

<https://doi.org/10.15407/frg2025.06.510>

УДК (581.1:582.926.2):661.162.66

РЕГУЛЯЦІЯ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ПЕРЦЮ ЗА ОБРОБКИ АНТИГІБЕРЕЛІНОВИМИ ПРЕПАРАТАМИ, ЩО ВІДРІЗНЯЮТЬСЯ ЗА МЕХАНІЗМОМ ДІЇ

В.В. РОГАЧ^{1,2}, В.Г. КУР'ЯТА², Д.А. КІРІЗІЙ¹, О.О. СТАСИК¹, Т.І. РОГАЧ²

¹Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

²Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
21100 Вінниця, вул. Острозького, 32

e-mail: rogachv@ukr.net

Досліджували вплив антигіберелінових препаратів з різним механізмом дії на формування листкового апарату, особливості мезоструктури та фотосинтетичну продуктивність листків у зв'язку з урожайністю перцю солодкого. У польовому досліді рослини обробляли у фазу бутонізації водними розчинами хлорекватхлориду, тебуконазолу та есфону. Фітометричні показники, мезоструктурну організацію листків, вміст хлорофілів, чисту продуктивність фотосинтезу та ценотичні показники насаджень визначали у фазу плодоношення. Встановлено, що препарати гальмували лінійний ріст рослин. Найістотніше зменшення висоти спостерігалось після застосування есфону. За обробки есфоном зменшувалася кількість листків на рослині, а за дії хлорекватхлориду і тебуконазолу даний показник не змінювався. Хлорекватхлорид і тебуконазол, на відміну від етиленпродуценту есфону, збільшували масу сирої та сухої речовини листків і цілої рослини, площу листків та листковий індекс насаджень. Зростання площі листкової поверхні рослин перцю відбувалося внаслідок збільшення площі окремих листків, оскільки загальна їхня кількість за дії препаратів вірогідно не змінювалася. Усі антигіберелінові препарати підвищували питому масу листків, що було зумовлено потовщенням листкових пластинок внаслідок розростання клітин хлоренхіми, а саме: збільшенням об'єму клітин стовпчастої паренхіми та розмірів клітин губчастої паренхіми. Ретарданти вірогідно підвищували вміст хлорофілу в листках та хлорофільний індекс, сприяли зростанню чистої продуктивності фотосинтезу, що стало важливою передумовою підвищення урожайності рослин перцю солодкого. Найбільше підвищення врожайності встановлено за дії тебуконазолу, при цьому маса одного плоду вірогідно не змінювалася. Застосування есфону вірогідно не змінювало врожайність. Отже, формування потужнішого листкового апарату за дії ретардантів посилювало його донорну функцію, що стало передумовою підвищення біологічної продуктивності культури.

Ключові слова: *Capsicum annuum* L., донорно-акцепторна система, ретардант, етиленпродуцент, листковий апарат, мезоструктура листка, ценотичні показники, урожайність.

Цитування: Рогач В.В., Кур'ята В.Г., Кірізій Д.А., Стасик О.О., Рогач Т.І. Регуляція росту, розвитку та продуктивності перцю за обробки антигібереліновими препаратами, що відрізняються за механізмом дії. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 6. С. 510–520. <https://doi.org/10.15407/frg2025.06.510>

Вивчення закономірностей функціонування донорно-акцепторної системи рослин та розробка засобів екзогенної регуляції переміщення потоків асимілятів і спрямування їх до господарсько-важливих тканин і органів є актуальним завданням сучасної фізіології рослин [1]. З цією метою досить ефективно застосовують антигіберелінові препарати — ретарданти [2—4]. Їхнє використання уможливує зміну відношення між донором і акцептором у рослинному організмі внаслідок регуляції процесів росту, фотосинтезу та перерозподілу потоків пластичних речовин із вегетативних органів на потреби карпогенезу, що в підсумку оптимізує продукційний процес сільськогосподарських культур [5—9].

У практиці рослинництва широко застосовуються інгібітори гібереліну різної хімічної природи, які різняться механізмом дії. Одні з них блокують механізми приєднання гормону до білка-рецептора, що зменшує дію вже синтезованого гібереліну. Так діють етиленпродуценти — декстрел, есфон, етрел [3]. Інша група антигіберелінів перериває синтез гормону в одній або декількох його ланках. Зокрема, четвертинні солі амонію, сульфонію та фосфонію (ССС-750, 3-DEC, 17-DMC, фосфон D, мепікватхлорид) інгібують синтез гіберелінів на стадії перетворення геранілгеранілпірофосфату в копалілпірофосфат і надалі в ент-каурен [2]. Окрім цього, триазол- та пентанолпохідні препарати (паклобутразол, уніконазол, тебуконазол, флурпірімідол) також пригнічують перетворення ент-каурену в ент-кауренол, ент-кауренолу через ент-кауреналь у кауренову кислоту, що забезпечує надзвичайно високу і стабільну ретардантну активність стосовно росту стебла і проростання насіння багатьох рослин [2, 10]. Такі ретарданти, як прогексадіон Са, тринексапакетил та дамінозид інгібують біосинтез гібереліну на пізніших стадіях [2].

Фотосинтетична продуктивність рослин упродовж вегетації вважається основою функціонування донорно-акцепторної системи. Відомо, що у рослин регуляція донорно-акцепторних відносин визначається системою прямих і зворотних зв'язків [11], де процеси фотосинтезу слугують основним донором, а процеси росту, активного метаболізму та відкладання речовин у запас — акцепторами асимілятів [1].

Потужним атрагувальним центром в онтогенезі рослин виступає карпогенез — процес формування і росту плодів. При цьому використовуються не лише новоутворені завдяки фотосинтезу вуглеводи, а й тимчасово депоновані у вегетативних органах [12]. Аналіз літературних даних свідчить, що в разі застосування ретардантів у листках дослідних рослин в процесі вегетації утворюється більша кількість вуглеводів, які створюють потужний резерв пластичних сполук, який використовується для формування міцного стебла, закладання більшої кількості плодів і покращення якісних характеристик урожаю [5, 13—15]. Проте, анатомо-морфологічна складова донорно-акцепторної системи рослин за дії рістрегулювальних препаратів залишається недостатньо вивченою.

Підвищення продуктивності сільськогосподарських рослин під впливом інгібіторів гібереліну спостерігали на овочевих [16—18],

плодових [19, 20], олійних [21] та зернобобових [22] культурах. Водночас у літературі зустрічаються лише поодинокі дані стосовно впливу різних груп антигіберелінових препаратів на морфогенез і продуктивність рослин родини пасльонових [8, 9, 23]. Це стримує розробку нових засобів екзогенної регуляції потоків асимілятів з метою оптимізації продукційного процесу важливих сільськогосподарських культур.

Метою нашої роботи було вивчення впливу різних груп ретардантів на формування листкового апарату, особливості мезоструктури та фотосинтетичну продуктивність листків у зв'язку з врожайністю перцю солодкого.

Методика

Польові дрібноділянкові досліди закладали на землях СФГ «Бержан П.Г.» с. Горбанівка Вінницького р-ну Вінницької обл. упродовж трьох років. Розсаду перцю солодкого сорту Антей висаджували стрічковим способом за формулою 80+50+50×25. Вносили мінеральні добрива $N_{50}P_{40}K_{30}$. Площа ділянок 33 м², повторність п'ятиразова. Рослини у фазу бутонізації обробляли вранці за допомогою ранцевого обприскувача ОП-2 до повного змочування листків 0,15 %-м розчином есфону (2-ХЕФК), 0,025 %-м розчином тебуконазолу (EW-250) та 0,25 %-м розчином хлормекватхлориду (ССС-750). Контрольні рослини обприскували водопровідною водою.

Фітометричні показники (висота рослин, маса сухої та сирої речовини рослин та листків, площа листків) визначали на 30-ти рослинах у фазу плодоношення. Матеріали для вивчення мезоструктурної організації листка відбирали на початку фази формування плодів. Для аналізу відбирали листки середнього ярусу. Мезоструктуру листків вивчали на фіксованому матеріалі, для консервації якого застосовували суміш однакових частин етилового спирту, гліцерину, води з додаванням 1 % формаліну.

Розміри клітин хлоренхіми та її товщину визначали за допомогою мікроскопа «Микмед-1» та окулярного мікрометра «МОВ-1-15» у 35-кратній повторності. У фазу плодоношення визначали вміст суми хлорофілів у свіжому матеріалі спектрофотометричним методом на спектрофотометрі СФ-16 [24]. Впродовж вегетації визначали наступні показники: чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) як приріст маси сухої речовини за одиницю часу на одиницю площі листків; листковий індекс (ЛІ) як відношення сумарної площі листків до одиниці площі насаджень; хлорофільний індекс (ХІ) як добуток площі листків рослини на вміст сумарного хлорофілу в них.

У таблицях наведено середні дані за три роки досліджень та їх стандартні похибки. Результати обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Statistica 6.0. (StatSoft Inc., USA). Застосовували однофакторний дисперсійний аналіз (відмінності між середніми значеннями оцінювали за критерієм ANOVA з поправкою Бонферроні, їх вважали вірогідними за $p < 0,05$) [25].

Результати та обговорення

Виявлено, що ретарданти тебуконазол і хлормекватхлорид та етилен-продуцент есфон зумовлювали зміни анатомо-морфологічних показників рослин перцю солодкого сорту Антей. Всі препарати гальмували лінійний ріст дослідних рослин. Найсильніше зменшення висоти спостерігалось після застосування есфону (на 24 %) (табл. 1). За дії тебуконазолу лінійні розміри рослин зменшувалися на 18 %, а після обробки хлормекватхлоридом — на 13 %.

Зміни темпів ростових процесів під впливом регуляторів росту супроводжувалися змінами будови, розмірів і функціонування вегетативних та генеративних органів. Встановлено, що за обробки есфоном кількість листків на рослині зменшувалася на 14 %, а за дії тебуконазолу та хлормекватхлориду відмінності з контролем були неістотними (див. табл. 1). Водночас обидва ретарданти збільшували масу сирі та сухої речовини листків.

Площа листків є одним з основних морфологічних показників, який істотно впливає на продуктивність сільськогосподарських культур. Виявлено, що за обробки хлормекватхлоридом і тебуконазолом площа листків підвищувалася на понад 50 %, а за впливу етиленпродуценту зменшувалася на 15 % (див. табл. 1). Збільшення площі листкової поверхні у рослин перцю відбувалося внаслідок підвищення площі окремих листків, оскільки загальна їхня кількість за дії ретардантів практично не змінювалася.

Кількісною характеристикою насиченості листкового апарату структурними елементами, які беруть участь у фотосинтетичних процесах, є питома маса листка. Цей показник зростав у рослин дослідних варіантів за дії всіх препаратів (див. табл. 1). Також ретарданти

ТАБЛИЦЯ 1. Морфологічні показники перцю солодкого сорту Антей за дії антигіберелінових препаратів (фаза плодоношення, середні дані за 3 роки, $x \pm SE$, $n = 30$)

Показник	Контроль	2-ХЕФК	EW-250	ССС-750
Висота рослини, см	42,4±1,2	32,3±1,0***	34,6±1,0***	37,0±1,1**
Кількість листків, шт.	96,5±3,4	83,2±3,3**	103±4,1	90,9±3,7
Маса сирі речовини листків, г	36,3±1,0	36,4±1,0	48,4±1,3***	44,1±1,3***
Маса сухої речовини листків, г	12,6±0,6	10,7±0,5*	23,1±1,0***	17,5±0,7***
Площа листків, см ²	1434±70	1214±51*	2172±98***	2075±89***
Питома маса листків, мг/см ²	6,7±0,2	9,4±0,4***	10,7±0,4***	8,2±0,3**
Вміст суми хлорофілів (<i>a+b</i>), % на масу сирі речовини	0,58±0,02	0,61±0,02	0,68±0,03*	0,67±0,03*
Маса сухої речовини рослини, г	51,3±2,3	44,2±2,1*	77,1±3,5***	55,1±2,3
Чиста продуктивність фотосинтезу, г/(м ² ·доба)	11,0±0,5	19,8±1,0***	19,9±1,0***	12,9±0,6*
Листковий індекс, м ² /м ²	0,98±0,05	0,81±0,04*	1,5±0,1***	1,4±0,1**
Хлорофільний індекс, г/м ²	1,6±0,1	1,9±0,1**	2,0±0,1**	1,7±0,1

Примітка. Тут і в табл. 2, 3: різниця порівняно з контролем вірогідна * — за $p < 0,05$; ** — за $p < 0,01$; *** — за $p < 0,001$.

вірогідно збільшували вміст суми хлорофілів у листках. Максимальне його зростання зафіксовано за обробки тебуконазолом (на 17 %). За дії есфону даний показник мав лише тенденцію до підвищення.

Важливими ценотичними показниками потужності фотосинтетичного апарату насаджень є листковий та хлорофільний індекси. Встановлено, що ретарданти тебуконазол та хлормекватхлорид збільшували листковий індекс в середньому на 47 та 41 %, відповідно (див. табл. 1). За дії есфону даний показник зменшувався на 17 %. Усі препарати збільшували хлорофільний індекс. Максимально за обробки триазолпохідним препаратом (28 %) та мінімально — після застосування хлормекватхлориду (9 %).

Визначальним з погляду ефективності продукційного процесу рослин є накопичення маси сухої речовини. Тебуконазол збільшував цей показник на 50 %, а есфон зменшував на 14 %. Хлормекватхлорид практично не змінював масу сухої речовини цілої рослини (див. табл. 1). Також встановлено, що під впливом есфону та тебуконазолу показник чистої продуктивності фотосинтезу в період плодоношення вірогідно збільшувався, а після обробки хлормекватхлоридом мав лише тенденцію до зростання.

Питома маса листка була тісно пов'язана із його товщиною, яка зростала під впливом всіх ретардантів (табл. 2). Потовщення листків визначалося формуванням потужного шару хлоренхіми та верхнього і нижнього шарів епідермісу. Розростання основної фотосинтетичної тканини листків — хлоренхіми відбувалося внаслідок формування більших клітин стовпчастої та губчастої паренхіми листків. Антигіберелінові препарати також впливали на продиховий апарат листків перцю. Тебуконазол та хлормекватхлорид вірогідно зменшували кіль-

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив антигіберелінових препаратів на мезоструктурні показники листків перцю солодкого сорту Антей (фаза плодоношення, $x \pm SE$, $n = 35$)

Показник	Контроль	2-ХЕФК	EW-250	ССС-750
Товщина листка, мкм	264±6	374±11***	337±9***	334±10***
Товщина хлоренхіми, мкм	217±5	318±10***	283±7***	286±8***
Товщина верхнього епідермісу, мкм	23,3±0,6	27,1±0,8***	26,2±0,8**	23,4±0,7
Товщина нижнього епідермісу, мкм	23,9±0,5	28,3±0,9***	27,8±0,5***	24,2±0,7
Об'єм клітин стовпчастої паренхіми, мкм ³	19857±896	29798±908***	28366±788***	24993±671***
Довжина клітин губчастої паренхіми, мкм	33,3±0,9	40,2±1,2***	40,2±1,6***	37,4±1,1**
Ширина клітин губчастої паренхіми, мкм	24,9±0,7	31,2±0,8***	31,9±1,0***	30,2±1,0***
Кількість клітин епідермісу, шт./мм ² поверхні листка	783±13	719±19**	716±16**	726±16**
Кількість продихів, шт./мм ² поверхні листка	373±9	294±15***	283±13***	289±14***
Площа продихів, мкм ²	250±6	258±7	272±7*	287±9**

кість клітин епідермісу (на 9 і 7 %) і кількість продохів (на 24 та 23 %) на одиницю абаксіальної поверхні листка та збільшували площу продохів (на 8 і 15 %).

Морфологічні зміни рослин перцю та зумовлені ними зміни донорно-акцепторних відносин у рослинах вплинули на продуктивність культури. Встановлено, що тебуконазол вірогідно збільшував кількість плодів на рослині (на 14 %), а за дії хлормекватхлориду спостерігалася лише тенденція до зростання (6 %) (табл. 3). Зміни кількісних показників елементів продуктивності культури перцю солодкого зумовили збільшення загальної врожайності за дії тебуконазолу і хлормекватхлориду на 22 та 14 %, відповідно. При цьому маса одного плоду вірогідно не змінювалася. Есфон зменшував кількість плодів на рослині та загальну врожайність.

Відомо, що ключову роль у продуктивності рослин відіграє фотосинтетична активність, яка значною мірою визначається площею листової поверхні, кількістю і тривалістю життя листків, їх мезоструктурною організацією. Штучна регуляція ростових процесів рослин за допомогою ретардантів різних класів супроводжується істотними змінами морфогенезу, які стосуються формування різних рівнів організації фотосинтетичного апарату рослин [5, 26, 27]. Зважаючи на морфологічні аспекти дії інгібіторів гібереліну, застосування цих груп препаратів уможливує з'ясування значення анатомо-морфологічної та мезоструктурної складових у реалізації донорно-акцепторних відносин рослини і оптимізації продукційного процесу.

Зменшення запиту на асиміляти з боку осьових вегетативних органів після застосування ретардантів створює ефект їх надлишку в рослині, який спрямовується на посилений ріст бічних органів та органів запасання [5, 28]. Зафіксоване нами явище пригнічення ростових процесів в осьових органах рослин перцю супроводжувалося зростанням кількісних показників листового апарату. Подібні ефекти під впливом паклобутразолу зафіксовано на рослинах батату [17], за дії уніконазолу на рослинах сої [22], у рослин пажитниці багаторічної після обробки хлормекватхлоридом [29].

Результати наших досліджень свідчать, що блокування утворення гормонрецепторного комплексу у рослин перцю під впливом етиленпродуценту есфону мало сильніший рістгальмувальний ефект, ніж дія ретардантів, які переривали синтез гіберелінів в одній або декількох його ланках [2]. На нашу думку, сильне гальмування ростових процесів за дії есфону зумовило також інгібування процесів транспортування асимілятів по рослині, що в кінцевому підсумку негативно вплинуло на продуктивність культури. Схожі ефекти за дії

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив антигіберелінових препаратів на урожайність перцю солодкого сорту Антей (фаза плодоношення, середні дані за 3 роки, $x \pm SE$, $n = 30$)

Показник	Контроль	2-ХЕФК	EW-250	CCC-750
Кількість плодів на рослині, шт.	5,9±0,2	5,1±0,2*	6,7±0,3*	6,2±0,2
Середня маса одного плоду, г	88,1±4,2	89,1±4,4	90,2±4,4	89,8±4,4
Урожайність плодів, т/га	32,9±1,6	29,3±1,5	40,1±1,9*	37,5±1,7

есфону спостерігали й інші дослідники [30, 31]. Водночас під впливом тебуконазолу та хлормекватхлориду відбувалося помірно гальмування лінійного росту та транспорту речовин по рослині, надлишок пластичних речовин активно надходив до генеративних органів і посилював процеси карпогенезу.

Отримані результати свідчать, що ретарданти стимулювали формування і функціонування фотосинтетичного апарату перцю солодкого. Внаслідок застосування усіх трьох інгібіторів гібереліну відбувалася істотна перебудова мезоструктурної організації листків. При цьому підвищувалася питома маса листків, яка пов'язана з видовою (генотипною) стратегією акумуляції та використання асимілятів [32] і корелює зі швидкістю росту рослин, а також впливає на ефективність використання ними світла [33]. Аналогічні результати щодо питомої маси листків отримані й при вивченні впливу ретардантів на інші сільськогосподарські культури [3]. За дії тебуконазолу та хлормекватхлориду також збільшувався вміст хлорофілів у листках. Така перебудова фотосинтетичного апарату рослин після застосування ретардантів істотно підвищувала донорну функцію листків перцю, про що свідчить зростання чистої продуктивності фотосинтезу та маси сухої речовини цілої рослини.

Необхідно зазначити, що зростання листового індексу в ценозі не завжди є позитивним чинником біопродуктивності, оскільки загущення посівів, формування надмірної листової поверхні може призводити до само- та взаємозатінення рослин і, як наслідок, зменшувати урожайність культури. Результати нашого дослідження свідчать, що при застосуванні ретардантів тебуконазолу та хлормекватхлориду не спостерігалось таких негативних ефектів. Навпаки, відбувалося зростання урожайності культури в дослідних варіантах. На нашу думку, це пов'язано з тим, що збільшення площі листків на рослині та маси їх сирої й сухої речовини відбувалося не за рахунок кількості листків, а внаслідок розростання та потовщення окремих листків. Очевидно, причиною таких анатомо-морфологічних змін листового апарату є посилення функціонування маргінальних меристем на фоні гальмування активності апікальних меристем за дії ретардантів. Оптимізації продукційного процесу також сприяло підвищення хлорофільного індексу насаджень.

Ретарданти тебуконазол та хлормекватхлорид зменшували кількість продихів і клітин епідермісу на одиницю абаксіальної поверхні листка та збільшували площу продихів. На нашу думку, такі зміни будови нижнього епідермісу листків дослідних рослин є позитивними, особливо в умовах нестачі вологи та підвищеного температурного режиму під час вегетації.

Найпотужнішими акцепторами асимілятів є процеси вегетативного росту та карпогенезу. Оскільки в період плодоношення витрати асимілятів на процеси росту вегетативних органів істотно зменшуються, оптимізація фотосинтетичного апарату рослин перцю приводила до закладання більшої кількості плодів на рослині і підвищення урожайності культури, особливо за обробки тебуконазолом. Ці результати збігаються з літературними даними про підвищення продуктивності сільськогосподарських культур під впливом триазолпо-

хідних ретардантів. Зокрема, застосування паклобутразолу підвищило продуктивність батату [17] та манго [19], а уніконазол зумовлював зростання урожайності сої [22] і кукурудзи [34].

Наші результати свідчать, що підвищення урожайності культури відбувалося за рахунок збільшення кількості квіток і плодів на рослині. При цьому маса окремих плодів практично не змінювалася.

Разом з тим, надмірне гальмування ростових та обмінних процесів у рослин перцю під впливом етиленпродуценту есфону зумовило зниження продуктивності культури, незважаючи на цілий ряд позитивних морфологічних ефектів після застосування препарату.

Отже, застосування препаратів, які переривають біосинтез гібереліну, призвело до гальмування лінійного росту та оптимізувало структуру листкового апарату, що сприяло формуванню потужнішої донорної сфери рослин перцю і посилювало її асиміляційний потенціал. Наслідком такої перебудови донорно-акцепторної системи рослини стало підвищення врожайності культури.

REFERENCES

- Hima, V., Jay, P. & Shailesh, M. (2025). A review: the elucidation of source-sink relationship. *Life Science Leaflets*, 179, pp. 12-35.
- Rademacher, W. (2016). Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual Plant Reviews*, 49, pp. 359-403. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0541>
- Kuryata, V.G. & Poprotska, I.V. (2019). Physiological and biochemical basics of application of retardants in plant growing. Vinnytsia: TOV Tvory [in Ukrainian].
- Verma, S., Upadhyay, A., Kumari, M., Kumar, A., Kumar, A., Kumar, S., Sunny & Tandle, S.S. (2024). Role of plant growth regulators in improving vegetable crop productivity: A review. *J. Sci. Res. Rep.*, 30(12), pp. 681-697. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i122712>
- Zheng, R., Wu, Y. & Xia, Y. (2012). Chlorocholine chloride and paclobutrazol treatments promote carbohydrate accumulation in bulbs of *Lilium Oriental* hybrids 'Sorbonne'. *J Zhejiang Univ. Sci., B.*, 13(2), pp. 136-144. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1000425>
- Singh, S.K., Nath, V., Marboh, E.S. & Sharma, S. (2017). Source-sink relationship in litchi versus mango: a concept. *Int. J. Cur. Microbiol. App. Sci.*, 6(3), pp. 500-509. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.058500>
- Hegde, S., Adiga, J.D., Honnabyraiah, Guruprasad, M.K., Shivanna, M. & Halesh G.K. (2018). Influence of paclobutrazol on growth and yield of jamun cv. Chintamani. *Int. J. Cur. Microbiol. App. Sci.*, 7(1), pp. 1590-1599. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.193>
- Rohach, V.V., Kiriziy, D.A., Stasik, O.O., Mickevicius, S. & Rohach, T.I. (2020). The effect of growth promoters and retardants on the morphogenesis, photosynthesis and productivity of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Fiziol. rast. genet.*, 52(4), pp. 279-294. <https://doi.org/10.15407/frg2020.04.279>
- Rogach, V.V., Voitenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M., Kosakivska, I.V. & Rogach, T.I. (2020). Morphogenesis, pigment content, phytohormones and productivity of eggplants under the action of gibberellin and tebuconazole. *Regul. Mech. Biosyst.*, 11(1), pp. 129-135. <https://doi.org/10.15421/022017>
- Desta, B. & Kefelegn, G.A. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Rosado-Souza, L., Yokoyama, R., Sonnewald, U. & Fernie, A.R. (2023). Understanding source-sink interactions: Progress in model plants and translational research to crops. *Mol. Plant*, 16, pp. 96-121. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.11.015>
- Burgess, A.J., Masclaux-Daubresse, C., Strittmatter, G., Weber, A.P.M., Taylor, S.H., Harbinson, J., Yin, X., Long, S., Paul, M.J., Westhoff, P., Loreto, F., Ceriotti, A.,

- Saltenis, V.L.R., Pribil, M., Nacry, P., Scharff, L.B., Jensen, P.E., Muller, B., Cohan, J.-P. & Baekelandt, A. (2023). Improving crop yield potential: Underlying biological processes and future prospects. *Food and Energy Security*, 12, e435. <https://doi.org/10.1002/fes3.435>
13. Liu, L., Fang, Y., Huang, M., Jin, Y., Sun, J., Tao, X., Zhang, G., He, K.-Z., Zhao, Y. & Zhao, H. (2014). Uniconazole-induced starch accumulation in the bioenergy crop duckweed (*Landoltia punctata*) II: transcriptome alterations of pathways involved in carbohydrate metabolism and endogenous hormone crosstalk. *Biotechnol. Biofuels*, 8(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0245-8>
 14. Koteswara, R.G., Surendra, B.M., Nagaraju, M.M., Thomson, T., Ranganna, G. & Siva, M. (2017). A critical review on effect of plant growth regulators on root vegetables. *Int. J. Cur. Microbiol. App. Sci.*, 6(7), pp. 1243-1247. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.607.150>
 15. Acharya, S.K., Thakar, C., Brahmabhatt, J.H. & Joshi, N. (2020). Effect of plant growth regulators on cucurbits: A review. *J. Pharmacogn. Phytochem.*, 9(4), pp. 540-544.
 16. Pavlista, A.D. (2013). Influence of foliar-applied growth retardants on russet burbank potato tuber production. *Am. J. Potato Res.*, 90, pp. 395-401. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9307-2>
 17. Yooyongwech, S., Samphumphuang, T., Tisarum, R., Theerawitaya, C. & Cha-um, S. (2017). Water-deficit tolerance in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] by foliar application of paclobutrazol: role of soluble sugar and free proline. *Front. Plant Sci.*, 8, 1400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01400>
 18. Rogach, V.V., Kiriziy, D.A., Kuryata, V.G. & Rogach, T.I. (2022). Morphogenesis, photosynthesis, and productivity of pepper (*Capsicum annuum* L.) under the impact of growth substances with different directions and mechanisms of action. *Fiziol. rast. genet.*, 54(3), pp. 214-232 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2022.03.214>
 19. Sarker, B.C., Rahim, M.A. & Archbold, D.D. (2016). Combined effects of fertilizer, irrigation, and paclobutrazol on yield and fruit quality of mango. *Horticulturae*, 2, 14. <https://doi.org/10.3390/horticulturae2040014>
 20. Kumbar, S., Patil, D.R., Das, K.K., Swamy, G.S.K., Thammaiah, Jayappa, J. & Gandolkar, K. (2017). Studies on the influence of growth regulators and chemicals on the quality parameters of grape cv. 2A Clone. *Int. J. Cur. Microbiol. App. Sci.*, 6(5), pp. 2585-2592. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.605.291>
 21. Sardoei, A.S., Yazdi, M.R. & Shshdadneghad, M. (2014). Effect of cycocel on growth retardant cycocel on reducing sugar, malondialdehyde and other aldehydes of *Cannabis sativa* L. *Int. J. Biosci.*, 4(6), pp. 127-133. <https://doi.org/10.12692/ijb/4.6.127-133>
 22. Yan, Y., Wan, Y., Liu, W., Wang, X., Yong, T., Yang, W. & Zhao, L. (2015). Influence of seed treatment with uniconazole powder on soybean growth, photosynthesis, dry matter accumulation after flowering and yield in relay strip intercropping system. *Plant Prod. Sci.*, 18(3), pp. 295-301. <https://doi.org/10.1626/ppls.18.295>
 23. Pal, S., Zhao, J., Khan, A., Yadav, N.S., Batushansky, A., Barak, S., Rewald, B., Fait, A., Lazarovitch, N. & Rachmilevitch, S. (2016). Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. *Sci. Rep.*, 6, 39321. <https://doi.org/10.1038/srep39321>
 24. AOAC. (2010). Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist International (18th ed.) Association of Analytical Chemist. Gaithersburg, Maryland, USA.
 25. Van Emden, H.F. (2008). Statistics for terrified biologists. Blackwell, Oxford. <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0058-3>
 26. Wang, Y., Gu, W., Xie, T., Li, L., Sun, Y., Zhang, H., Li, J. & Wei, S. (2016). Mixed compound of DCPTA and CCC increases maize yield by improving plant morphology and upregulating photosynthetic capacity and antioxidants. *PLoS ONE*, 11(2), e0149404. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149404>
 27. Rogach, V.V., Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Sytnyk, S.K., Kuryata, V.G. & Rogach, T.I. (2023). The effects of growth regulators on the photosynthetic apparatus of the sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in relation to the productivity. *Fiziol. rast. genet.*, 55(1), pp. 25-45 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.01.025>
 28. Xiang, J., Wu, H., Zhang, Y., Wang, Y., Li, Z., Lin, H., Chen, H., Zhang, J. & Zhu, D. (2017). Transcriptomic analysis of gibberellin- and paclobutrazol-treated rice

- seedlings under submergence. *Int. J. Mol. Sci.*, 18(10), 2225. <https://doi.org/10.3390/ijms18102225>
29. Kasem, M.M. & Abd El-Baset, M.M. (2015). Studying the influence of some growth retardants as a chemical mower on ryegrass (*Lolium perenne* L.). *J. Plant Sci.*, 3(5), pp. 255-258. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20150305.12>
 30. Spitzer, T., Misa, P., Bilovsky, J. & Kazda, J. (2015). Management of maize stand height using growth regulators. *Plant Protect. Sci.*, 51, pp. 223-230. <https://doi.org/10.17221/105/2014-PPS>
 31. Li, L.L., Gu, W.R., Li, C.F., Li, W.H., Chen, X.C., Zhang, L.G. & Wei, S. (2019). Dual application of ethephon and DCPTA increases maize yield and stalk strength. *Agron. J.*, 111(3), 1533. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.06.0363>
 32. Amanullah, D.R. (2015). Specific leaf area and specific leaf weight in small grain crops wheat, rye, barley, and oats differ at various growth stages and NPK source. *J. Plant Nutr.*, 38(11), pp. 1964-1708. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1017051>
 33. Bhattacharya, A. (2019). Radiation-use efficiency under different climatic conditions. In: *Changing Climate and Resource Use Efficiency in Plants*. Elsevier Ltd. Academic Press, London, pp. 51-109. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816209-5.00002-7>
 34. Ahmad, I., Kamran, M., Ali, S., Bilegiargal, B., Cai, T., Ahmad, S., Meng, X., Su, W., Liu, T. & Han, Q. (2018). Uniconazole application strategies to improve lignin biosynthesis, lodging resistance and production of maize in semiarid regions. *Field Crops Research*, 222(1), pp. 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.015>

Received 19.12.2025

REGULATION OF GROWTH, DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF PEPPER BY TREATMENT WITH ANTIGIBBERELLIN PREPARATIONS THAT DIFFER IN MECHANISM OF ACTION

V.V. Rogach^{1,2}, V.G. Kuryata², D.A. Kiriziy¹, O.O. Stasik¹, T.I. Rogach²

¹Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

²Mykhailo Kotsiubynskyi Vinnytsia State Pedagogical University
32 Ostrozhsky St., Vinnytsia, 21100, Ukraine
e-mail: rogachv@ukr.net

The aim of work was to determine the effect of antigibberellin preparations with different mechanisms of action on the formation of the leaf apparatus, the features of the mesostructure, and the photosynthetic productivity of leaves in connection with the yield of sweet pepper. In the field experiment, plants were treated at the budding stage with aqueous solutions of chlormequat chloride, tebuconazole, and esfon. Phytometric indices, mesostructural organization of leaves, chlorophyll content, net photosynthetic productivity, and cenotic indices of plantations were determined at the fruiting stage. It was found that the preparations inhibited the linear growth of plants. The most significant decrease in height was observed after the application of esfon. The leaves number on the plant decreased under esfon treatment, while this index did not change under the chlormequat chloride and tebuconazole applications. Chlormequat chloride and tebuconazole, unlike the ethylene producer esfon, increased the fresh and dry weight of leaves and the whole plant, the leaves area, and the leaf index of plantings. The increase in the area of pepper plants leaf surface occurred due to an increase in the area of individual leaves, since their total number did not change significantly under the action of preparations. All antigibberellin preparations increased the specific leaf weight, which was due to the thickening of leaf blades as a result of the chlorenchyma cells growth, namely, an increase in the volume of columnar parenchyma cells and the size of spongy parenchyma cells. Retardants significantly increased the chlorophyll

content in leaves and the chlorophyll index, and contributed to an increase in the net photosynthetic productivity, which became an important prerequisite for increasing the yield of sweet pepper crops. The greatest increase in yield was revealed under the action of tebuconazole, while the weight of one fruit did not change significantly. The use of esfon did not significantly change the yield. Therefore, the formation of a more powerful leaf apparatus under the action of retardants enhanced its donor function, which became a prerequisite for increasing the biological productivity of the crop.

Key words: *Capsicum annuum* L., source-sink system, retardant, ethylene producer, leaf apparatus, leaf mesostructure, coenotic indices, yield.

ORCID

В.В. РОГАЧ — V.V. Rogach <https://orcid.org/0000-0002-8916-8349>

В.Г. КУР'ЯТА — V.G. Kuryata <https://orcid.org/0000-0002-7801-933X>

Д.А. КІРІЗІЙ — D.A. Kiriziy <https://orcid.org/0000-0001-6079-893X>

О.О. СТАСИК — O.O. Stasik <https://orcid.org/0000-0001-5023-2529>

Т.І. РОГАЧ — T.I. Rogach <https://orcid.org/0000-0002-6763-8266>