liquid complex fertilizer for virus infection on sowing seed quality and productivity of wheat

The article is devoted to the research results of the influence of the liquid complex fertilizer «Fiziozhivin-P» in the formation of productivity elements and sowing qualities of wheat under artificial infection with wheat stripe mosaic virus (WSMV). Methods: Microbiological, molecular genetics, biometric, statistical. In two-year field experiments, the influence of foliar treatment with liquid complex fertilizer (LCF) with a balanced composition of macro and microelements (containing N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Zn, Cu, Fe, Mo, Li) of healthy and virus-infected wheat plants (artificial infection) on structural yield indicators, sowing quality of seeds and growth processes of juvenile plants was investigated. The presence of wheat stripe mosaic virus in wheat leaves with WSMV symptoms was confirmed by PCR. Studies have established a significant suppression of the main structural indicators of productivity of common wheat under the influence of WSMV damage: a decrease in the number of productive shoots, stem height, number of spikelets in the spike, length, and number of grains in the main spike, the mass of grains of the main and lateral spike, the mass of 1000 grains. It was found that the treatment of crops of healthy plants with LCF increased mainly the mass of grains of the main and lateral spike. It was found that the mass of juvenile plants grown from seeds of plants treated with liquid complex fertilizer increased significantly, but mainly due to an increase in the root system. The use of LCF during viral infection reduced the negative impact of viral infection on fresh weight gain and growth compared to virus-infected plants without treatment, which occurred due to improved root system growth. The weight of 1000 grains from the yield of virus-infected plants treated with LCF tended to increase to pure control. It is noted. Thus, according to the data obtained, foliar treatment of plants with liquid complex fertilizer allows an increase in the tolerance of wheat plants to virus damage, to some extent reducing productivity losses, but it does not affect the sowing quality of seeds and the structure of crop productivity the following year.

Key words: *Triticum aestivum* L., liquid complex fertilizer, WSMV, productivity, sowing quality.