Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 634.11:581.1:631.53
DOI https://doi.org/10.32782/3083-7464-2026-2-128-133



О. В. Полуніна
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри плодівництва і виноградарства,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: a.polunina@ukr.net
orcid.org/0000-0002-6618-2789



В. В. Гришаков
аспірант кафедри плодівництва і виноградарства,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: skotydoes@gmail.com
orcid.org/0009-0003-2554-0214

АСИМІЛЯЦІЙНА ПОВЕРХНЯ ДЕРЕВ ЯБЛУНІ ЗАЛЕЖНО ВІД ФОРМИ КРОНИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГЕКСАДІОНУ КАЛЬЦІЮ

У статті наведено результати досліджень формування листкового апарату дерев яблуні сорту Пірос на підщепі М.26 залежно від форми крони та застосування регулятора росту прогексадіону кальцію в умовах зрошуваного насадження Правобережного Лісостепу України за 2025–2026 рр. У ході дослідження порівнювали листкові показники дерев з веретеноподібною формою крони та двобічним гюйо за внесення прогексадіону кальцію нормами 0 (абсолютний контроль), 50, 100, 150, 200, 250 (виробничий контроль) і 300 г/га. Встановлено, що форма крони та норма внесення прогексадіону кальцію істотно впливали на площу листкової пластинки, кількість листків, загальну листкову поверхню, товщину листка, вміст хлорофілу та індекс зеленості. За збільшення норми внесення прогексадіону кальцію площа листкової пластинки зменшувалася з 42,0 до 38,1 см² у дерев із веретеноподібною кроною та з 40,8 до 36,5 см² за форми крони двобічне гюйо, а кількість листків і загальна листкова поверхня знижувалися відповідно до 1752 і 1651 листка на дерево та 8,4 і 7,6 тис. м²/га. Водночас застосування прогексадіону кальцію сприяло потовщенню листкової пластинки. У дерев з кроною веретено найтовщі листки (238 мкм) зафіксовано за обприскування прогексадіоном кальцію нормою 300 г/га, а з кроною гюйо (251 мкм) – нормою 250 г/га. Вміст хлорофілу «а» + «б» характеризувався нелінійною залежністю від норми прогексадіону кальцію та досягав максимального значення за внесення 200 г/га. Індекс зеленості зростав до норми 250 г/га, а за внесення 300 г/га – знижувався. Найвищі значення вмісту пігменту зафіксовано у дерев з формою крони гюйо. Отримані результати свідчать про відмінності реакції дерев із веретеноподібною та багатопровідниковою кроною гюйо на різні норми внесення прогексадіону кальцію, що обґрунтовує необхідність урахування форми крони дерев під час застосування регулятора росту рослин.
Ключові слова: *багатопровідникові дерева, гюйо, вміст хлорофілу, індекс зеленості, товщина листка.*

O. V. Polunina
PhD in Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Fruit Growing and Viticulture,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: a.polunina@ukr.net
orcid.org/0000-0002-6618-2789
V. V. Hryshakov
PhD student at the Department of Fruit Growing and Viticulture,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: skotydoes@gmail.com
orcid.org/0009-0003-2554-0214

ASSIMILATORY LEAF SURFACE OF APPLE TREES DEPENDING ON CROWN FORM AND PROHEXADIONE-CALCIUM APPLICATION

The article presents the results of a study on leaf characteristics development in 'Piros' apple trees grafted on M.26 rootstock depending on the training system and application of the plant growth regulator prohexadione-calcium under irrigated orchard conditions in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine in 2025–2026. The study compared leaf characteristics of spindle-trained trees and trees trained in the double Guyot system following the application of prohexadione-calcium at rates of 0 (absolute control), 50, 100, 150, 200, 250 (standard treatment), and 300 g ha⁻¹. The training system and prohexadione-calcium rate

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

significantly affected leaf blade area, leaf number, total leaf area, leaf thickness, chlorophyll content, and the Dark Green Color Index. With increasing prohexadione-calcium rate, leaf blade area decreased from 42.0 to 38.1 cm² in spindle-trained trees and from 40.8 to 36.5 cm² in double Guyot-trained trees, while the number of leaves and total leaf area decreased to 1,752 and 1,651 leaves per tree and 8.4 and 7.6 thousand m² ha⁻¹, respectively. At the same time, prohexadione-calcium application increased leaf thickness. The thickest leaves were recorded in spindle-trained trees (238 μm) following prohexadione-calcium application at a rate of 300 g ha⁻¹, whereas in double Guyot-trained trees, the maximum leaf thickness (251 μm) was recorded at 250 g ha⁻¹. Chlorophyll content showed a nonlinear response to the prohexadione-calcium rate, reaching its maximum at 200 g ha⁻¹. The Dark Green Color Index increased up to the rate of 250 g ha⁻¹ and decreased at 300 g ha⁻¹. The highest chlorophyll content was recorded in double Guyot-trained trees. The results demonstrate differences in the response of spindle-trained and double Guyot-trained trees to different prohexadione-calcium rates, indicating the need to consider the tree training system when determining the application rate of the plant growth regulator.
Key words: *Dark Green Color Index (DGCI), guyot, multi-leader trees, leaf thickness, total leaf area.*

Постановка проблеми. Сучасне промислове плодівництво спрямоване на підвищення продуктивності та якості продукції за раціонального використання ресурсів. Одним із важливих екологічних чинників за вирощування насаджень яблуні є світловий режим крони. Освітленість листкового апарату визначає інтенсивність фотосинтезу, формування генеративних органів, ріст пагонів, розвиток плодів і накопичення сухих розчинних речовин. Конструкція саду безпосередньо впливає на розподіл світла в межах крони дерева.

Веретено та його модифікації, забезпечують достатньо високий рівень перехоплення світла, проте спостерігається затінення нижньої частини крони. Це призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу, погіршення формування плодових утворень та зміщення зони плодоношення на периферію дерева. Альтернативою таким конструкціям виступають площинні форми крони, зокрема багатопровідникова гюйо, за якої формують вузьку плодову стіну, що забезпечує більш рівномірний розподіл світла.

Одним із ефективних засобів регулювання інтенсивності вегетативного росту є застосування прогексадіону кальцію, що пригнічує біосинтез гіберелінів та обмежує подовження пагонів. Дослідження ефективності регулятора росту переважно проводилися для традиційних веретеноподібних насаджень. У дерев з кроною гюйо горизонтальне положення вторинних провідників знижує апікальне домінування та стримує ріст пагонів. Враховуючи особливості багатопровідникової конструкції гюйо, постає необхідність встановлення оптимальних норм внесення прогексадіону кальцію, які забезпечуватимуть достатнє регулювання вегетативного росту без надмірного обмеження формування асиміляційної поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу прогексадіону кальцію на продуктивність яблуні мають тривалу історію. Ще у 2003 році італійські вчені встановили, що прогексадіон кальцію позитивно впливає на вміст хлорофілу та зростання чистої продуктивності фотосинтезу [8].

Застосування препарату з прогексадіоном кальцію в насадженнях сортів Гала Роял та Голден Делішес Смузі в умовах Іспанії зумовило зменшення площі листків, проте збільшило їх питому масу. Також зафіксовано зростання вмісту хлорофілу та інтенсивності фотосинтезу, що компенсувало зменшення загальної асиміляційної поверхні [5]. Сучасні дослідження в насадженні сорту Космік Крісп (WA 38) на підщепі M.9 підтвердили підвищення вмісту хлорофілів «a» і «b», хоча істотного впливу регулятора росту на інтенсивність фотосинтезу не встановлено [6].

Дослідження фізіологічних процесів у дерев Фуджі Фубракс на підщепі M.9 T337 в умовах Китаю показали, що застосування прогексадіону кальцію змінювало вміст фітогормонів у листках, зокрема гіберелінів, ауксинів, цитокінінів та абсцизової кислоти, а також активність генів, пов'язаних із метаболізмом гіберелінів [10].

Стефано Музакі зі співавторами (США) вказує, що обробка прогексадіоном кальцію (250 мг/л) дерев з різними формами крони сорту Космік Крісп призводила до зниження довжини міжвузлів та загальної довжини пагонів, а також до підвищення середньої маси плоду [6]. Турецькими вченими встановлено, що застосування концентрації 125 мг/л сприяло зменшенню довжини пагонів на 40–43% та довжини міжвузлів приблизно на 30% без негативного впливу на урожайність та якість плодів сорту Голден Делішес на підщепі M.9 [2]. У молодому насадженні яблуні сорту Гала Сіммонс на підщепі M.9 T337 у Північній Каролині (США) збільшення норми прогексадіону кальцію з 42,5 до 125 мг/л зумовило поступове зменшення інтенсивності росту пагонів і висоти дерев [9]. Дробне застосування прогексадіону кальцію у 16-річному насадженні сортів Гала Максі та Фуджі Супрема на підщепі M.9 у південній Бразилії також зменшувало ріст пагонів, а поєднання з α-нафтилоцтовою кислотою посилювало обмеження вегетативного росту та сприяло покращенню забарвлення плодів, товарної якості, урожайності та формування генеративних утворень наступного року [1].

Серед багатопровідникових конструкцій особливу увагу привертає форма крони гюйо, що створює компактну плодову стіну з кращим рівнем освітлення та високою продуктивністю. Особливості її формування шляхом пригинання центрального провідника можуть зумовлювати іншу реакцію на застосування прогексадіону кальцію порівняно з веретеноподібною кроною, що вимагає спеціальних досліджень.

Метою роботи було встановлення впливу форми крони та застосування прогексадіону кальцію на листковий апарат дерев яблуні сорту Пірос на підщепі M.26.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили протягом 2025–2026 років

у зрошуваному насадженні яблуні сорту Пірос на підщепі М.26 господарства «Skadi Botanika» Уманського району Черкаської області, що є філіалом кафедри плодівництва і виноградарства Уманського національного університету. Фактор А «форма крони» поєднував два варіанти: веретено та двобічне гюйо. Фактор Б «внесення прогексадіону кальцію» передбачав сім градацій з нормами: 0 (абсолютний контроль), 50, 100, 150, 200, 250 (виробничий контроль) і 300 г/га. Вносили препарат Регаліс Плюс з вмістом діючої речовини 10% по завершенню цвітіння, коли довжина однорічних пагонів досягала 2–5 см (BBCH 69–71). Повторність досліду триразова, варіанти розміщені методом рендомізованих повторень із 5 рослинами на кожній ділянці площею 8 м². Схема садіння 4 х 2 м. Догляд за насадженнями, обліки та спостереження виконували згідно загальноприйнятих технологій та методик [4]. Кількість листків підраховували індивідуально на кожному дереві. Площу листкової пластинки та індекс зеленості (DGCI) визначали мобільним додатком «Petiole Pro» [7], для чого листки відбирали в середині липня із середньої частини однорічних пагонів партіями по 10 шт. з кожної облікової ділянки. Площу загальної листкової поверхні розраховували множенням кількості листків на середню їх площу та щільність розміщення дерев на гектарі. Товщину листкової пластинки визначали приладом «Тургометр – І». Вміст хлорофілу «а» + «б» в листках визначали за методикою описаною З. М. Грицаєнко та співаторами [3]. Витяжку пігменту одержували екстракцією 200 мг подрібнених листків у 20 мл етилового спирту (96%). Оптичну щільність витяжки вимірювали за допомогою спектрофотометра «Ulab 102» на хвилях довжиною 665 і 649 нм. Концентрацію хлорофілу «а» + «б» (мг/л) розраховували за формулою Д. Веттштейна:

$$C_{a+b} = 6{,}10D_{665} + 20{,}04D_{649},$$

де:

D – експериментально одержані величини оптичної щільності за відповідної довжини хвилі.

Статистичну обробку одержаних результатів виконували за допомогою регресійного та дисперсійного аналізів з врахуванням повторних вимірювань у багаторічних насадженнях.

Основні результати дослідження. В ході проведення дослідження встановлено, що форма крони та норма внесення прогексадіону кальцію істотно впливали на листковий апарат дерев яблуні сорту Пірос на підщепі М.26.

Пересічно за 2025–2026 роки площа листка дослідних дерев коливалась в межах 37–42 см² (табл. 1). Зафіксовано, що формування крони двобічне гюйо спричинило істотне зменшення площі листка на 1,6 см² у порівнянні з веретеном. Внесення прогексадіону кальцію також зумовило зменшення листкової пластинки у варіантах з обома формами крони. Ефект посилювався зі збільшенням норми внесення регулятора росту. У варіантах з формою крони двобічне гюйо вплив прогексадіону кальцію був більш вираженим. Зменшення площі листків становило 3–11%. У дерев з кроною веретено внесення регулятора росту знизило значення показника на 3–9%. Одержані результати узгоджуються з попередніми дослідженнями, що вказують на зменшення площі листка під дією прогексадіону кальцію внаслідок інгібування розтягування клітин [5].

Кількість листків на дереві також спадала з підвищенням норми прогексадіону кальцію, проте істотний вплив відмічено лише за внесення 300 г/га для дерев з формою крони веретено та 250 і 300 г/га – з формою крони двобічне гюйо. Формування багатопровідникової крони зумовило істотне зниження рівня облиственості на 7%, порівняно з веретеном.

Загальна листкова поверхня зменшувалась під впливом прогексадіону кальцію з 10,1 до 8,4 тис. м²/га на веретені та з 9,3 до 7,6 тис. м²/га на гюйо ($НІР_{05}$ = *0,9 тис. м²/га*), що вказує на пропорційне скорочення асиміляційної поверхні насадження загалом.

Водночас товщина листка, навпаки, зростала з підвищенням норми прогексадіону кальцію. Внесення 50 та 100 г/га сприяло хоч і неістотному, проте потовщеню листкової пластинки для дерев з обома формами крони. Обробка нормою 150, 200, 250 та 300 г/га забезпечила істотне збільшення значення показника на 13, 18, 22 і 23% для веретена та на 15, 19, 20 і 14% для гюйо, відповідно. Важливо відзначити, що дерева за формування двобічне гюйо мали товщі листки, порівняно з веретеном за всіх норм внесення препарату, що може бути пов'язано з кращим розподілом світла у багатопровідниковій площинній кроні.

Встановлено, що погодні умови 2025 року сприяли підвищенню вмісту хлорофілу «а» + «б» на 3% у порівнянні з 2026 (рис. 1). Формування крони гюйо забезпечило істотне зростання значення показника на 8%, порівняно з веретеном.

Вміст хлорофілу залежно від норми внесення прогексадіону кальцію характеризувався нелінійною залежністю ($y=-0{,}0008048x^2+0{,}3264x+217{,}0$). Квадратична регресійна модель описувала 98,5% варіації усереднених за роками і формами крони значень показника ($R^2 = 0{,}985$; $F(2, 4) = 129{,}17$; $P < 0{,}001$). Коефіцієнт при квадратичному члені був статистично значущим ($\beta = -0{,}0008048$; $t(4) = -10{,}19$; $P < 0{,}001$; 95% ДІ: $-0{,}001024 \ldots -0{,}000586$), що підтверджує криволінійний характер залежності в межах досліджуваних норм внесення. За підвищення норми від 0 до 200 г/га вміст пігменту зростав від 218 до 252 мг/100 г, а за подальшого збільшення норми до 300 г/га – знижувався до 241 мг/100 г.

Індекс зеленості листків змінювався залежно від форми крони та норми прогексадіону кальцію (рис. 2). У роки проведення досліджень за обох форм крони значення показника поступово зростало зі збільшенням норми прогексадіону кальцію від 0 до 250 г/га, а за норми 300 г/га – спостерігалося зниження. Максимальний індекс зеленості зафіксовано за форми крони двобічне

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

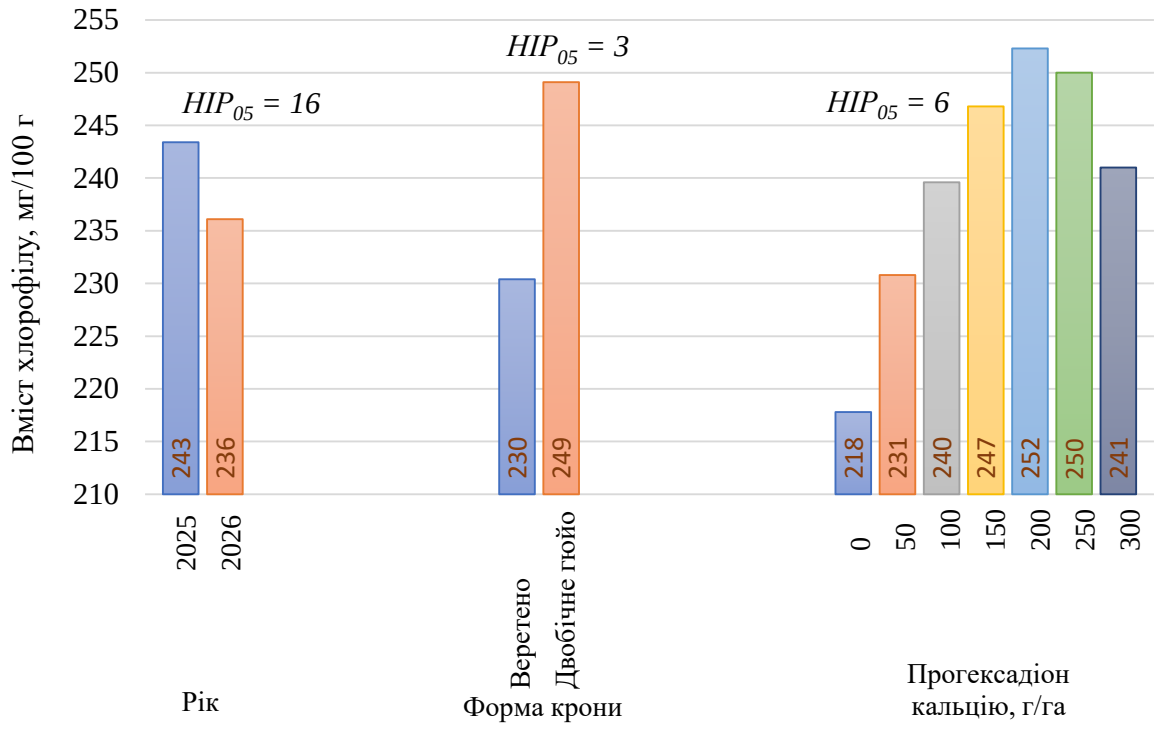


Рис. 1. Вміст хлорофілу «а» + «б» в листках дерев яблуні сорту Пірос на підщепі М.26 залежно від форми крони та застосування прогексадіону кальцію (2025–2026 рр.), мг/100 г сирої маси

Таблиця 1

Листкові показники дерев яблуні сорту Пірос на підщепі М.26 залежно від форми крони та застосування прогексадіону кальцію (2025–2026 рр.)

Форма крони	Внесення прогексадіону кальцію, г/га	Площа листкової пластинки, см²	Кількість листків, шт/дерево	Загальна листкова поверхня, тис. м²/га	Товщина листка, мкм
Веретено	0 (дистильована вода) – абсолютний контроль	42,0	1912	10,1	215
	50	41,6	1941	10,1	220
	100	40,8	1828	9,3	226
	150	40,5	1823	9,2	228
	200	38,8	1834	8,9	233
	250 – виробничий контроль	38,6	1804	8,7	237
	300	38,1	1752	8,4	238
Двобічне гюйо	0 (дистильована вода) – абсолютний контроль	40,8	1819	9,3	231
	50	39,6	1727	8,6	238
	100	38,8	1735	8,4	241
	150	38,5	1724	8,3	246
	200	38,0	1707	8,1	250
	250 – виробничий контроль	37,2	1664	7,8	251
	300	36,5	1651	7,6	245
HIP_{05}		*0,7*	*140*	*0,9*	13

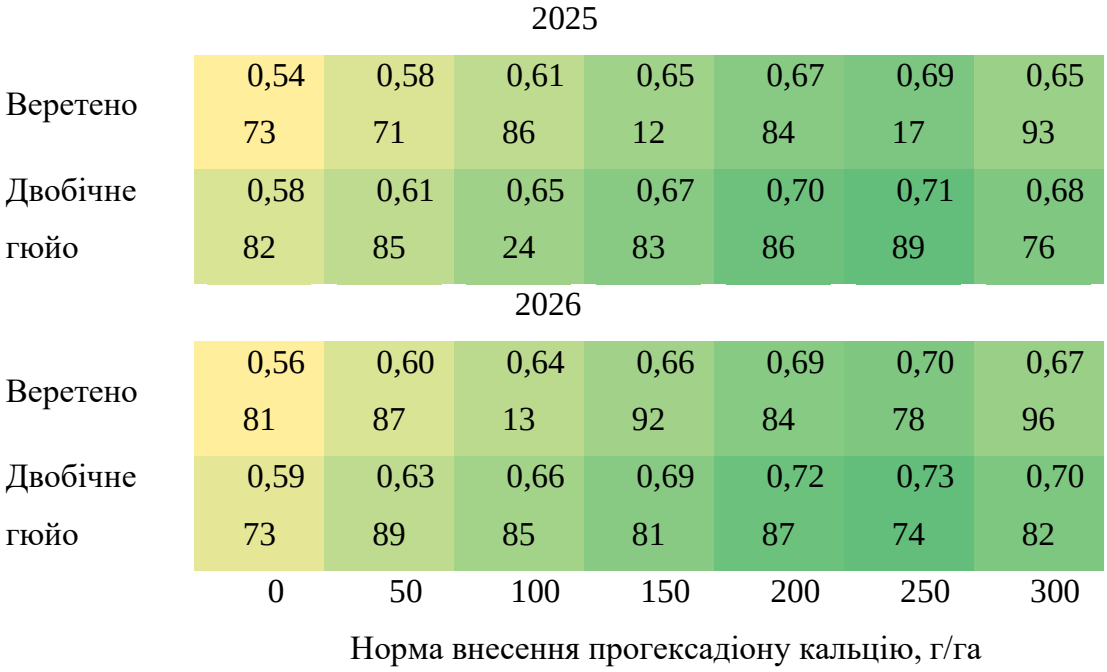


Рис. 2. Індекс зеленості листків яблуні сорту Пірос на підщепі М.26 залежно від форми крони та норми внесення прогексадіону кальцію (для 2025 р. HIP_{05} = 0,0128; для 2026 р. HIP_{05} = 0,0134)

гюйо та норми прогексадіону кальцію 250 г/га, що на 22 та 24% перевищував значення абсолютного контролю. За однакових норм прогексадіону кальцію індекс зеленості листків на деревах із кроною двобічне гюйо був вищим, ніж за веретеноподібної крони. Різниця між формами крони становила 0,0271–0,0409 у 2025 та 0,0272–0,0303 – у 2026 році, що перевищувало відповідні значення HIP_{05}.

Висновки.

1. Встановлено, що збільшення норми внесення прогексадіону кальцію від 0 до 300 г/га призводить до зменшення площі листкової пластинки (на 9,3% у веретена та 10,5% у гюйо), кількості листків (на 9,7% та 9,2%, відповідно) та загальної листкової поверхні на гектар (з 10,1 до 8,4 тис. м²/га у веретена та з 9,3 до 7,6 тис. м²/га у гюйо).

2. Товщина листка, навпаки, зростає з підвищенням норми внесення прогексадіону кальцію. У дерева з формою крони гюйо спостерігалось потовщення листків, порівняно з веретеном, за всіх норм внесення регулятора росту, що зумовлено кращим рівнем освітлення.

3. Вміст хлорофілу та індекс зеленості досягли максимальних значень за норми внесення прогексадіону кальцію 200–250 г/га. За збільшення норми до 300 г/га спостерігалося незначне зниження порівняно з максимумом. Найвищі показники зафіксовано у варіанті з кроною гюйо, що свідчить про кращі умови для формування фотосинтетичного апарату в площинних багатопровідникових насадженнях.

4. Зафіксовано різну реакцію листкового апарату дерев яблуні сорту Пірос на підщепі М.26 із кронами веретено та двобічне гюйо на норми внесення прогексадіону кальцію. Це вказує на необхідність уточнення норми регулятора росту рослин для дерев з площиною багатопровідниковою формою крони.

Подяки. Автори висловлюють подяку Заріцькому М. І. за організаційну підтримку та сприяння у проведенні польових досліджень.

Фінансування дослідження. Автори заявляють, що дослідження виконано без зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Відсутній.

Авторський внесок.

Полуніна О. В.: визначення концепції дослідження; підбір методів дослідження; розробка програмного забезпечення; валідація відтворюваності результатів; забезпечення ресурсами та обладнанням; підготовка рукопису – перегляд і редагування; наукове керівництво; адміністрування процесу.

Гришаков В. С.: визначення концепції дослідження; підбір методів дослідження; валідація відтворюваності результатів; аналіз даних; проведення експерименту; забезпечення ресурсами та обладнанням; управління даними; підготовка рукопису – первинний текст; підготовка рукопису – перегляд і редагування; графічне представлення результатів; залучення фінансування.

Декларація використання генеративного штучного інтелекту. Під час підготовки рукопису генеративні інструменти штучного інтелекту / ШІ-асистовані технології не використовувалися.

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

References

1. Andrade Júnior, R. B. d., Zanrosso, A., Baldissera, S., Felix Dias, A., Ribeiro, J. d. C., Tamiris Canossa, A., Gris, T., Holtrup Wolff, R., Petry Rufato, D., Dalazen Machado, B., & Rufato, L. (2026). Optimizing vegetative growth and yield in apple trees through split applications of prohexadione–calcium, ethephon, and NAA. *Agriculture, 16*(13), 1378. https://doi.org/10.3390/agriculture16131378

2. Atay, A. N., & Koyuncu, F. (2024). Impact of repeated yearly applications of prohexadione-calcium on vegetative and reproductive growth of 'Golden Delicious'/M.9 apple trees. *Elsevier*. https://doi.org/10.1515/johr-2017-0005

3. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv* [Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils]. Nichlava. 316 p. [in Ukrainian].

4. Kondratenko, P.V., Bublyk, M.O. (1996). *Metodyka provedennia polovykh doslidzhen z plodovymy kulturamy*. [Methodology of conducting field experiments with fruit crops]. Kyiv, 95 [in Ukrainian].

5. Medjdoub, R., Zavalon, A., Val, J., & Blanco, A. (2007). Physiological effects of prohexadione-calcium in apple trees: Effects on parameters related to photoproductivity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(1), 126–132. https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512209

6. Musacchi, S., Sheick, R., Mia, M. J., & Serra, S. (2023). Studies on physiological and productive effects of multi-leader training systems and Prohexadione-Ca applications on apple cultivar 'WA 38'. *Scientia Horticulturae*, 312, 111850. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111850

7. Polunina, O. V., Maiboroda, V. P., & Seleznov, A. Y. (2018). Evaluation methods of estimation of young apple trees leaf area. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, (2), 80-82. https://doi.org/10.31395/2310-0478-2018-21-80-82

8. Sabatini, E., Noferini, M., Fiori, G., Corelli Grappadelli, L., & Costa, G. (2003). Prohexadione-Ca positively affects gas exchanges and chlorophyll content of apple and pear trees. *European Journal of Horticultural Science*, 68(3), 123–128. https://doi.org/10.1079/ejhs.2003/10287

9. Vogel, A. R., Villani, S., & Kon, T. M. (2025). Prohexadione-calcium and acibenzolar-S-methyl effects and interactions I: Vegetative growth management in a young North Carolina apple orchard. *HortScience, 60*(10), 1714–1724. https://doi.org/10.21273/HORTSCI18807-25

10. Wang, L., Song, Y., Chen, F., Kang, D., & Zhang, L. (2021). *Effect of prohexadione-calcium on the shoot growth, fruits, endogenous hormones and expression of GA-related genes in 'Fuji' apple (Malus domestica Borkh.)* [Preprint]. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-479683/v1

Дата першого надходження статті до видання: 13.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.11.2026