

УДК 635.64:635.67:635.263

DOI: 10.37128/2707-5826-2026-2-10

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ  
МІКРОДОБРІВ У БІОФОРТИФІКАЦІЇ  
ЯКОСТІ ПЛОДІВ ТОМАТУ ЗА  
ВИРОЩУВАННЯ У ПЛІВКОВИХ ТЕПЛИЦЯХ****Т.С. АРАЛОВА,**  
кандидат с.-г. наук,  
старший викладач ВНАУ  
**П.М. ВЕРГЕЛЕС,**  
кандидат с.-г. наук,  
доцент ВНАУ

Сформовано значимість системної біофортificaції за вирощування томатів у плівкових теплицях як з позиції гарантування високої харчової якості вирощеного врожаю, так і з позиції коректуючих тактик використання даної інноваційної технології в загальних процесах управління якістю овочевої продукції. Визначено, що основні біофортificaційні технології за вирощування овочевих культур базуються на використанні підібраних мікроелементів, які гарантують за рахунок специфічної дії сталий позитивний вплив як на якісну зміну мікроелементного складу плодів томатів, так і на позитивну динаміку формування інших якісних показників, які є важливими в плані прямого харчового або ж послідуєчого технологічного використання вирощеного врожаю. Представлено результати дослідження застосування у формі листкового підживлення у варіантах різного феностадійного їх внесення за вирощування гібриду томату індетермінантним типом росту типу Порпора на формування урожайних та харчових характеристик кінцевих результатів тепличного його вирощування. Дослідження включали використання тепличної бази навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету за використання стандартного спектру методик прийнятих в овочівництві закритого ґрунту, а також потужності однієї із сертифікованих і акредитованих лабораторій Вінниччини для достовірної оцінки якості та біохімічної структури сформованого врожаю залежно від застосованих варіантів досліду. Визначено вплив застосованих мікродобрив у різних варіантах застосування з позиції строків на формування та реалізацію урожайного потенціалу гібриду томату.

Проведено оцінку товарності вирощеного врожаю та зроблено висновок щодо технологічної доцільності вивчаємих заходів оптимізації живлення томатів у приміненні до поширених в Україні плівкових теплиць. Проаналізовано, на підставі протоколів лабораторного визначення хімічного складу плодів томатів за такими показниками як: вміст сухих речовин, вміст аскорбінової кислоти, каротиноїдів, флавоноїдів, моно- і дисахаридів та загальний вміст мікроелементів ефективність біофортificaційного напрямку застосування у листкове підживлення відповідної лінійки мікродобрив. Визначено найбільш оптимальні технологічні варіанти застосування позакореневого живлення гібридів томатів з індетермінантним типом росту для оптимального поєднання результативного рівня урожайності та якості вирощеної продукції.

**Ключові слова:** томати, листкові підживлення, урожайність, якість, біохімічний склад, харчова цінність.

**Табл. 3., Рис. 5., Літ. 20.**

**Постановка проблеми.** Сучасні світові виклики у формуванні продовольчої безпеки світу ставлять виклики до обсягів виробництва певного виду продукції, що зумовлює необхідність постійному нарощуванні обсягів виробництва. При цьому важливим аспектом залишається також гарантування якості вирощеної продукції, оскільки загальний стан екологічної ситуації залишається вкрай незадовільним та формує передумови до обмеження результативності урожайності за рахунок непридатності частини отриманої продукції для споживання [1].



З врахуванням вказаних тенденцій наукова спільнота веде пошук ефективних технологічних рішень, які дозволять ефективно керувати якістю вирощеної продукції на стадії її технологічного вирощування в етапах застосування класичних агрохімікатів [2]. Серед таких заходів одним із перспективних з позиції потенціалу і ефективності є метод біофортифікації [3]. Незважаючи на все більшу популярність такої технології, особливо за вирощування овочевих культур актуальною проблемою, яка потребує додаткового наукового узагальнення є підбір ефективних агрохімічних компонентів, які здатні забезпечити досягнення бажаного біофортифікаційного ефекту, що актуалізує проведені дослідження.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** З огляду на загальне зростання абіотичних і біотичних ризиків, що впливають на реалізацію біопродуктивного потенціалу рослин, а також на можливості розроблення гнучких технологічних рішень під час формування агроценозів сільськогосподарських культур, система біофортифікації забезпечить сталу врожайність за збереження високої якості продукції, реалізацію генотипового потенціалу сортів і гібридів культур із різними циклами розвитку, підвищення потенціалу імунної стійкості рослин до основних патогенів [1].

Розроблені регуляторні рішення щодо оптимізації регіональних систем удобрення сільськогосподарських культур на основі фортифікації суттєво поглиблюють розуміння фізіолого-біохімічних механізмів стійкості рослин до стресових чинників. Ці рішення дадуть змогу ефективно керувати цими процесами шляхом коригувального застосування мікроелементів у встановлені критичні періоди або на основі прогнозів щодо загального рівня родючості ґрунту та гідротермічних стресових умов у конкретному регіоні [2–5].

Термін «біофортифікація» розглядається у контексті вже згадуваних двох підходів: селективного з генетичною системою рекомбінацій та агротехнологічний за рахунок використання відповідної системи удобрення [1, 3, 6–7]. Це передбачає поліпшення властивостей рослини, що відрізняє від фортифікації харчової продукції, яка передбачає спрямовану інтродукцію додаткових мікроелементів та вітамінів з метою покращення їхньої поживної цінності. Біофортифікація передбачає створення рослин з підвищеним рівнем вмісту певних елементів та сполук – як таких, що поглинаються з ґрунту (макро- та мікроелементи), так і тих, що синтезуються в рослині (вітаміни, вторинні метаболіти). Завдяки сучасним технологіям, реальними стали також синтез та накопичення у певних частинах рослини не властивих їй сполук з метою надання окремим культурам нових поліпшених властивостей зокрема адаптивного, антистресового характеру [5, 8].

При цьому система агротехнологічної біофортифікації має на увазі підвищення загальної фізіологічної концентрації основних мікронутрієнтів в агроценозі, яка зумовлюється їх перерозподілом між різними частинами рослин у процесі засвоєння після відповідної технології застосування [1, 5, 9].

Завдання біофортифікації з огляду на сучасне бачення є знову ж таки два основних підходи [10, 11]:

– розробка підходів стабільного та ефективного технологічного рішення щодо забезпечення відповідними мікроелементами на стадії формування врожаю та його збирання;

– формування передумов до підвищення стресостійкості рослин за рахунок формування якісної структури мікроелементного балансу у складі мікроелементів, які визначають основи стресової адаптивності клітин та рослинного організму в цілому.

У цьому плані агрономічна біофортифікація передбачає можливість застосування відповідних агрохімікатів за вирощування більшості культур в тому числі і томатів при внесенні їх у три основних технологічних періоди: ґрунтове внесення добрив, система передпосівної обробки насіння та система позакорневих (листяних) підживлень [7, 12, 13]. Позитив від таких підходів базується також стосовно сої як зернобобової культури на фоні застосування біоінокуляції та рістрегуляції [8, 14].

Внаслідок імплементації зазначених раніше напрямків оптимізації формуються позитивні зрушення у живленні рослин за рахунок формування покращеної структури транслокаційних процесів засвоєних поживних речовин та їх депонування у відповідних частинах репродуктивного характеру та активний відтік із асиміляційних частин до зерна з посиленими процесами секвестрація синтезованих поживних речовин по відношенню до важливих регуляторних центрів в тому числі таких, які відповідають за преадаптацію до стресів [15]:

У плані найбільш поширених практик біофортифікації за вирощування томатів особливо у закритому ґрунті є система позакорневих підживлень, що дозволяє істотно підвищити процеси депонування необхідних мікроелементів у відповідних частинах рослини [1, 7, 12, 15].

Наголошується також, що у технології вирощування томатів, біофортифікація окремими мікроелементами такі як бор, селен, кремній, магній сприяють не лише істотному поліпшенню продовольчої цінності вирощеного врожаю, але й забезпечують мобілізацію адаптивних властивостей організму, зокрема підвищення посухостійкості, жаростійкості, стійкості до низьких температур та до ряду фітопатогенів та фітофагів як за рахунок зміни самого хімізму процесів морфогенезу та плодоутворення, так і за рахунок сприятливості ростових процесів за формування умов для диспаритету з циклами розвитку шкідників та хвороб [1, 5, 10].

Слід також відмітити, що не дивлячись на глобальну значимість біофортифікації її потенціал у світі, зокрема у приміненні до технологічних рішень вирощування томатів у закритому ґрунті – досліджений недостатньо, що потребує додаткового наукового вивчення та узагальнення для умов України для розробки високоефективних адаптивних технологічних рішень вирощування даної цінної овочевої культури [1, 15].

Таким чином, дослідження ефективності застосування комплексу хелатних мікродобрив, які декларуються як можливі біофортифікатори у технологіях вирощування томатів актуальною метою в галузі овочівництва з кінцевою ціллю не лише істотної стабілізації та зростання урожайності культури, але й розробки адаптивних технологій її вирощування. З врахуванням диверсифікації світового овочевого світового ринку, зростанням ризиків прискорених кліматичних змін території овочевого виробництва це актуалізує проведенні дослідження та їх значимість для аграрного сектора економіки.

**Умови та методика досліджень.** Дослідження проводились в умовах тепличного господарства навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету впродовж 2024–2025 рр. У дослідженнях було використано гібрид томату Порпора (F<sub>1</sub>) з висаджуванням розсадою у шаховому порядку з відстанню між рослинами у шаховому порядку у ґрунтовий субстрат. Розсаду вирощували у пластикових касетах площею живлення 36 см<sup>2</sup>. Насіння для отримання розсади висівалось орієнтовно у другій декаді березня. Пікірування та висадка сформованої розсади проводилась у першій декаді травня місяця. Схема висадки 50x50 см (орієнтована густина посадки 50 тис. рослин/га).

Для формування варіантів досліду та облік показників було сформовано дослідну групу з 25 рослин з відповідною їм фіксованою площею розміщення. Повторність досліду 4-х разова (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема посадки та загальний габітус рослин у досліді в умовах плівкової теплиці тепличного комплексу ВНАУ, 2025 рік

*Джерело: сформовано на основі власних досліджень*

Томат Порпора F<sub>1</sub> (оригініатор компанія Esasem) належить до групи ранніх гібридів солодкої технологічної групи з індетермінантним типом росту. Має компактний кущ висотою до 1,8 м. Формує до 7–8 кистей з 14–20 плодами типу чері на кожній сформованій кисті. Вага самої кисті може досягати до 400–450 г.

Є толерантним до тепличного та нетепличного вирощування. Базовий принцип формування – заведення на 1–2 стебла. Вимогливий до живлення. Планування системи листкового живлення комплексними мікродобривами рекомендовано проводити в обов'язковому порядку. Має високу стійкість до фузаріозу, ВТМ та вертицильозного в'янення. Середньостійкий до нематоди. Форма плоду кругла, з яскраво-червоним забарвленням. Середня вага одного плоду 20–25 г. Має класичний смак та ніжну м'якоть. Придатний для всіх поширених варіантів технологічної переробки. Тривалість до дозрівання від часу посадки розсади до 70 діб. Високоврожайний гібрид з формуванням 2–3 кг плодів на одному кущі. Загальна лежкість плодів до 30–40 діб. Має гарні показники логістичної транспортабельності.

Технологія вирощування томату проводилась у плівковій теплиці аркового типу з системою природньої вентиляції та базовими засадами регулювання мікроклімату. Рослини томату формувались на одне стебло з системою формуючих зелених операцій. Всі елементи технології, крім таких, які були поставлені на вивчення були одно типовими для всіх варіантів досліду.

Схема досліду передбачала вивчення інноваційних мікродобрив різних компаній на ринку України з позиції біофортificaції вирощеного врожаю за показниками мікроелементного складу та супутніх показників технологічної їх якості. Схема досліджень представлена у табл. 1. Мікродобрива вносились при застосуванні ранцевого обприскувача з розміщенням варіантів у межах визначених технологічних рядів томату із формуванням повторень у внутрішньому периметрі ряду рівновеликим параметричним методом ярусного характеру.

Таблиця 1

**Схема вивчення ефективності застосування лінійки мікродобрив в управлінні технологічною якістю томату гібриду Порпора F1, 2024–2025 (фонове удобрення з трансформацією внесеної діючої речовини добрив на 1 м<sup>2</sup> корисної площі N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>)**

Мікродобриво	Фаза внесення
Контроль – без мікродобрив (обробка водою)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)
Плантоніт Овочеві (2,0 л/га)	Цвітіння (ВВСН 65–68)
Квантум ПЛАТІНУМ (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) +
Wonder Leaf Veg&Fruit (2,0 л/га)	цвітіння (ВВСН 65–68)
SmartGrow ТОМАТ (2,0 л/га)	

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Комбінація факторів (включаючи фактор року)  $2 \times 4 \times 3 = 24$ .

Мікродобрива вносились у формі водних розчинів ранцевим обприскувачем на феностадії початку бутонізації (ВВСН 48–50) та повторно на фазу цвітіння (ВВСН 65–68).

*Плантоніт Овочеві* – комбіноване мікродобриво на базі набору амінокислот та екстрактивних похідних морських водоростей. Забезпечує ряд позитивних впливів: зростання загальної урожайності томатів, формує передумови для стимулювання фертизації рослин та збільшення стресостійкості та адаптивності.

Володіє функціями оптимізації та посилення росту плодів. Відмічено оптимізацію вегетативного росту рослин та зміцнення молодих пагонів і листкового апарату а також галуження кореневої системи. Відмічено позитивний вплив добрива на ступінь засвоєння основних макроелементів з ґрунту до рівня 10–17%. Базовий склад добрива наступний: вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>, D, H, PP – 0,04 %, ГПФ кислоти 6 %, амінокислоти 2 г/л, фітогормони 2 г/л, Бетаїн 1000 ppm/л, Хітозан 100 ppm/л, ПАР 3%, Йод 0,1%, N 70 г/л, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 70 г/л, K<sub>2</sub>O 70 г/л, MgO 50 г/л, SO<sub>3</sub> 50 г/л, B 4 г/л, Fe 40 г/л, Mn 40 г/л, Cu 40 г/л, Zn 40 г/л, Mo 0,1 г/л.

*Квантум ПЛАТИНУМ* – комбіноване добриво, яке містить азот, манган, кальцій та сірку для результативної активізації фотосинтезу та ряд амінокислот для підвищення загального антистресового потенціалу рослин. Базовий хімічний склад добрива наступний: N 9,5% (95 г/л), CaO 2,0% (20 г/л), MgO 1,5% (15 г/л), Cu 0,7% (7 г/л), Fe 1,2% (12 г/л), SO<sub>3</sub> 1,8% (18 г/л), Mn 0,7% (7 г/л), Zn 1,2% (12 г/л), B 0,5% (5 г/л), Mo 0,01% (0,1 г/л), амінокислоти 5% (50 г/л), pH – 7,0–8,5.

*Wonder Leaf Veg&Fruit* – комплексне хелатне мікродобриво, яке рекомендовано для листкового підживлення томатів в польових умовах та закритому ґрунті. Заявлений хімічний склад 3% Mn (хелат марганцю), 8,5% SO<sub>3</sub> сірка, 2,5% Zn (хелат цинку), 2% Cu (хелат міді), 1% Fe (хелат заліза), 0,5% Mo молібден, 0,4% B бор, 10,8% амінокислоти рослинного екстрактного походження, pH 3–5.

*SmartGrow TOMAT* – складне мультикомплексне органо-мінеральне добриво з істотною концентрацією гумінових і фульвокислот, макро- і мікроелементів. Загальний склад: фульвові кислоти – 15 г/л, гумінові кислоти – 80 г/л, азот (N, загальний) – 16,2 г/л, фосфор (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 8,6 г/л, калій (K<sub>2</sub>O) – 27 г/л, комбінація мікроелементи (Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn) – 6,0 г/л, pH 8,8.

Основним індикатором вивчення ефективності застосованих мікродобрив був досяжний рівень урожайності та показники якості вирощеної продукції з позиції біофортифікаційного ефекту у співставленні до контролю.

Врожайність томатів у варіантах дослідів визначалась ваговим обліком з сумуванням зборів плодів на стадіях їх технічного та біологічного рівня стиглості у перерахунку на 1 рослину та 1 м<sup>2</sup> відповідно. Рівень товарності томатів оцінювали за часткою виходу плодів стандартних із загальної кількості облікованих плодів томата [16].

Показники якості плодів визначали в умовах Незалежного центру лабораторних досліджень «ЕТАЛОН» (приватна випробувальна лабораторія, акредитована згідно ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій» (атестат акредитації № 20846, чинний до 09.03.2030 р.). Для визначення показників якості плодів вони відбирались у фазі технічної стиглості з пробами вагою до 500 г з двох несуміжних повторень з пакуванням у герметичні пакети на зіп-защипці, підписувались та направлялись у лабораторію.

Для визначення показників якості томатів в умовах лабораторії було використано як національні, так і європейські протоколи та стандарти щодо оцінки якості продукції овочевих культур закритого та відкритого ґрунту [17, 18].

Статистичну оцінку результатів проводили з використанням стандартних методів дисперсійного аналізу та застосуванням базових показників оцінки середніх та порівняльних значень величин відповідно до схеми досліду [19].

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Результати оцінки показника урожайності томату у досліді по перше засвідчили високий рівень продуктивності вивчаемого сорту за його вирощування в умовах плівкових теплиць (рис. 2). А по друге відмічено істотні відмінності формування показника урожайності у розрізі етапів збирання (липень – жовтень) залежно від застосованого варіанту підживлень (табл. 2).



**Рис. 2.** Загальний урожайний потенціал томату гібриду Порпора F1 у досліді, 2025 р.

За результатами обліку урожайності сумарна продуктивність томата за всі етапи відбору залежно від варіанту підживлення коливалась в межах 14,81–16,85 кг/м<sup>2</sup>, що з позиції урожайного потенціалу вивчаемого гібрида з врахуванням його одностеблового формування у досліді відповідало високому рівневі урожайності з огляду на ряд оцінок індетермінантних гібридів за їх вирощування в умовах плівкових теплиць [13]. На контролі без застосування листових підживлень показник урожайності в середньому за період досліджень становив 13,6 кг/м<sup>2</sup>, що відповідало середньому інтервалу продуктивності гібриду Порпора F1 в умовах України (12,8–14,7 кг/м<sup>2</sup>) [15].

В оцінці ефективності термінів підживлення то з огляду на особливості фізіологічного впливу мікроелементів, як активних компонентів оптимізації ростових процесів на фоні росту адаптивності рослин [5, 7, 8] слід було очікувати комплементарний ефект за внесення мікродобрив у два фенологічних періоди – на початку бутонізації та на фазу повного цвітіння.

Це підтверджено представленими рівнями урожайності рослин у розрізі феностадій підживлення. У порівнянні з контролем усереднений приріст для варіантів застосування мікродобрів у фазу початку бутонізації (ВВСН 48–50) становив 13,29%, для фенофази цвітіння (ВВСН 65–68) 10,85%, а за поєднаного внесення в обидві фенофази – 19,71%.

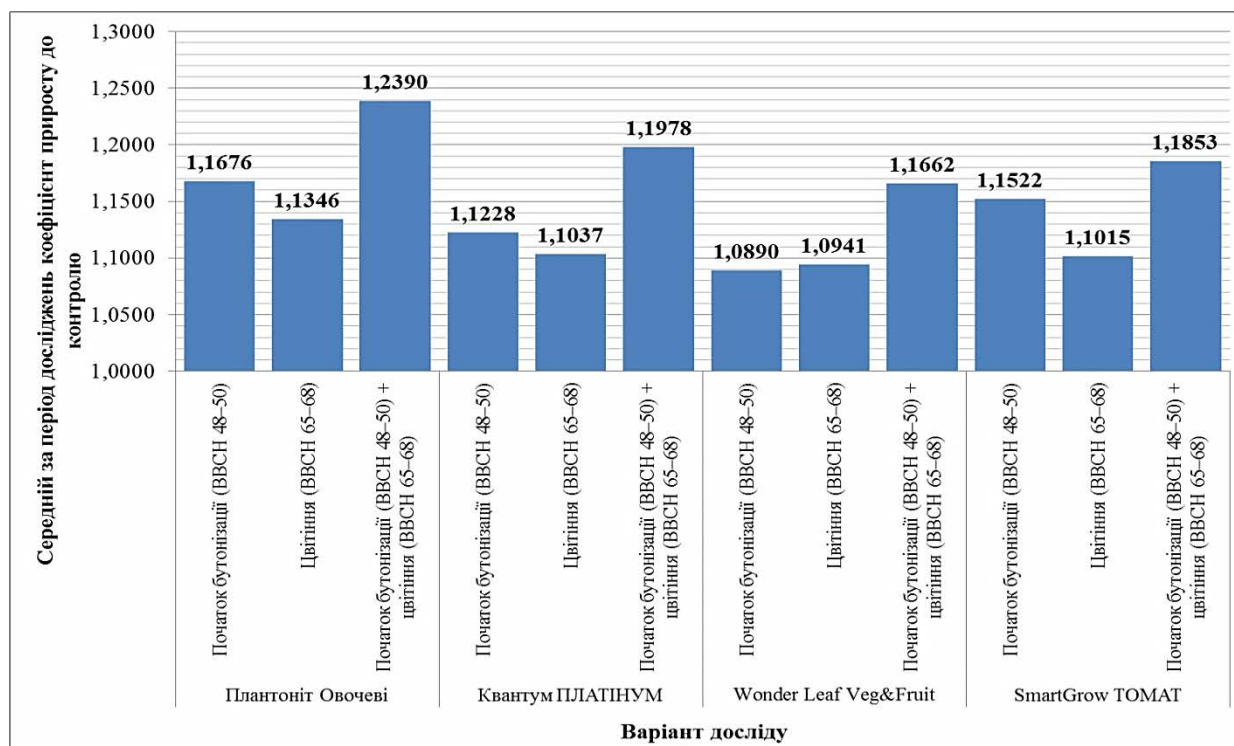
Таблиця 2

**Урожайність гібриду томата Порпора F1 залежно від варіанту підживлень, середнє за 2024–2025 рр.**

Застосоване мікродобриво (чинник А)	Феностадія листкового підживлення (чинник В)	Урожайність, кг/м <sup>2</sup>			
		липень	серпень	вересень	жовтень
Контроль (без внесення)		4,47	4,59	3,99	0,55
Плантоніт Овочеві (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	6,42	5,57	0,74	0,74
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,87	4,96	0,58	0,58
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	7,19	6,27	1,19	1,19
Квантум ПЛАТІНУМ (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,22	4,56	0,42	0,42
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,19	4,28	0,56	0,56
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	6,17	4,89	1,02	1,02
Wonder Leaf Veg&Fruit (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,39	4,48	0,49	0,39
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,22	4,75	0,52	0,33
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	5,48	4,95	0,72	0,72
SmartGrow ТОМАТ (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,77	4,82	0,55	0,55
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,72	4,46	0,61	0,41
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	6,71	5,83	0,89	0,89
НІР <sub>05</sub> (у взаємодії АВ)		0,51	0,84	1,03	0,27

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

В оцінці рейтингу ефективності застосованих мікродобрів максимальні показники приростів відмічено у варіантах застосування Плантоніт Овочеві із приростом до контролю за сумарним рівнем зібраного врожаю за внесення у фазу початку бутонізації 16,77%, у фазу цвітіння – 13,46% та за внесення в обидві фази 23,90%. В цілому ранжирований ряд за прирістними коефіцієнтами для вивчаємих мікродобрів (рис. 3) мали наступний ряд у порядку зростання ефективного впливу на реалізацію урожайного потенціалу гібриду томату Порпора: Wonder Leaf Veg&Fruit < Квантум ПЛАТІНУМ < SmartGrow ТОМАТ < Плантоніт Овочеві.



**Рис. 3.** Оцінка коефіцієнтів росту показника загальної урожайності гібриду томата Порпора F1 у розрізі поєднання варіантів мікродобрив та феностадій їх застосування, середнє за 2024–2025 рр.

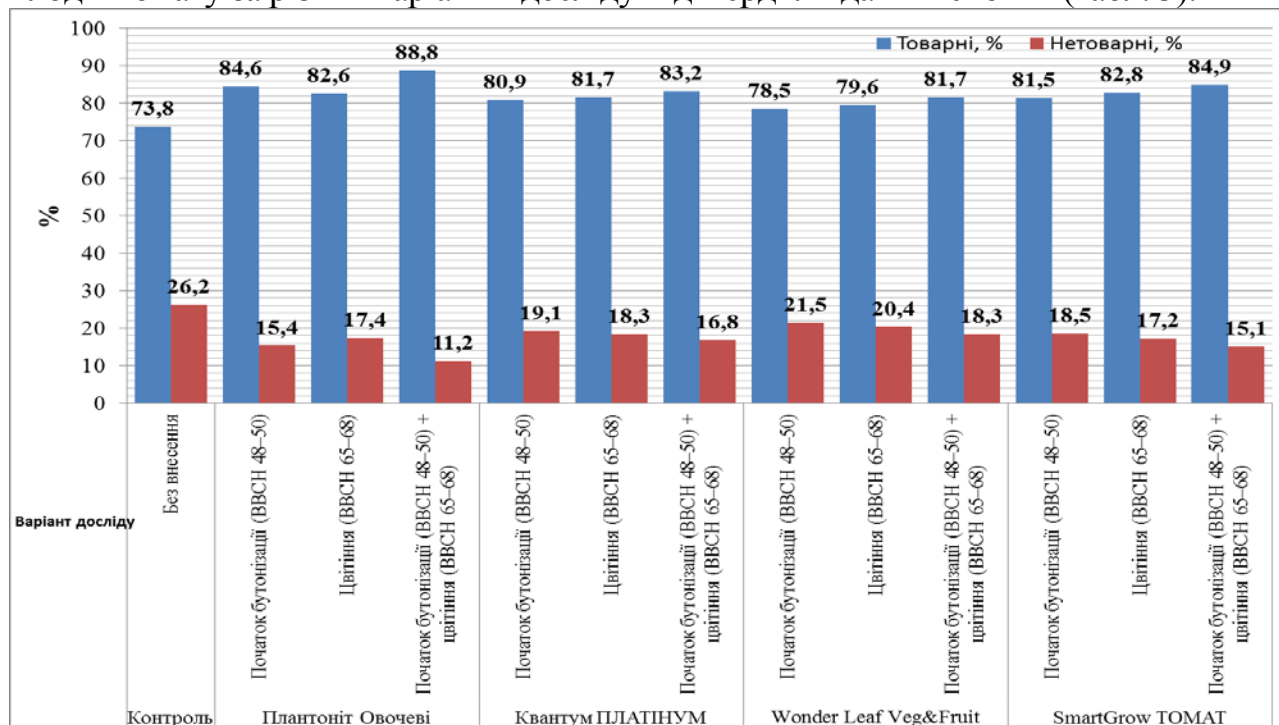
Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Позитивним був і результат впливу застосованих варіантів підживлень і на показник товарності плодів з позиції типового розміру, забарвлення, відсутності непропорційної морфології плоду та наявності пошкоджень біологічного характеру (рис. 4).

За результатами проведеної оцінки застосування даної системи листових підживлень сприяє формуванню істотно вищої товарної якості плодів томата, що забезпечує сприятливі передумов для реалізації продукції та формування певного рівня профітності її вирощування. Встановлено, що у середньому як за період досліджень, так і у розрізі феностадій застосування варіант листового підживлення Плантоніт Овочеві забезпечив зростання товарності плодів томата на 11,53%. У варіанті застосування Квантум ПЛАТИНУМ 8,13%, Wonder Leaf Veg&Fruit 6,14% та для SmartGrow TOMAT 9,27%. Максимального показника росту товарності плодів було відмічено у варіанті застосування всіх мікродобрив дві феностадії внесення в інтервалі від 15,0% при застосуванні Плантоніт Овочеві та 7,9% у варіанті застосування Wonder Leaf Veg&Fruit.

Проведені тривалі дослідження засвідчили, що технологія листових підживлень за вирощування пасльонових є ефективною з позиції істотного поліпшення якості вирощеної продукції за цілим комплексом показників: від вмісту сухих речовин і цукрів до поліпшеної структури мікроелементного складу плодів [6–8, 11–13].

Отримані в процесі лабораторного аналізу результати біохімічної оцінки плодів томату за різних варіантів досліду підтвердили дані висновки (табл. 3).



**Рис. 4.** Вихід товарних плодів томата Порпора F1 залежно від варіантів застосування підживлень (середнє за 2024–2025 рр.), %.

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

За результатами проведеної біохімічної оцінки плодів томата зібраних з різних варіантів досліду встановлено позитивний вплив системи листкових підживлень на формування якісних показників сформованого врожаю в тому числі високі рівні біофортificaції вирощеної продукції за рядом важливих складових харчової її цінності. Прирістний характер вказаного позитивного впливу деталізований та представлений на рисунку 5.

За результатами оцінки біохімічного складу у розрізі вивчаємих мікродобрив встановлено, що максимального позитивного біофортificaційного впливу було відмічено у варіанті застосування мікродобрива Плантоніт Овочеві у комбінованому застосунку послідовно у дві феностадії росту і розвитку рослин томатів та для цього ж способу застосування мікродобрива SmartGrow ТОМАТ. У випадку мікродобрива Плантоніт Овочеві дане технологічне рішення у співставленні до контролю було найбільш ефективним з позиції підвищення вмісту сухих речовин (відносний приріст 1,05%), вмісту аскорбінової кислоти (відносний приріст 20,63%) та загальної кількості мікроелементів (відносний приріст 40,57%).

З позиції застосування у листкове підживлення мікродобрива SmartGrow ТОМАТ – цей варіант був з позиції прирістного показника до контрольного варіанту найбільш ефективний за показником вмісту каротиноїдів (відносний приріст 58,33%), флавоноїдів (відносний приріст 26,32%) та вмісту моно- і дисахаридів (відносний приріст 13,0%).

Таблиця 3

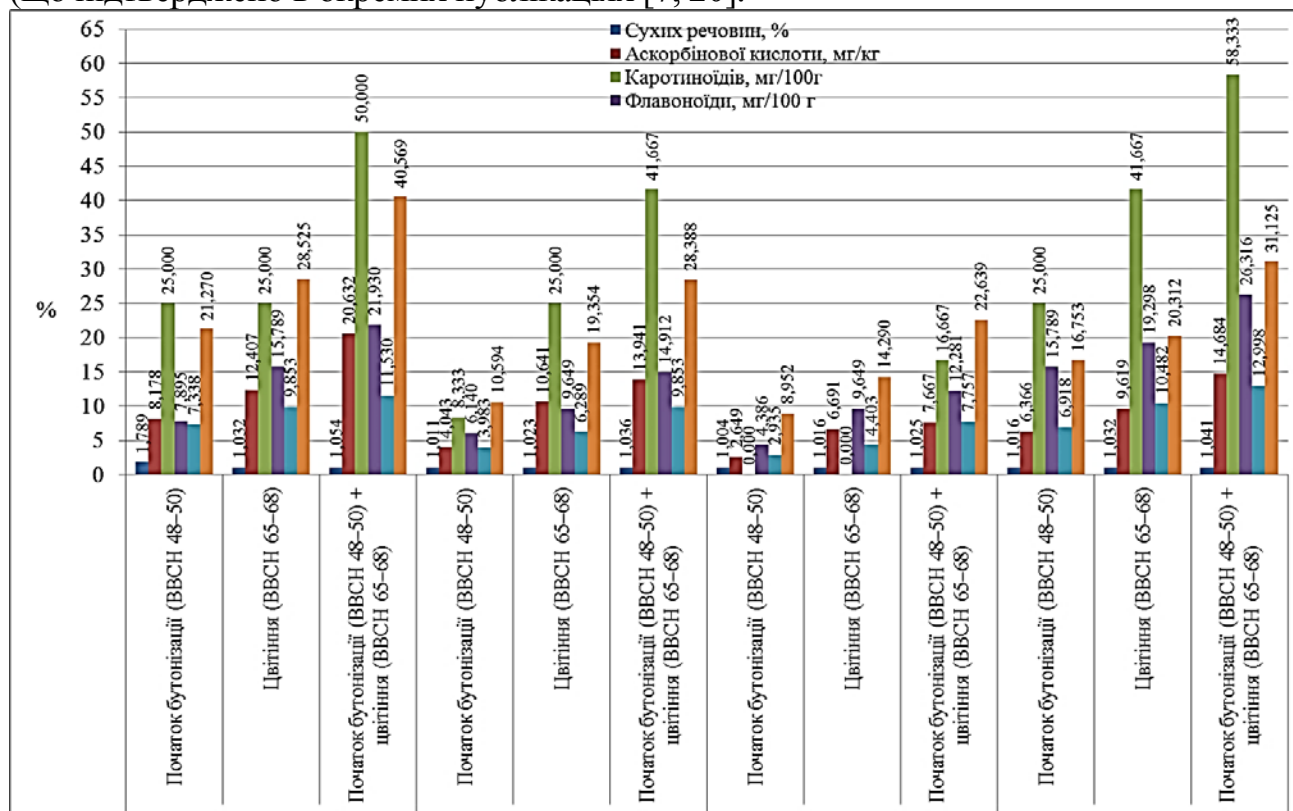
**Біохімічні параметри плодів томата сорту Порпора F1 залежно від варіантів листкових підживлень, середнє за 2024–2025 рр.**

Застосоване мікродобриво (чинник А)	Феностадія листкового підживлення (чинник В)	Показники (вміст)					Загальна кількість мікроелементів, мг/кг*
		Сухих речовин, %	Аскорбінової кислоти, мг/кг	Каротиноїдів, мг/100 гр	Флавоноиди, мг/100 г	Моно- і Дисахаридів, %	
Контроль (без внесення)		5,59	21,52	0,12	11,4	4,77	73,06
Плантоніт Овочеві (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,69	23,28	0,15	12,3	5,12	88,6
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,77	24,19	0,15	13,2	5,24	93,9
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	5,89	25,96	0,18	13,9	5,32	102,7
Квантум ПЛАТІНУМ (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,65	22,39	0,13	12,1	4,96	80,8
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,72	23,81	0,15	12,5	5,07	87,2
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	5,79	24,52	0,17	13,1	5,24	93,8
Wonder Leaf Veg&Fruit (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,61	22,09	0,12	11,9	4,91	79,6
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,68	22,96	0,12	12,5	4,98	83,5
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	5,73	23,17	0,14	12,8	5,14	89,6
SmartGrow ТОМАТ (2,0 л/га)	Початок бутонізації (ВВСН 48–50)	5,68	22,89	0,15	13,2	5,10	85,3
	Цвітіння (ВВСН 65–68)	5,77	23,59	0,17	13,6	5,27	87,9
	Початок бутонізації (ВВСН 48–50) + цвітіння (ВВСН 65–68)	5,82	24,68	0,19	14,4	5,39	95,8
НІР <sub>05</sub> (у взаємодії АВ)		0,35	0,94	0,08	0,55	0,67	2,37

Примітка. \* До загального вмісту мікроелементів включено за результатами аналізу: магній, залізо, цинк, мідь, марганець, бор, молібден.

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

При цьому слід відмітити, що співставлення варіантів одинарного та бінарного феностадійного внесення не формує ефект комбінаторики з позиції результуючого приросту показника, що вказує на вплив у формуванні якісних та кількісних змін фізіологічних процесів, які відбуваються у рослині за різних критичних фенофаз (що підтверджено в окремих публікаціях [7, 20]).



**Рис. 5.** Динамізм приростів основних біохімічних якісних характеристик плодів томата Порпора F1 залежно від варіантів застосованого у технології його вирощування листового живлення, середнє за 2024–2025 р. (у відносному відсотковому виразі).

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

З позиції реалізації смакових якостей плодів томата все ж таки перевагу слід віддати технологічному варіанту застосування у листове підживлення мікродобрива SmartGrow ТОМАТ, а у випадку поєднання урожайної продуктивності та високих рівнів якості мікродобриву Плантоніт Овочеві за їх внесення у два критичні ростові періоди для томата – фаза бутонізації та фаза повного цвітіння.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** На підставі двохрічного циклу вивчення визначено технологічну доцільність за вирощування томатів у плівкових теплицях розсадним способом з використанням гібридів індетермінантного типу росту (гібридотип Порпора F1) за одностеблового заведення з стандартними зеленими операціями формування застосування листових підживлень мікродобривами Плантоніт Овочеві та SmartGrow ТОМАТ з дозуванням 2 л/га у два фенологічних періоди росту і розвитку рослин томатів (початок бутонізації (ВВСН 48–50) та цвітіння (ВВСН 65–68)).

Це гарантує отримання урожаю на рівні вище 16 кг/м<sup>2</sup> за сумою зборів в період липня–жовтня з рівнем товарності на рівні 86–89% та гарантованої високої поживної якості вирощеного врожаю.

### Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Meenakshi J.V., Johnson N.L., Manyong V.M., De Groot H., Javelosa J., Yanggen D.R. (2010). How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex ante assessment. *World Development*. Vol. 38. P. 64–75. DOI: 10.1016/j.worlddev.2009.03.014 [in English].
2. Genc Y., Humphries J.M., Lyons G.H., Graham R.D. (2005). Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. Vol. 18. (4). P. 319–24. DOI: 10.1016/j.jtemb.2005.02.005 [in English].
3. Mrština T., Praus L., Száková J., Kaplan L., Tlustoš P. (2024). Foliar selenium biofortification of soybean: the potential for transformation of mineral selenium into organic forms. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 15. 1379877. DOI: 10.3389/fpls.2024.379877 [in English].
4. Hossain A., Skalicky M., Brestic M., Maitra S., Sarkar S., Ahmad Z. (2021). Selenium biofortification: roles, mechanisms, responses and prospects. *Molecules*. Vol. 26 (4). P. 881. DOI: 10.3390/molecules26040881 [in English].
5. Rai S., Singh P.K., Mankotia S., Swain J., Satbhai S.B. (2021). Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. *Plant Stress*. Vol. 1. 100008. DOI: 10.1016/j.stress.2021.100008 [in English].
6. Bouis H.E., Welch R.M. (2010). Biofortification – A sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop Science*. Vol. 50. P. 20–32. DOI: 10.2135/cropsci2009.09.0531 [in English].
7. Hansch R., Mendel R.R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. Vol. 12 (3). P. 259–266. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.05.006 [in English].
8. Xu X., Wang J., Wu H., Yuan Q., Wang J., Cui J., Lin A. (2022). Effects of selenium fertilizer application and tomato varieties on tomato fruit quality: A meta-analysis. *Scientia Horticulturae*. Vol. 304 (2). Article № 111242. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111242 [in English].
9. Lahoz I., Leiva-Brondo M., Martí R., Macua J.I., Campillo C., Roselló S., Cebolla-Cornejo J. (2016). Influence of high lycopene varieties and organic farming on the production and quality of processing tomato. *Scientia Horticulturae*. 204. P. 128–137. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.03.042 [in English].
10. Traoré A. (2022). Optimizing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth with different combinations of organo-mineral fertilizers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol. 5. P. 1–7. DOI: 10.3389/fsufs.2021.694628 [in English].
11. Peres L. A. C., Terra N. F., Rezende C. F. A. (2020). Productivity of industrial tomato submitted to organo-mineral fertilization in cover. *Brazilian Journal of Development*. Vol. 6. (3). P. 10586–10599. DOI: 10.34117/bjdv6n3-075 [in English].

12. Wang P., Lombi E., Zhao F.J., Kopittke P.M. (2016). Nanotechnology: A new opportunity in plant sciences. *Trends Plant Science*. Vol. 21. P. 699–712. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.04.005 [in English].
13. Agarwal A., Sharma U., Ranjan R., Nasim M. (2017). Combining ability analysis for yield, quality, earliness, and yieldattributing traits in tomato. *International Journal of Vegetable Science*. № 23 (6). P. 605–615. DOI: 10.1080/19315260.2017.1355864 [in English].
14. Carricondo-Martínez I., Berti F., Salas-Sanjuán M. d. C. (2022). Different organic fertilization systems modify tomato quality: an opportunity for circular fertilization in intensive horticulture. *Agronomy*. 12. P. 174–183. DOI: 10.3390/agronomy12010174 [in English].
15. Didur I., Vdovenko S., Tkachuk O., Palamarchuk I., Pantsyрева H., Chabaniuk Ya., Shkatula Yu., Zabarna T., Gucol G. (2024). Cultivation of tomatoes using mycorrhizal biological preparations. *Modern Phytomorphology*. Vol. 18. P. 133–138. DOI: 10.5281/zenodo.200121 [in English].
16. Schwarz D., Thompson A.J., Kläring H.P. (2014). Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 18. P. 625. DOI: 10.3389/fpls.2014.00625 [in English].
17. Christodoulou P., Kritsi E., Ladika G., Tsafou P., Tsiantas K., Tsiaka T., Zoumpoulakis P., Cavouras D., Sinanoglou V. J. (2025). Estimation of Tomato Quality During Storage by Means of Image Analysis, Instrumental Analytical Methods, and Statistical Approaches. *Applied Sciences*. Vol. 15, Issue 14. P. 7936. DOI: 10.3390/app15147936 [in English].
18. Amr A., Raie W. (2022). Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 18 (3). P. 199–220. DOI: 10.35516/jjas.v18i3.444 [in English].
19. Nisbet R., Miner G., Yale K. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. 589 p. DOI: 10.1016/C2012-0-06451-4 [in English].
20. Wang X., Xing, Y. (2017). Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: A principal component analysis. *Scientific reports*. Vol. 7, Issue 1. P. 350. DOI: 10.1038/s41598-017-00373-8 [in English].

#### **ANNOTATION**

#### **EFFICIENCY OF MICRONUTRIENT FERTILIZER APPLICATION IN THE BIOFORTIFICATION OF TOMATO FRUIT QUALITY UNDER CULTIVATION IN PLASTIC GREENHOUSES**

*Systemic biofortification in tomato cultivation under plastic greenhouses has been substantiated as significant both in terms of ensuring high nutritional quality of the harvested crop and as a corrective strategy for applying this innovative technology within general vegetable quality management processes. It has been determined that the main biofortification technologies in vegetable production are based on the use of selected micronutrients, which, due to their specific action, ensure a stable positive effect both on improving the micronutrient composition of tomato fruits and on enhancing other quality indicators important for direct consumption or further technological processing of the harvested crop.*

*It has been determined that studying the effectiveness of applying a комплекс of chelated micronutrient fertilizers, considered as potential biofortifying agents in tomato cultivation technologies, is a relevant objective in vegetable production, with the ultimate goal not only of significantly stabilizing and increasing crop yield, but also of developing adaptive cultivation technologies. The study presents the results of applying micronutrient fertilizers in the form of foliar feeding at different phenological stages during the cultivation of an indeterminate tomato hybrid of the Porpora type, and their influence on yield formation and nutritional characteristics of greenhouse-grown products. The research was conducted using the greenhouse facilities of the Educational and Scientific Institute of Agrotechnologies and Environmental Management of Vinnytsia National Agrarian University, employing standard methods accepted in protected vegetable production, as well as the capacities of a certified and accredited laboratory in the Vinnytsia region to ensure reliable assessment of the quality and biochemical structure of the harvested crop depending on the experimental treatments. The influence of micronutrient fertilizers applied at different timings on the formation and realization of the yield potential of the tomato hybrid was determined. The marketability of the harvested crop was evaluated, and conclusions were drawn regarding the technological feasibility of the studied nutritional optimization measures for tomatoes grown in commonly used plastic greenhouses in Ukraine.*

*Based on laboratory protocols for determining the chemical composition of tomato fruits – such as dry matter content, ascorbic acid, carotenoids, flavonoids, mono- and disaccharides, and total micronutrient content – the effectiveness of the biofortification approach using foliar application of specific micronutrient fertilizers was analyzed.*

*The most optimal technological options for foliar nutrition of indeterminate tomato hybrids were identified to achieve the best combination of high yield and quality of the produced crop.*

**Keywords:** *tomatoes, foliar fertilization, yield, quality, biochemical composition, nutritional value.*

**Table 3., Fig. 5., Ref. 20.**

### **Інформація про автора**

**Аралова Тетяна Сергіївна**, кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: aralova.t@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9013-3979>).

**Вергелес Павло Миколайович**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: pasha425@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4101-1465>).

**Tetiana Aralova**, PhD in Agricultural Sciences, Senior Lecturer Department of Botany, Genetics and Plant Protection, Faculty of Agronomy, Horticulture and Plant Protection, Educational and Scientific Institute of Agrotechnology and Environmental Management, Vinnytsia National Agrarian University (21008, 1 Soniachna Str., Vinnytsia, Ukraine; e-mail: aralova.t@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9013-3979>).

**Pavel Verheles**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor Department of Botany, Genetics and Plant Protection, Faculty of Agronomy, Horticulture and Plant Protection, Educational and Scientific Institute of Agrotechnology and Environmental Management, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, 1 Soniachna Str., e-mail: pasha425@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4101-1465>).

Надходження статті 19.03.26.

Прийнято 08.04.26.

Опубліковано 17.04.26.