

<https://doi.org/10.15407/frg2024.04.311>

УДК 588.144:582.930.13]:661.162.6

## ДИНАМІКА ВМІСТУ ВУГЛЕВОДІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ В ОРГАНАХ РОСЛИН БАКЛАЖАНІВ ПІД ВПЛИВОМ РЕТАРДАНТІВ

В.В. РОГАЧ<sup>1</sup>, В.Г. КУР'ЯТА<sup>1</sup>, Т.І. РОГАЧ<sup>1</sup>, О.О. СТАСИК<sup>2</sup>, Д.А. КІРІЗІЙ<sup>2</sup>,  
С.К. СИТНИК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського  
21100 Вінниця, вул. Острозького, 32  
e-mail: rogachv@ukr.net

<sup>2</sup>Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

Досліджено особливості ростових процесів, формування листкового апарату та перерозподілу різних форм вуглеводів, азоту, фосфору і калію у вегетативних органах та плодах баклажанів (*Solanum melongena* L.) сорту Алмаз. Встановлено, що інгібітори гібереліну з різним механізмом дії — EW-250 і ССС-750, які блокують синтез гібереліну, та 2-ХЕФК, що перешкоджає реалізації фізіологічної дії гормону, зменшували лінійні розміри рослин. Найістотнішим інгібувальний ефект був при застосуванні 2-ХЕФК (27 %). Інгібітори синтезу гібереліну — EW-250 та ССС-750 збільшували кількість листків на рослині, їхню площу й масу сирі речовини, тоді як 2-ХЕФК ці показники знижувала. За дії EW-250 та ССС-750 вірогідно зростав вміст хлорофілу в листках, а при застосуванні 2-ХЕФК показник лише мав тенденцію до зростання. Досліджені ретарданти вірогідно підвищували інтенсивність фотосинтезу. За дії EW-250 та ССС-750 вірогідно зростали (або відзначена така тенденція) максимальна квантова ефективність ФС II, діюча квантова ефективність ФС II і швидкість транспорту електронів. Обробка рослин 2-ХЕФК знижувала показники фотохімічної активності ФС II. Інгібітори гібереліну посилювали накопичення вуглеводів у коренях на початку та всередині репродуктивного періоду й інтенсифікували їх відтік наприкінці. Ретарданти EW-250 та ССС-750 збільшували накопичення вуглеводів у плодах на відміну від 2-ХЕФК. Інгібітори синтезу гібереліну EW-250 та ССС-750 посилювали відтік різних форм азоту від коренів і стебел й збільшували їх накопичення у листках, а також посилювали ремобілізацію фосфору та калію із коренів до надземної частини рослин, а за дії 2-ХЕФК ці показники практично не відрізнялися від контролю. При цьому калій за дії усіх трьох інгібіторів гібереліну більше накопичувався у стеблах, а фосфор — у листках. Ретарданти EW-250 та ССС-750 поліпшували продуктивність рослин баклажана внаслідок зростання як кількості плодів на рослині, так і середньої маси плоду, що зумовило підвищення урожайності на 43 і 40 % відповідно. За дії 2-ХЕФК урожайність культури мала тенденцію до зниження. Отримані дані свідчать, що інгібітори синтезу гібереліну EW-250 та ССС-750 можуть ефективно застосовуватися для поліпшення продуктивності рослин баклажана.

Цитування: Рогач В.В., Кур'ята В.Г., Рогач Т.І., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Ситник С.К. Динаміка вмісту вуглеводів та елементів мінерального живлення в органах рослин баклажанів під впливом ретардантів. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56, № 4. С. 311–332. <https://doi.org/10.15407/frg2024.04.311>

**Ключові слова:** *Solanum melongena* L., інгібітори гібереліну, листковий апарат, донорно-акцепторні відносини, вуглеводи, азот, фосфор, калій, фотосинтез, продуктивність.

З погляду сучасної фізіології рослина є цілісною, саморегулювальною системою, в основі якої лежать донорно-акцепторні відносини між фотосинтезувальними тканинами й органами, які відіграють роль донорів пластичних речовин, та органами запасання і швидкорослими органами — акцепторами новосинтезованих фотоасимілятів [1–3].

Регулятори росту рослин, різного напрямку їх дії впливають на характер донорно-акцепторних відносин у рослинному організмі. Наслідком цього є анатомо-морфологічні зміни вегетативних органів, перебудова асиміляційного апарату, утворення додаткових атрагувальних центрів вегетативного й генеративного походження [4]. Збільшення атрагувальної здатності акцепторних зон зумовлює посилення фотосинтетичної фіксації вуглекислого газу, збільшення продуктивності фотосинтезу, зростання частки транспортних форм вуглеводів і відтоку асимілятів із листків.

Швидкість і напрям руху асимілятів визначається формотворчими процесами, тому в онтогенезі рослини змінюється склад сполук, які транспортуються з листків, та характер їх вторинного використання в зонах росту і запасальних тканинах [5].

Зміни у функціонуванні донорно-акцепторної системи рослини відбуваються внаслідок перерозподілу потоків асимілятів між вегетативними й генеративними органами рослини. У зв'язку з цим розробка ефективних методів регуляції онтогенезу за допомогою аналогів фітогормонів і модифікаторів їхньої дії потребує дослідження перерозподілу пластичних речовин та елементів живлення у рослинному організмі впродовж онтогенезу.

Серед рістрегулювальних речовин окрему велику групу становлять ретарданти — препарати з антигібереліновим механізмом дії. Аналіз наявних літературних даних свідчить про істотний вплив препаратів цієї групи на обмін різних форм вуглеводів, однак отримані дані часто неоднозначні, а для окремих сучасних препаратів і відсутні [6].

Велику увагу дослідників і спеціалістів в агровиробництві привертають ретарданти: похідний триазолу EW-250, який перериває синтез гібереліну в трьох ланках метаболічного ланцюга, та препарат із групи четвертинних амонієвих солей ССС-750, що блокує синтез в одній ланці цього процесу, а також етиленпродуцент 2-ХЕФК, який перешкоджає сполученню гормону із рецептором на плазматичних мембранах меристематичних клітин [6].

Оскільки ростові та формотворчі процеси у рослині перебувають під гормональним контролем, то важливо мати інформацію про вплив інгібіторів гібереліну на гормональний статус культурних рослин, в тому числі й овочевих пасльонових. Так, застосування тебуконазолу у вегетаційних дослідах на культурах томатів, перців і баклажанів свідчить, що ретардант зменшував вміст гіберелової кислоти у листках й одночасно збільшував або не змінював вміст абсцизової кислоти. Вміст суми цитокінінів у листках після застосування триа-

золпохідного ретарданту істотно перевищував контроль [7—9]. Такі зміни вмісту гіберелінів, абсцизової кислоти та цитокінів зумовлювали зменшення лінійних розмірів рослин, потовщення листків і підвищення вмісту хлорофілу в них [7—9].

Відомо й про зміни у накопиченні та перерозподілі вуглеводів у органах рослин під впливом антигіберелінів. Зокрема, обробка кукурудзи ССС та 2-диетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром впливала на накопичення та перерозподіл цукрів у надземних вегетативних органах [10]. На початку вегетації цукри накопичувалися у надземних вегетативних органах як у контролі, так і у варіантах із ретардантами. З 25—30-ї доби після обробки препаратом спостерігався інтенсивний відтік цукрів, найімовірніше до генеративних органів як у контролі, так і у варіанті з інгібіторами росту. Ретарданти підвищували вміст цукрів у органах на початку досліджуваного періоду та посилювали їх відтік до акцепторних зон у другій половині вегетації. За дії 2-диетиламіноетил-3,4-дихлорфенілового ефіру ці процеси відбувалися інтенсивніше, ніж після обробки ССС.

В інших дослідженнях на рослинах ріпаку паклобутразол (РР333) значно збільшував сумарний вміст цукрів у листках, стеблах і суцвіттях та зменшував у корені, що вказує на підвищення ефективності утилізації фотоасимілятів з наступним їх спрямуванням до господарсько-цінних органів — плодів [11]. Найвищий вміст розчинних цукрів за дії препарату було зафіксовано у стеблі (зростання до 33—51 %), а цукрози — у листках (зростання до 55 %). Ретардант сприяв накопиченню цукрози у вегетативних органах. Вміст крохмалю за дії РР333 зменшувався у корені і збільшувався у надземних вегетативних органах, особливо у листках. За дії препарату підвищувалась активність ферментів вуглеводного обміну — цукрозосинтетази, нейтральної та кислої інвертази.

В літературі практично відсутні дані щодо змін у накопиченні й перерозподілі вуглеводів у рослин пасльонових культур за дії ретардантів. Обробка рослин перцю антигібереліновими препаратами: цикоцелем, прогексадіоном-Са та етефоном, у дозі 100 мг/л практично не змінювала вміст глюкози, фруктози та цукрози у плодах [12]. Лише етефон вірогідно зменшував вміст глюкози (до 25 %). В іншому дослідженні обприскування рослин пасльону ефіопського антигібереліновими препаратами РР333 (400 мг/л), В9 (дамінозином) (6000 мг/л) та ССС (4000 мг/л) зменшувало вміст цукрів у рослині [13].

Відомо й про накопичення та перерозподіл азоту й інших елементів мінерального живлення в органах культурних рослин за обробки інгібіторами гібереліну. Так, обробка рослин пшениці озимої сортів Смуглянка й Подолянка антигібереліновими препаратами медакс топ, 1,0 л/га (прогексадіон Са + мепікватхлорид) та терпал, 1,5 л/га (мепікватхлорид + етефон) у фазу GS39 у 2015—2016 рр. в умовах Тиврівського р-ну Вінницької обл. збільшувала вміст білків і клейковини у зерні [14]. Ефективнішим виявилось застосування суміші медакс топ. Крім цього, обробка рослин пшениці озимої сорту Подолянка мепікват хлоридом і етефоном (терпал, 1,5 л/га) позитивно впливала на накопичення як калію, магнію та кальцію, так і мар-

ганцю, заліза, міді й цинку в зерні. Ретарданти впливали на зміни вмісту неорганічних елементів у різних органах рослин. Спостерігалося істотне зростання вмісту магнію в листках та у зерні за дії препарату медакс топ.

Водночас обробка рослин ріпаку озимого ретардантами ССС, EW-250 та флусилазолом не впливала на вміст білків у насінні [15]. В інших дослідженнях ССС, етефон і тринексапакетил не впливали на вміст білків у зерні ячменю [16].

Застосування антигіберелінових препаратів з різним механізмом дії — ССС (1500 мг/л), дамінозиду (3000 мг/л), УК-140 (30 мг/л) і мепікватхлориду (300 мг/л) на насадженнях винограду в умовах Італії на 35—70-й день після обрізування збільшувало вміст N, P, K, Ca і Mg у молодих пагонах [17]. Шефлеру деревоподібну обробляли РР333 у дозі 150, 300 та 450 ppm упродовж двох сезонів. Інгібітор гібереліну збільшував вміст азоту, фосфору та калію у листках і стеблах. Збільшення дози препарату посилювало накопичення елементів мінерального живлення у вегетативних органах [18]. Внесення в ґрунт культури (РР333) впродовж двох років під рослини манго збільшувало вміст фосфору, калію та кальцію за менших доз, але знижувало за більших [19].

Для розробки методів екзогенної регуляції продукційного процесу сільськогосподарських культур необхідне з'ясування закономірностей впливу антигіберелінових препаратів на основні фізіологічні процеси, що визначають продуктивність рослин. Метою даної роботи було дослідження впливу інгібіторів гібереліну з різним механізмом дії — EW-250, ССС-750 та 2-ХЕФК на фотосинтетичний апарат, накопичення й перерозподіл вуглеводів, азотвмісних сполук та елементів мінерального живлення в органах рослин баклажана.

## Методика

*Умови вирощування рослин.* Польові дрібноділянкові дослідження закладали на землях СФГ «Бержан П.Г.» с. Горбанівки Вінницького р-ну Вінницької обл. у вегетаційні періоди 2013—2015 рр. згідно зі стандартними методиками [20]. Розсаду баклажанів сорту Алмаз висаджували стрічковим способом за формулою 80+50+50×25. Мінеральні добрива вносили в дозах N<sub>50</sub>P<sub>40</sub>K<sub>30</sub>. Площа ділянок 33 м<sup>2</sup>, повторюваність п'ятиразова.

Водночас рослини вирощували в умовах вегетаційного дослідження в ґрунтовій культурі у непрозорих пластмасових посудинах місткістю 10 л (по 1 рослині у посудині) за природного освітлення. Ґрунт сірий лісовий опідзолений великопилувато-середньосуглинковий. Ґрунтово-піщану суміш для наповнення посудин готували у співвідношенні 3:1. Вологість ґрунту впродовж вегетації підтримували на рівні 60 % ПВ.

Рослини у дрібноділянковому та вегетаційному дослідженні обробляли вранці за допомогою ранцевого обприскувача СО-12 «Marolex» 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) у фазу бутонізації (ВВСН 51). Контрольні рослини обприскували водою.

*Визначення фітометричних і біохімічних показників.* Фітометричні показники вимірювали на початку фази плодоношення (ВВСН 71) на десяти рослинах. Вміст суми хлорофілів у листках визначали спектрофотометричним методом [21] на спектрофотометрі ULAB 102UV (Shanghai Metash Instruments Co., Китай) і розраховували на масу сухої речовини листків у п'ятиразовій повторності.

Вміст суми цукрів, редукувальних цукрів і крохмалю у вегетативних органах та плодах визначали йодометричним методом за Починком [22]. Вміст фосфору — за утворенням фосфорно-молібденового комплексу із залізо-молібдатом амонію, калію — полум'яно-фотометричним методом, вміст загального азоту — за Кельдалем [22]. Повторюваність визначень триразова.

*Визначення фотосинтетичної активності.* Показники активності фотосинтетичного апарату визначали у фазу формування плодів (ВВСН 71) на невідокремлених від рослини молодих листках середнього ярусу, що закінчили ріст. Інтенсивність вуглекислотного газообміну вимірювали у контрольованих умовах на установці, змонтованій на базі інфрачервоного оптико-акустичного газоаналізатора ГІАМ-5М. Частину листка вміщували в термостатовану (25 °С) листову камеру розміром 3×7 см. Листок освітлювали світлодіодним прожектором ТА-11 50W з колірною температурою 5200 К. Інтенсивність освітлення становила 1800 мкмоль/(м<sup>2</sup> · с) ФАР. Через камеру продували атмосферне повітря з природною концентрацією CO<sub>2</sub> зі швидкістю 1 л/хв. Інтенсивність фотосинтезу реєстрували через 50—60 хв після початку освітлення листка в камері, коли показники газообміну відповідали стаціонарному рівню. Показники газообміну розраховували за стандартною методикою [23]. Повторюваність вимірювань триразова.

Параметри імпульсної амплітудно-модульованої індукції флуоресценції хлорофілу та інтенсивність транспорту електронів через ФС II визначали за допомогою флуорометра Junior-RAM fluorometer («WALZ», Німеччина) і розраховували згідно зі стандартними формулами [21]. Інтенсивність актинічного світла становила 625 мкмоль/(м<sup>2</sup> · с) ФАР, насичувальних імпульсів — 5000 мкмоль ФАР/(м<sup>2</sup> · с). Тривалість спалаху насичувального світла становила 0,8 с. Повторюваність визначень триразова.

*Статистичний аналіз.* У тексті, таблицях і на графіках наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки. Результати обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Statistica 6.0. Застосовували однофакторний дисперсійний аналіз (відмінності між середніми значеннями обчислювали за критерієм Стьюдента, їх вважали вірогідними за  $p \leq 0,05$ ) [22].

## Результати та обговорення

*Характеристики росту й розвитку рослин.* Результати наших досліджень свідчать, що есфон, тебуконазол і хлормекватхлорид спричи-

нювали істотні зміни у ростових процесах рослин баклажанів сорту Алмаз (табл. 1). Встановлено, що всі антигіберелінові препарати зменшували лінійні розміри рослин баклажанів, що є типовою реакцією рослин на дію цієї групи інгібіторів [8, 15, 23, 24]. Найзначніше гальмування росту відбувалося при застосуванні 2-ХЕФК (27 %). Висота рослин вірогідно знижувалася і після обробки EW-250 (15 %). За дії ССС-750 висота рослин мала тенденцію до зниження.

Під впливом інгібіторів гібереліну змінювалось формування листкового апарату (див. табл. 1). Відомо, що такі показники основного фотосинтезувального органу рослини, як кількість, маса сирової речовини та площа асиміляційної поверхні, є винятково важливими для формування біологічної продуктивності рослини. Ми дослідили, що під впливом обох ретардантів збільшувалась кількість листків на рослині. Триазолопохідний інгібітор гібереліну, що перериває синтез гормону-стимулятора в трьох ланках метаболічного ланцюга — вірогідно збільшував кількість листків на рослині (16 %), тоді як за дії онієвого ретарданту, що перериває синтез гібереліну в одній ланці, спостерігалася лише тенденція до зростання цього показника, а етиленпродуцент, який запобігає утворенню гормонрецепторного комплексу — вірогідно його знижував (21 %). Одночасно за дії обох ретардантів тривало зростання маси сирової речовини листків на 26—32 %, тоді як площа листків вірогідно зростала лише за обробки триазоловим перепаратом (22 %). В літературних джерелах знаходимо подібні закономірності [15, 23]. Обробка рослин 2-ХЕФК вірогідно зменшувала масу сирової речовини (35 %) та площу (47 %) листків.

Встановлено, що ретарданти EW-250 та ССС-750 вірогідно збільшували вміст суми хлорофілів ( $a+b$ ) у листках баклажанів на 14 та 11 % відповідно (див. табл. 1). За обробки 2-ХЕФК показник мав тенденцію до зростання. На збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках рослин за обробки ретардантами вказують також інші дослідники [15, 24, 25].

*Динаміка вмісту вуглеводів у окремих органах рослин.* Зважаючи на зміни кількісних показників листкового апарату рослин баклажанів сорту Алмаз після обробки регуляторами росту, доцільним є вивчен-

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив інгібіторів гібереліну на фітометричні показники і вміст хлорофілу в листках рослин баклажанів сорту Алмаз (фаза початку плодоношення (ВВСН 71), середні дані за 2013—2015 рр.)

Показник	Контроль	2-ХЕФК	EW-250	ССС-750
Висота рослини, см	54,6±2,7	39,7±1,9*	46,4±2,2*	47,1±2,3
Кількість листків на рослині, шт.	88,7±4,12	70,1±3,0*	103,1±4,8*	98,2±4,7
Маса сирової речовини листків, г	141,2±6,9	91,7±4,4*	186,1±9,3*	178,6±8,9*
Площа листків, м <sup>2</sup>	0,618±0,030	0,330±0,016*	0,753±0,037*	0,699±0,034
Вміст хлорофілу, мг/г сирової речовини	4,97±0,11	5,25±0,12	5,66±0,14*	5,49±0,13*

Примітка. Тут і в табл. 2—3: \*різниця з контролем вірогідна за  $p \leq 0,05$ .

ня особливостей накопичення та перерозподілу різних форм вуглеводів між органами рослин баклажанів у процесі онтогенезу.

Загалом як у контрольних рослин, так і дослідних упродовж досліджуваного періоду відзначалось зниження вмісту розчинних вуглеводів у вегетативних органах і його зростання в плодах та менш закономірна динаміка вмісту крохмалю (рис. 1). Водночас обробка рослин ретардантами впливала на динаміку різних форм вуглеводів, відтворюючи процеси накопичення і перерозподілу пластичних речовин у донорно-акцепторній системі. Підтримання високого вмісту вуглеводів у вегетативних органах на фоні їх підвищення в плодах на початку формування останніх є свідченням достатнього забезпечення продукційного процесу асимілятами зі сторони донора — фотосинтетичного апарату.

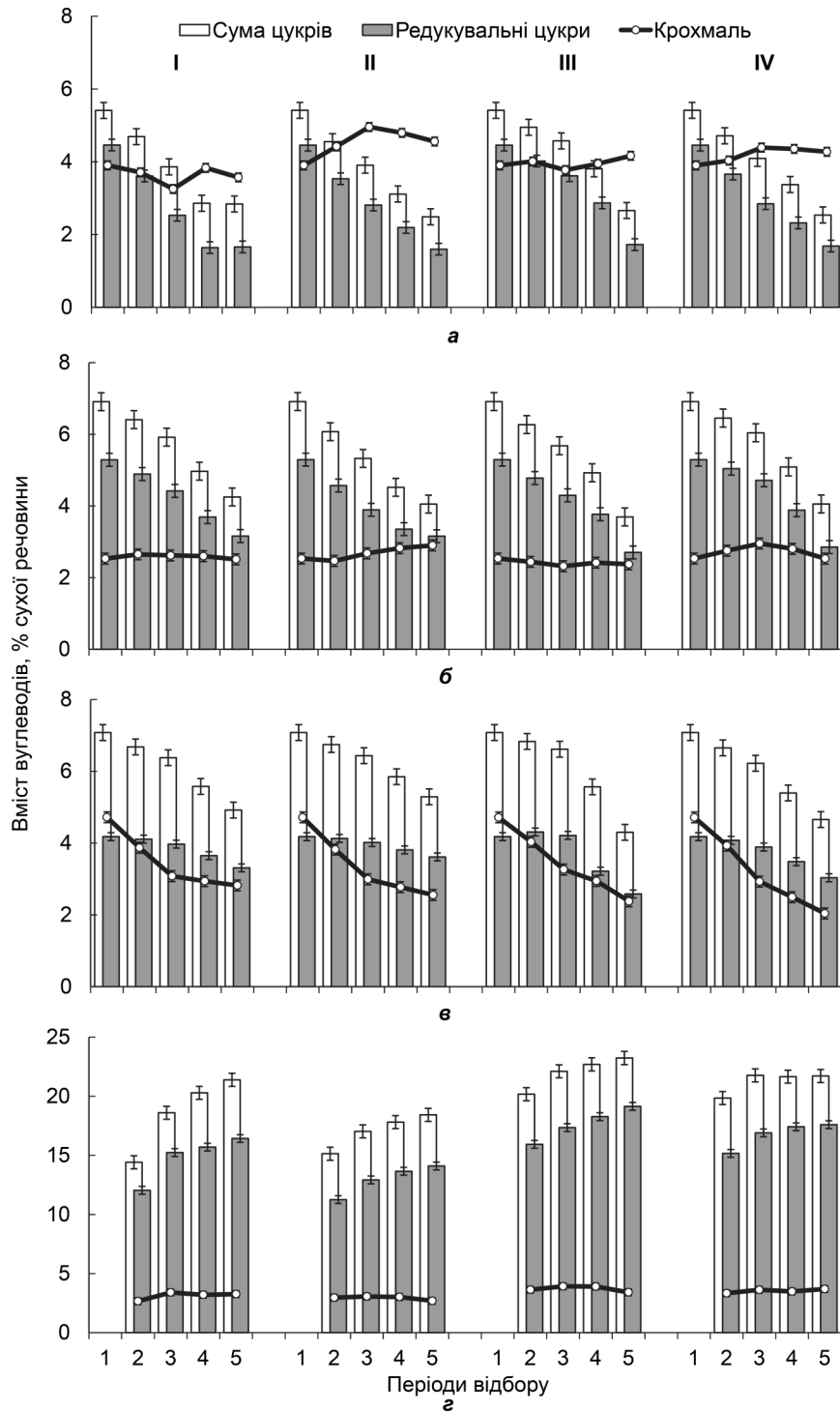
Встановлено, що інгібітори гібереліну сприяли підтриманню рівня цукрів у корені рослин баклажанів за рахунок як редукувальних, так і нередукувальних форм на початку та в середині репродуктивного періоду, а також інтенсифікували їх відтік із підземного вегетативного органу у фазу активного формування плодів (ВВСН 72—74) (рис. 1, а). Максимальний вміст суми цукрів та їх редукувальних форм на початку формування плодів (20-та доба після обробки) зафіксовано за дії EW-250. Показники перевищували контроль відповідно на 16 та 43 %.

Зниження вмісту вуглеводів у корені баклажана у фазу активного формування плодів відображає ремобілізацію асимілятів із вегетативних органів у плоди. Найістотніше зменшення вмісту суми цукрів у корені, порівняно з контролем, відбувалося за дії етиленпродуцента та онієвого ретарданта (на 12 та 11 %).

Онтогенетична динаміка вмісту крохмалю в коренях баклажана була менш закономірною. У контрольних рослин до початку активного формування плодів спостерігалася тенденція до зниження вмісту крохмалю, а потім до деякого підвищення. Обробка 2-ХЕФК та ССС-750 сприяла збільшенню вмісту крохмалю в корені на 53 і 35 % порівняно з контролем до початку формування плодів, а потім (на відміну від контролю) — певному зниженню. За обробки EW-250 вміст крохмалю змінювався менш істотно і незначно відрізнявся від контролю.

Результати наших досліджень свідчать, що антигіберелінові препарати зменшували або не змінювали вміст суми цукрів у стеблах баклажанів (рис. 1, б). Зменшення вмісту цукрів відбувалося за рахунок як редукувальних, так і нередукувальних форм. Найістотніше зниження вмісту обох форм на кінець досліджуваного періоду (на 13—15 % щодо контролю) відбувалося за обробки EW-250 (на 13—15 %). Триазолпохідний препарат також упродовж вегетації сприяв тенденції до зниження вмісту крохмалю, тоді як за обробки онієвим ретардантом та етиленпродуцентом вміст крохмалю мав тенденцію до збільшення.

Аналіз динаміки вмісту вуглеводів у листках баклажанів свідчить, що на кінець досліджуваного періоду рівень всіх форм вуглеводів — суми цукрів, редукувальних форм цукрів та крохмалю знижувався у



**Рис. 1.** Вплив інгібіторів гібереліну на вміст різних форм вуглеводів в органах рослин баклажанів сорту Алмаз (середні дані за 2013–2015 рр.):

*а* – корінь; *б* – стебло; *в* – листки; *г* – плоди.

Тут і на рис. 2–4: I – контроль; II – 2-ХЕФК; III – EW-250, IV – CCC-750; 1 – перша доба після обробки; 2 – десята доба після обробки; 3 – двадцята доба після обробки; 4 – тридцята доба після обробки; 5 – сорокова доба після обробки ( $n = 3, x \pm SE$ )



контрольних рослин відповідно на 31, 21 і 40 % (рис. 1, *в*). Обробка рослин EW-250 та ССС-750 посилювала зазначену динаміку, і ступінь зниження вмісту вказаних форм вуглеводів становив відповідно 39, 38 та 50 % і 34, 27 та 57 %. Після обробки етиленпродуцентом 2-ХЕФК вміст суми та редукувальних цукрів у листках наприкінці досліджуваного періоду дещо зростав щодо контролю, а ступінь зниження вмісту вуглеводів становив відповідно 25, 14 та 46 %.

На фоні зменшення вмісту цукрів у вегетативних органах упродовж репродуктивного періоду спостерігалось їх накопичення у плодах як у контрольному, так і в дослідних варіантах (рис. 1, *з*). Результати наших досліджень свідчать, що більшою мірою EW-250 і меншою ССС-750 активізували накопичення цукрів і крохмалю у плодах баклажанів упродовж усього періоду дослідження порівняно з контролем. Разом з тим обробка 2-ХЕФК зменшувала вміст усіх форм цукрів і крохмалю у плодах на 14–18 %, що може мати відношення до зниження урожайності культури.

Посилення відтоку цукрів і крохмалю із вегетативних органів за дії ретардантів, а особливо за дії триазолпохідного препарату, можуть бути передумовою оптимізації продуктивності культури внаслідок перерозподілу синтезованих у листках пластичних сполук на користь господарсько-цінних органів — плодів. Нагромадження цукрів у листках баклажанів після застосування 2-ХЕФК може бути як причиною, так і наслідком зниження продуктивності культури. Головним чинником в даному випадку, на нашу думку, є надмірне гальмування ростових процесів цим препаратом із наступним зниженням листкової маси та площі листків, як основного донора фотоасимілятів, і зменшенням закладання плодів на рослині — визначального акцептора пластичних сполук, через що вони накопичуються у листках та інших вегетативних органах.

У науковій літературі зустрічаються дані про вплив інгібіторів росту на вміст різних форм вуглеводів в органах культурних рослин. Зокрема показано, що обробка рослин маніока триазолпохідними ретардантами триадимефоном і гексаконазолом у дозах 20 і 15 мг/л збільшувала вміст крохмалю у листках та бульбах на кінець вегетації відповідно на 12 і 21 % та 10 і 19 % [22]. За дії препаратів також зростав вміст редукувальних та нередукувальних цукрів у листках і бульбах. Триазоли підвищували активність крохмальної фосфорилази, інвертази та цукрозосинтетази у листках і бульбах маніока. Рослини лілії сорту Сорбона у вегетаційних умовах обробляли ретардантами РР333 та ССС у дозі 300 мг/л на шостий тиждень після посадки. Встановлено, що у листках накопичувалася цукроза і зменшувався вміст крохмалю як у досліді, так і в контролі. Ретарданти посилювали накопичення цукрози і практично не впливали на вміст крохмалю у листках, тоді як у цибулинах за дії інгібіторів гібереліну відбувалося збільшення вмісту як цукрози, так і крохмалю, особливо у другій половині вегетації. Причому вплив ССС був істотнішим [24].

Посилення накопичення вуглеводів у плодах за дії інгібіторів гібереліну фіксували й інші дослідники. Зокрема, застосування дифенокназолу підвищувало вміст розчинного цукру в плодах томатів

[25]. Обробка гірчиці РР333 у концентраціях 5, 10 та 20 мкг/кг у фазу бутонізації (ВВСН 51) збільшувала вміст цукрів та крохмалю у стручках [26]. Цей самий препарат у концентрації 2,5 мл/рослину на культурі літчі сорту Бомбей в умовах Індії збільшував загальний вміст цукрів у плодах [27]. Вищі концентрації ретарданту знижували їх вміст. ССС (500, 1000, 2000 ppm) та РР333 (2,5, 5 та 7,5 ppm) збільшували вміст суми цукрів у плодах цієї ж культури за рахунок нередукувальних форм на 14—17 % та 17—24 % відповідно. Водночас вміст редукувальних цукрів за дії ССС та РР333 зменшувався на 24 % та 18 % відповідно [28].

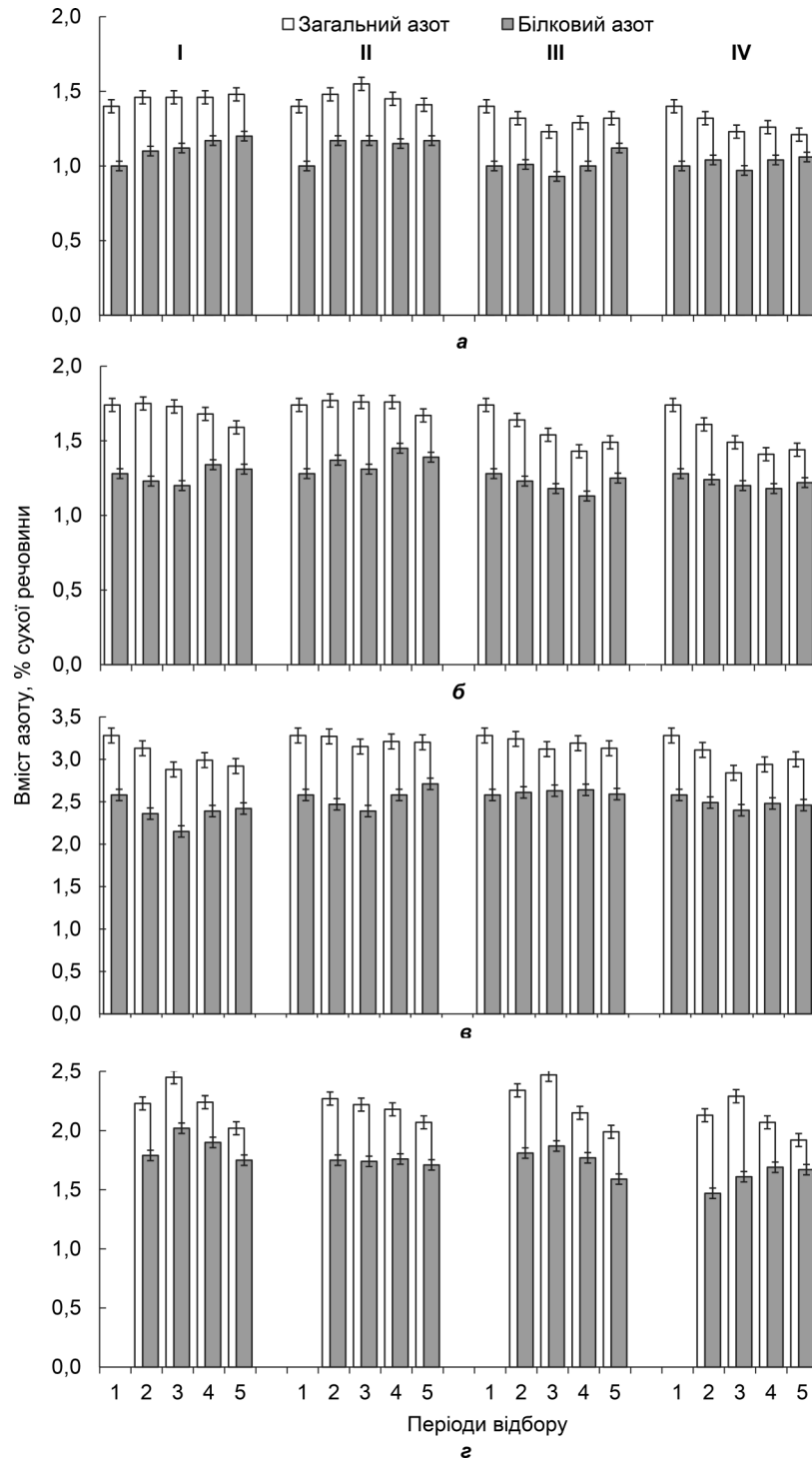
*Динаміка вмісту загального і білкового азоту в окремих органах рослини.* Цілісність рослинного організму базується на активному обміні мінеральних та органічних речовин між вегетативними й генеративними органами. Разом з тим особливості надходження елементів мінерального живлення та їх перерозподіл між вегетативними й генеративними органами при змінах напруженості донорно-акцепторних відносин під впливом інгібіторів росту залишаються значною мірою нез'ясованими. Недостатньо вивчені питання перерозподілу азотовмісних сполук між вегетативними та генеративними органами рослин овочевих пасльонових культур у процесі вегетації за дії інгібіторів росту, що відрізняються механізмом дії [29].

У зв'язку з цим актуальним є з'ясування дії антигіберелінів на накопичення і перерозподіл азоту по органах рослини в процесі вегетації. Результати наших досліджень свідчать, що найбільший вміст азотовмісних сполук спостерігався у листках, а найменший — у коренях, як у контролі, так і в досліді (рис. 2). Вміст загального азоту в органах контрольних і дослідних рослин баклажанів упродовж вегетації здебільшого зменшувався чи виявляв таку тенденцію переважно за рахунок небілкової форми.

У коренях рослин контрольного варіанта відбувалося накопичення білкової форми азоту на фоні неістотного підвищення вмісту загального азоту (рис. 2, а). У варіанті із застосуванням 2-ХЕФК вміст загального та білкового азоту вірогідно не відрізнявся від контролю. За обробки EW-250 і ССС-750 вміст всіх форм азоту в корені впродовж досліджуваного періоду був вірогідно меншим від контролю. Зокрема, у фазі активного формування плодів (ВВСН 73—74) за обробки EW-250 і ССС-750 вміст загального білкового та небілкового азоту був меншим ніж у контролі відповідно на 12 та 29 % і 18 та 46 %. На нашу думку, причиною зниження вмісту всіх форм азоту у варіантах із ретардантами є посилений відтік азотовмісних сполук до генеративних органів — плодів, що саме активно ростуть у цей час і кількість яких за обробки препаратами була істотно більшою ніж у контролі.

У стеблах баклажанів за дії етиленпродуценту спостерігалось збільшення вмісту білкової форми азоту, зменшення небілкової, а загальний вміст азоту здебільшого не відрізнявся від контролю (рис. 2, б). EW-250 і ССС-750 на 6—20 % зменшували вміст загального азоту в стеблах баклажанів щодо контролю переважно за рахунок небілкової форми. Вміст білкового азоту у стеблах мав лише тенденцію до зменшення або наближався до контролю.

ДИНАМІКА ВМІСТУ ВУГЛЕВОДІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ



**Рис. 2.** Вплив інгібіторів гібереліну на вміст азоту в органах рослин баклажанів сорту Алмаз (середні дані за 2013—2015 рр.)

2-XEФК та EW-250 збільшували вміст загального азоту в листках за рахунок білкової форми (рис. 2, в). Одночасно вміст небілкового азоту за дії цих препаратів був меншим ніж у контролі. На на-

шу думку, вищі показники білкового азоту у листках рослин, оброблених антигіберелінами, можуть свідчити про краще забезпечення метаболічних процесів (у тому числі фотосинтетичних) ферментативним апаратом. Зростання вмісту білкового азоту цілком узгоджується із вищим вмістом хлорофілів у листках рослин баклажанів, що зазнали впливу інгібіторів гібереліну, та активністю фотосинтетичних процесів.

ССС-750 зменшував вміст загального та білкового азоту у плодах баклажанів (рис. 2, з). За обробки EW-250 вміст загального азоту наближався до контролю, а білкова його форма зменшувалася. За дії 2-ХЕФК показники не відзначалися однозначністю. За дії всіх антигіберелінів у плодах істотно зростав вміст небілкового азоту. На нашу думку, причиною такого явища є посилене накопичення у плодах специфічних азотовмісних сполук глікозидів (соланіну, соламаргіну та соласоніну), характерних саме для культури баклажана.

Відомо про вплив ретардантів на вміст азотистих сполук у різних органах сільськогосподарських культур. Показано, що обробка рослин перлового проса на 20-й день після появи сходів онієвим ретардантом цикоцелем (ССС) у концентрації 60 мМ підвищувала вміст білків у листках упродовж вегетації на 15–79 % [30]. Водночас відзначено зменшення вмісту проліну та інших вільних амінокислот, що могло вказувати на інтенсивніше їхнє використання для синтезу білків і ферментів. Обробка посівів кукурудзи ССС та 2-диетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром впливала на накопичення та перерозподіл білків у вегетативних органах. У процесі вегетації відбувався поступовий відтік білків від вегетативних органів, вочевидь до генеративних, як у контролі, так і у варіанті з інгібіторами росту. Ретарданти підвищували вміст білків у вегетативних органах. Максимальні значення цього показника було зафіксовано в середині вегетації (30-та доба після обробки препаратами) [7].

*Активність фотосинтетичних процесів.* Підвищення вмісту білкового азоту в листках за дії ретардантів супроводжувалося підвищенням активності фотосинтетичних процесів. Дослідження інтенсивності асиміляції  $\text{CO}_2$  в листках рослин баклажанів за дії інгібіторів гібереліну свідчить, що у фазу активного формування плодів за обробки 2-ХЕФК, EW-250 та ССС-750 відбувалося вірогідне підвищення цього показника відповідно на 36, 70 та 43 % (табл. 2). Схожі ефекти спостерігалися нами і на культурі перцю солодкого [31] та томатів [32].

Вплив інгібіторів росту на активність первинних фотохімічних процесів ФС II і швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах, що визначалися за параметрами індукції флуоресценції хлорофілу, був слабше виражений порівняно з показниками  $\text{CO}_2$ -газообміну. Максимальна квантова ефективність ФС II ( $F_v/F_m$ ), яка слугує критерієм стану реакційних центрів ФС II, виявляла тенденцію до певного зростання меншою мірою після застосування ССС-750 і більшою за дії EW-250 (див. табл. 2). Обробка 2-ХЕФК істотно знижувала максимальну квантову ефективність ФС II, що може бути зумовлено процесами фотоінгібування і фотопошкодження, які відбувалися в період перед вимірюванням, і були пов'язані зі зниженням

активності ростових процесів і загального використання фотоасимілятив на фоні достатнього вмісту хлорофілу (див. табл. 1).

Діюча квантова ефективність ФС II, що характеризує функціональну активність її реакційних центрів, у фазу формування плодів (ВВСН 71) за обробки ССС-750 перевищувала контроль на 20 % та була на 24 % меншою за контроль у варіанті із застосуванням ретарданту 2-ХЕФК (див. табл. 2). За обробки ретардантом EW-250 проявлялася певна тенденція до зростання показника. Водночас нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (NPQ), що є показником непродуктивних втрат поглинутої світлової енергії через теплову дисипацію, яка має регуляторне значення, мало тенденцію до зниження після застосування 2-ХЕФК, а після обробки ССС-750 та EW-250 практично не змінювалося (див. табл. 2). Подібну дію на параметри індукції флуоресценції хлорофілу ми фіксували й на інших овочевих пасльонових культурах [31, 32].

Швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах вірогідно зростала при застосуванні ССС-750 і EW-250 на 20 і 14 % та знижувалася за обробки 2-ХЕФК (24 %) (див. табл. 2). Цікаво відзначити, що зменшення активності транспорту електронів за дії 2-ХЕФК відбувалося за зростання інтенсивності асиміляції CO<sub>2</sub>, що свідчить про підвищення ефективності використання енергетичних кофакторів, насамперед НАДФН, в процесах асиміляції CO<sub>2</sub>. Оскільки найбільшим альтернативним споживачем фотосинтетичної енергії є фотодихання [33], можна припустити, що саме з цим процесом пов'язане підвищення енергетичної ефективності фотосинтезу за обробки 2-ХЕФК. Виявлені особливості в даному варіанті можуть бути зумовлені змінами в фотосинтетичному і гліколатному метаболізмах, а також у реасиміляції, виділеного при фотодиханні CO<sub>2</sub>, внаслідок змін анатомічної структури листка та/або фотосинтезувальних тканин і клітин.

У цьому зв'язку варто наголосити також, що за дії 2-ХЕФК знижувалися як фотохімічні (квантова ефективність ФС II), так і регуляторні нефотохімічні (NPQ) витрати поглинутої світлової енергії (див. табл. 2). Детальний аналіз квантових виходів компонентів нефотохімічних витрат виявив, що в даному варіанті на 44 % зростав квантовий вихід нерегульованої дисипації енергії ( $\Phi_{NO}$ ). Показано, що підвищення цього компонента витрат характерне за умов низько-

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив інгібіторів гібереліну на показники активності фотосинтетичного апарату в листках баклажанів сорту Алмаз у фазу цвітіння—формування плодів (ВВСН 71)

Варіанти	A, мг CO <sub>2</sub> /(дм <sup>2</sup> × год)	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	Φ	J, мкмоль CO <sub>2</sub> /(м <sup>2</sup> × с)
Контроль	11,1±0,6	0,702±0,023	0,409±0,021	107,4±2,81
2-ХЕФК	15,2±0,7*	0,571±0,012*	0,310±0,012*	81,4±2,02*
EW-250	18,9±0,9*	0,730±0,016	0,467±0,012	122,6±3,03*
ССС-750	15,9±0,8*	0,710±0,024	0,492±0,022*	129,2±2,88*

Примітка: A — інтенсивність асиміляції CO<sub>2</sub>; F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> — максимальна квантова ефективність ФС II; Φ — діюча квантова ефективність ФС II; J — інтенсивність лінійного транспорту електронів у хлоропластах, NPQ — нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (n = 3, x ± SE).

го фотодихання і зменшення використання енергії в процесах асиміляції  $\text{CO}_2$  [34].

Відомо про вплив ретардантів на фотосинтетичні показники, які обчислюються за параметрами індукції флуоресценції хлорофілу. Зокрема, за обробки рослин кукурудзи ССС та 2-диетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром підвищувався коефіцієнт фотохімічного гасіння та знижувався коефіцієнт нефотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу. При застосуванні ССС початкова флуоресценція хлорофілу ( $F_0$ ) мала тенденцію до зниження або вірогідно не змінювалася, максимальний квантовий вихід фотохімічних реакцій у ФС II та фактичний квантовий вихід мали тенденцію до зростання або вірогідно зростали. За обробки 2-диетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром  $F_0$  вірогідно знижувалася, а квантова ефективність фотохімічних реакцій ФС II зростала [7]. В інших дослідженнях фоліарна обробка рослин батату РР333 у дозах 17, 34 і 51 мкМ за умов нестачі вологи призводила до зростання варіабельної флуоресценції хлорофілу. Виявлено позитивну кореляцію між фактичним квантовим виходом електронів у ФС II та інтенсивністю фотосинтезу [35].

*Динаміка вмісту фосфору і калію в окремих органах рослин.* Аналіз динаміки фосфору та калію в органах рослин баклажанів свідчить, що обробка інгібіторами гібереліну змінювала накопичення і ремобілізацію цих макроелементів в окремих органах рослини (рис. 3, 4).

У рослин контрольного варіанта вміст фосфору в стеблах і коренях мав тенденцію до підвищення на ранніх етапах плодоутворення, а потім різко знижувався, відтворюючи процеси ремобілізації елемента (див. рис. 3). У плодах також відзначено значне зростання вмісту фосфору на початку їх розвитку та істотне зниження в подальшому, що можна пояснити ефектом «розбавлення» в процесі росту і розвитку плода. Водночас у листках вміст фосфору впродовж досліджуваного періоду послідовно і стрімко знижувався.

Обробка рослин інгібіторами синтезу гібереліну ССС-750 і, особливо, EW-250 активізували відтік фосфору із кореня. Схожою була дія цих ретардантів на динаміку вмісту фосфору і в стеблі баклажанів, проте на пізніших етапах плодоношення вміст елемента стабілізувався за дії EW-250 чи навіть зростав за обробки ССС-750. Обробка рослин етиленпродуцентом 2-ХЕФК незначно впливала на накопичення фосфору в корені та стеблі в першій половині досліджуваного періоду і гальмувала відтік із стебла наприкінці. На кінець досліджуваного періоду за обробки 2-ХЕФК та ССС-750 вміст фосфору у стеблі перевищував контрольний показник на 31 та 24 % відповідно. За дії EW-250 показник мав невелику тенденцію до зростання.

Усі антигіберелінові препарати сприяли збереженню вмісту фосфору в листках упродовж усієї вегетації, що, найімовірніше, пов'язано із необхідністю забезпечення активніших фотосинтетичних процесів у рослин дослідних варіантів. У фазу активного формування плодів (ВВСН 73) найбільшим вміст фосфору у листках баклажанів був при застосуванні ретардантів EW-250 (40 %) та ССС-750 (29 %). Такі результати цілком узгоджуються із високими показниками

ДИНАМІКА ВМІСТУ ВУГЛЕВОДІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ

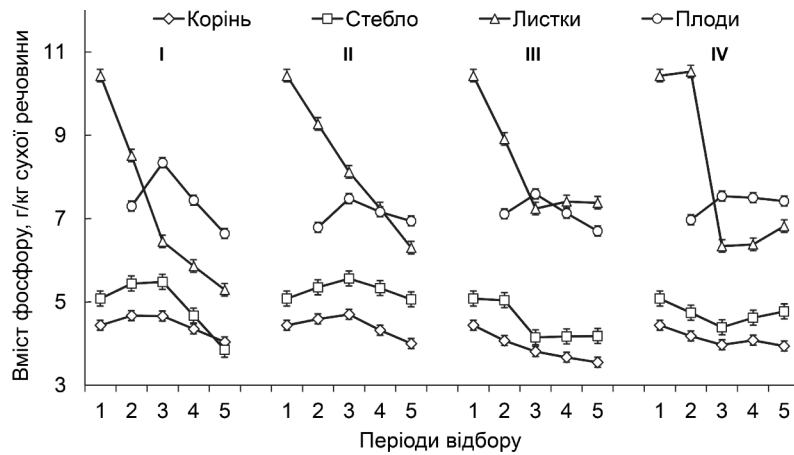


Рис. 3. Вплив інгібіторів гібереліну на вміст фосфору в органах рослин баклажанів сорту Алмаз (середні дані за 2013–2015 рр.)

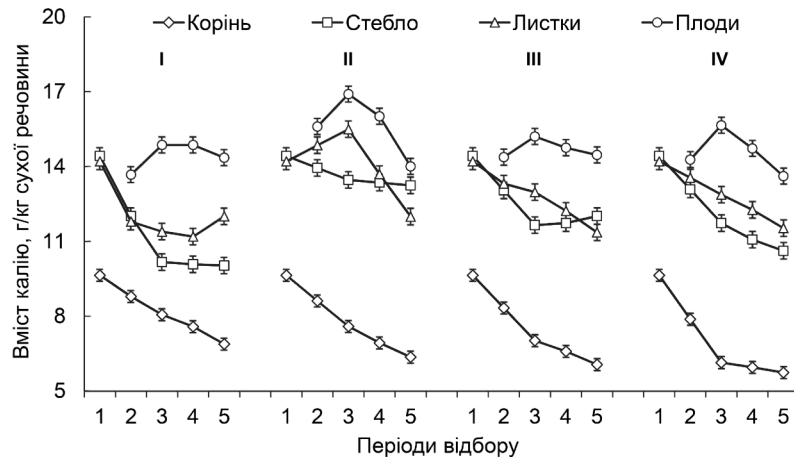


Рис. 4. Вплив інгібіторів гібереліну на вміст калію в органах рослин баклажанів сорту Алмаз (середні дані за 2013–2015 рр.)

вмісту хлорофілу у листках та показниками фотосинтетичної активності за обробки ретардантами.

Аналіз вмісту фосфору у плодах баклажанів свідчить, що інгібітори гібереліну зменшували або практично не змінювали його вміст (див. рис. 3). Найістотніше зменшення фосфору у плодах спостерігалося за обробки ССС-750. На нашу думку, це пов'язано із «біорозбавленням» внаслідок більшої закладки плодів на рослинах і формування більших плодів після застосування антигіберелінів.

Вміст калію у вегетативних органах контрольних рослин баклажана різко знижувався на початку репродуктивного періоду, а потім стабілізувався в листках і стеблах, проте продовжував знижуватись в коренях (див. рис. 4). У плодах вміст елемента зростав на початку їх росту, а потім дещо знижувався.

Обробка ретардантами пришвидшувала відтік калію із кореня. Його вміст у кінці досліджуваного періоду в корені рослин, обробле-

них 2-ХЕФК, EW-250 і ССС-750, був нижчим за контроль на 8, 12 і 18 %, відповідно. Натомість вміст калію у стеблах рослин дослідних варіантів упродовж досліджуваного періоду вірогідно перевищував контрольний показник.

Вміст калію у листках рослин, оброблених ретардантами EW-250 і ССС-750, послідовно знижувався впродовж репродуктивного періоду, хоча на його початку був дещо вищим, ніж у контролі, але у фазу активного формування плодів (в кінці досліджуваного періоду) у рослин цих варіантів спостерігався швидкий відтік елемента з листків. У варіанті з 2-ХЕФК вміст калію в листках зростав упродовж 20 діб, а потім теж різко знижувався. В кінці досліджуваного періоду показник у варіантах досліду був на 9–13 % меншим, ніж у контролі.

Вміст калію у плодах за обробки 2-ХЕФК був вищим порівняно з контролем, а при застосуванні інгібіторів синтезу гібереліну EW-250 та ССС-750 практично не відрізнявся від контролю. Очевидно, це було пов'язано, в тому числі, й з більшою кількістю та загальною масою плодів.

Встановлено, що ретарданти EW-250 та ССС-750 збільшували кількість плодів на рослині на 27 та 30 % (табл. 3). Застосування етиленпродуценту 2-ХЕФК зменшувало кількість плодів на рослині на 12 %. Середня маса одного плоду вірогідно зростала за обробки EW-250 (на 12 %). За дії інших препаратів спостерігалася лише тенденція до зростання маси плоду. Загальна маса плодів з однієї рослини найбільшою була за обробки триазолпохідним препаратом (зростання на 43 %). Після застосування ССС-750 показник зростав на 40 %, а за дії 2-ХЕФК спостерігалася тенденція до зниження урожайності плодів баклажанів (на 6 %).

Отже, обробка антигібереліновими препаратами рослин баклажанів у фазу бутонізації гальмувала лінійний ріст, збільшувала масу листків та площу асиміляційної поверхні, сприяла синтезу хлорофілів, активізації фотосинтетичних процесів. Ретарданти EW-250 та ССС-750, на відміну від 2-ХЕФК, збільшували кількість плодів, масу плоду і продуктивність рослин. Інгібітори гібереліну посилювали накопичення вуглеводів у коренях на початку та в середині репродуктивного періоду та інтенсифікували їх відтік наприкінці. EW-250 та ССС-750 сприяли накопиченню вуглеводів у плодах.

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив інгібіторів гібереліну на структуру врожаю рослин баклажанів сорту Алмаз (середні дані за 2013–2015 рр.)

Показник	Контроль	2-ХЕФК	EW-250	ССС-750
Кількість плодів на рослині, шт.	4,04±0,18	3,58±0,15	5,13±0,22*	5,24±0,24*
Середня маса одного плоду, г	136,0±3,1	141,4±3,3	151,6±3,8*	143,0±3,7
Маса плодів з однієї рослини, г	552,3±26,9	518,3±25,3	787,0±38,3*	769,0±38,2*
Урожайність плодів, т/га	36,4±1,2	34,3±1,1	52,4±2,2*	51,2±2,1*



Інгібітори синтезу гібереліну EW-250 та ССС-750 посилювали відтік азоту від коренів і стебел та його накопичення у листках, що поліпшувало формування активного фотосинтетичного апарату. Ці самі ретарданти, на відміну від 2-ХЕФК, інтенсифікували ремобілізацію фосфору та, особливо, калію із коренів до надземної частини рослин. При цьому калій за дії усіх трьох інгібіторів гібереліну більше накопичувався у стеблах, а фосфор — у листках баклажанів.

Отримані дані свідчать, що інгібітори синтезу гібереліну EW-250 та ССС-750 можуть слугувати ефективними регуляторами ростових процесів, стимуляторами фотосинтетичної активності накопичення і перерозподілу поживних речовин у рослин баклажана для поліпшення їх продуктивності.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Mohorović P., Vaughan-Hirsch J., Ceusters J., Van de Poel B. The role of ethylene in photosynthate partitioning and source-sink modulation in crops. The Plant Hormone Ethylene. Khan N.A., Ferrante A. Munné-Bosch S. (Eds.). New York: Academic Press, 2023. P. 23–39. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85846-5.00010-2>
2. Singh S.K., Nath V., Marboh E.S., Sharma S. Source-sink relationship in litchi verses mango: a concept. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2017. **6** (3). P. 500–509. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.058500>
3. Киризий Д.А. Фотосинтез и рост растений в аспекте донорно-акцепторных отношений. Киев: Логос, 2004. 191 с.
4. Kim S.-K., Han C.-M., Shin J.-H., Kwon T.-Y. Effects of paclobutrazol and prohexadione-ca on seed yield, and content of oils and gibberellin in flax grown in a greenhouse. *Kor. J. Crop Sci.* 2018. **63** (3). P. 265–271. <https://doi.org/10.7740/KJCS.2018.63.3.265>
5. Mohanta H.C., Hossain M.M., Islam M.S., Salam M.A., Saha S.R. Effect of plant growth regulators on seed yield of carrot. *Ann. Bangl. Agricult.* 2015. **19**. P. 23–31.
6. Кур'ята В. Г. Ретарданти — модификатори гормонального статусу рослин. Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку. Т.І. Київ: Логос, 2009. С. 565–587.
7. Rogach V.V., Kuryata V.G., Kosakivska I.V., Voitenko L.V., Shcherbatyuk M.M., Rogach T.I. Morphogenesis, pigment content, phytohormones and yield of tomatoes under the action of gibberellin and tebuconazole. *Bio. Diver.* 2022. **30** (2). P. 150–156. <https://doi.org/10.15421/012215>
8. Rogach V.V., Kuryata V.G., Kosakivska I.V., Voitenko L.V., Shcherbatiuk M.M., Rogach T.I. Morphogenesis, pigment content, phytohormones and productivity of sweet pepper under the action of gibberellin and tebuconazole. *Reg. Mech. Bio.* 2021. **12** (2). P. 294–301. <https://doi.org/10.15421/022139>
9. Rogach V.V., Voytenko L.V., Shcherbatiuk M.M., Kosakivska I.V., Rogach T.I. Morphogenesis, pigment content, phytohormones and productivity of eggplants under the action of gibberellin and tebuconazole. *Reg. Mech. Bio.* 2020. **11** (1). P. 116–122. <https://doi.org/10.15421/022017>
10. Wang Y., Gu W., Xie T., Li L., Sun Y., Zhang H., Li J., Wei S. Mixed compound of DCPTA and CCC increases maize yield by improving plant morphology and up-regulating photosynthetic capacity and antioxidants. *PLoS One.* 2016. **11**, N 2. e0149404. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149404>
11. Hua S., Zhang Y., Yu H., Lin B., Ding H., Zhang D., Renand Y., Fang Z. Paclobutrazol application effects on plant height seed yield and carbohydrate metabolism in canola. *Int. J. Agricult. Biol.* 2014. **16** (3). P. 471–479.
12. Ouzounidou G., Ilias I., Giannakoula A., Papadopoulou P. Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum annuum* L. *Pak. J. Bot.* 2010. **42**, N 2. P. 805–814.
13. Wang H.S., Sun H.M. The research on plant growth retardants improving drought resistance of *Solanum integrifolium* Poir. *Chin. Agricult. Sci. Bulletin.* 2012. **28**, N. 7. P. 126–132. <https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.2011-3423>

14. Мірошніченко І.М., Маковейчук Т.І., Михальська Л.М., Швартау В.В. Зміни елементного складу рослин пшениці озимої за дії Мегафолу та ретардантів. *Reg. Mech. Bio.* 2017. **8**, № 3. С. 403—409. <https://doi.org/10.15421/021762>
15. Matysiak K., Kaczmarek S. Effect of chlorocholine chloride and triazoles — tebuconazole and flusilazole on winter oilseed rape (*Brassica napus var. oleifera* L.) in response to the application term and sowing density. *J. Plant Prot. Res.* 2013. **53** (1). P. 79—88. <https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0012>
16. Tidemann B.D., O'Donovan J.T., Izydorczyk M., Turkington T.K., Oatway L., Beres B., Mohr R., May W.E., Harker K.N., Johnson E.N., de Gooijer H. Effects of plant growth regulator applications on malting barley in western Canada. *Canad. J. Plant Sci.* 2020. **100** (6). P. 653—665. <https://doi.org/10.1139/cjps-2019-0200>
17. Albuquerque T.C.S., Mouco M.A.D.C., Neto A.A.A. Plant growth regulators on macronutrients in Itália grapes. *Bragantia.* 2008. **67** (3). P. 553—561. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000300001>
18. Mazher A.A.M., Abdel-Aziz N.G., El-Maadawy E.I., Nasr A.A., El-Sayed S.M. Effect of gibberellic acid and paclobutrazol on growth and chemical composition of *Schefflera arboricola* plants. *Middle East J. Agricult. Res.* 2014. **3** (4). P. 782—792. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/9/092001>
19. Narvariya S.S., Singh C.P. Cultar (P333) a boon for mango production — a review. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2018. **7** (2). P. 1552—1562. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2018.702.187>
20. Казаков Є.О. Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 272 с.
21. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Plant Physiol.* 1994. **144**. P. 307—313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
22. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наукова думка, 1976. 334 с.
23. Busch F.A., Ainsworth E.A., Amtmann A., Cavanagh A.P., Driever S.M., Ferguson J.N., Kromdijk J., Lawson T., Leakey A.D.B., Matthews J.S.A., Meacham-Hensold K., Vath R.L., Violet-Chabrand S., Walker B.J., Papanatsiou M. A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. *Plant, Cell & Env.* 2024. **47**. P. 1—21. <https://doi.org/10.1111/pce.14815>
24. Brestic M., Zivcak M. PSII Fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. In: Rout G., Das A. (Eds.). *Molecular Stress Physiol. Plants*. Springer, India, 2013, P. 87—131. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5_4)
25. Мехед О.Б., Ткаченко О.В.. Математичні методи в біології: методичні рекомендації для студентів природничих спеціальностей. Чернігів: НУЧК, 2020. 93 с.
26. Gomathinayagam M., Jaleel C.A., Lakshmanan G.M.A., Panneerselvam R. Changes in carbohydrate metabolism by triazole growth regulators in cassava (*Manihot esculenta* Crantz); effects on tuber production and quality. *Comptes Rendus Biol.* 2007. **330** (9). P. 644—655. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.06.002>
27. Zheng R., Wu Y., Xia Y. Chlorocholine chloride and paclobutrazol treatments promote carbohydrate accumulation in bulbs of *Lilium Oriental* hybrids «Sorbonne». *J. Zhejiang Un-ty. Sci. B (Biomed. & Biotechnol.)*. 2012. **13** (2). P. 136—144. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1000425>
28. Zheng M., Deng Y., Zhou Y., Liu R., Liu Y., Wang H., Zhu W., Zhou Z., Diao J. Multifaceted effects of difenoconazole in tomato fruit ripening: Physiology, flavour and nutritional quality. *Plant Physiol. Biochemistry.* 2023. **194**. P. 223—235. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.11.015>
29. Setia R.C., Kaur P., Setia N., Anuradha. Influence of paclobutrazol on growth and development of fruit in *Brassica juncea* (L.) Czern and Coss. *Plant Growth Reg.* 1996. **20** (3). P. 307—316. <https://doi.org/10.1007/BF00043323>
30. Bhatia S.O., Choudhury A.G., Hasan M.A. Paclobutrazol in improving productivity and quality of litchi. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2017. **6**, N 8. P. 1622—1629. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2017.608.195>
31. Singh B., Singh S., Sandhu S. Effect of growth retardants on vegetative growth, flowering and fruiting of litchi cv. Calcuttia. *Hort Flora Res. Spect.* 2012. **1** (1). P. 29—33.

32. Рогач В.В., Кравець О.О., Буйна О.І., Кур'ята В.Г. Динаміка накопичення та перерозподілу різних форм вуглеводів та азоту в органах томатів за обробки ретардантами. *Reg. Mech. Bio.* 2018. **9**, № 2. С. 293—299. <https://doi.org/10.15421/021843>
33. Kumari S. Effect of Kinetin (6-FAP) and Cycocel (CCC) on growth, metabolism and cellular organelles in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) under water stress. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2017. **6**, N 8. P. 2711—2719. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2017.608.325>
34. Рогач В.В., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Ситник С.К., Кур'ята В.Г., Рогач Т.І. Вплив регуляторів росту на фотосинтетичний апарат перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.) в зв'язку з продуктивністю. *Фізіологія рослин і генетика.* 2023. **55**, № 1. С. 25—45. <https://doi.org/10.15407/frg2023.01.025>
35. Rohach V.V., Kuryata V.G., Kiriziy D.A., Sytnyk S.K., Grabyk I.H., Kaitanyuk O.V., Tarasyuk M.V., Rohach T.I. Effect of antigibberellins on morphogenesis, photosynthetic apparatus, productivity and their residual content in tomato fruits. *Bio. Diver.* 2023. **31** (2). P. 191—201. <https://doi.org/10.15421/012320>
36. Стасик О.О. Фотодыхание: метаболизм и физиологическая роль. Современные проблемы фотосинтеза. Т. 2. Аллахвердиев С.И., Рубин А.Б., Шувалов В.А. (Ред.). Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2014. С. 505—535.
37. Kramer D.M., Johnson G., Kiirats O., Edwards G.E. New fluorescence parameters for the determination of  $Q_A$  redox state and excitation energy fluxes. *Photos. Res.* 2004. **79** (2). P. 209—218. <https://doi.org/10.1023/b:pres.0000015391.99477.0d>
38. Yooyongwech S., Samphumphuang T., Tisarum R., Theerawitaya C., Cha-Um S. 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.* 2017. **8**, 1400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01400>

Отримано 20.07.2024

## REFERENCES

1. Mohorović, P., Vaughan-Hirsch, J., Ceusters, J. & Vande Poel, B. (2023). The role of ethylene in photosynthate partitioning and source-sink modulation in crops. In: Khan, N.A., Ferrante, A. & Munné-Bosch, S. (Eds.). *The Plant Hormone Ethylene* (pp. 23-39), New York: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85846-5.00010-2>
2. Singh, S.K., Nath, V., Marboh, E.S. & Sharma, S. (2017). Source-sink relationship in litchi versus mango: a concept. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **6** (3), pp. 500-509. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.058500>
3. Kiriziy, D.A. (2004). *Photosynthesis and plant growth in the aspect of source-sink relationships*. Kyiv: Logos [in Russian].
4. Kim, S.-K., Han, C.-M., Shin, J.-H. & Kwon, T.-Y. (2018). Effects of paclobutrazol and prohexadione-ca on seed yield, and content of oils and gibberellin in flax grown in a greenhouse. *Kor. J. Crop Sci.*, **63** (3), pp. 265-271. <https://doi.org/10.7740/KJCS.2018.63.3.265>
5. Mohanta, H.C., Hossain, M.M., Islam, M.S., Salam, M.A. & Saha, S.R. (2015). Effect of plant growth regulators on seed yield of carrot. *Ann. Bangl. Agricult.*, **19**, pp. 23-31.
6. Kuriata, V.H. (2009). Retardants as modifiers of the hormonal status of plants. In: *Fiziolohiia roslin: problemy ta perspektyvy rozvytku*. V.1. (pp. 565-587). Kyiv: Logos [in Ukrainian].
7. Rogach, V.V., Kuryata, V.G., Kosakivska, I.V., Voitenko, L.V., Shcherbatyuk, M.M. & Rogach, T.I. (2022). Morphogenesis, pigment content, phytohormones and yield of tomatoes under the action of gibberellin and tebuconazole. *Bio. Diver.*, **30** (2), pp. 150-156. <https://doi.org/10.15421/012215>
8. Rogach, V.V., Kuryata, V.G., Kosakivska, I.V., Voitenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M. & Rogach, T.I. (2021). Morphogenesis, pigment content, phytohormones and productivity of sweet pepper under the action of gibberellin and tebuconazole. *Regul. Mech. Bio.*, **12** (2), pp. 294-301. <https://doi.org/10.15421/022139>
9. Rogach, V.V., Voytenko, 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. *Reg. Mech. Bio.*, 11 (1), pp. 116-122. <https://doi.org/10.15421/022017>
10. 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 up-regulating photosynthetic capacity and antioxidants. *PLoS One*, 11, No. 2, e0149404. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149404>
  11. Hua, S., Zhang, Y., Yu, H., Lin, B., Ding, H., Zhang, D., Renand, Y. & Fang, Z. (2014). Paclobutrazol application effects on plant height seed yield and carbohydrate metabolism in canola. *Int. J. Agricult. Biol.*, 16 (3), pp. 471-479.
  12. Ouzounidou, G., Ilias, I., Giannakoula, A. & Papadopoulou, P. (2010). Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum annuum* L. *Pak. J. Bot.*, 42, No. 2, pp. 805-814.
  13. Wang, H.S. & Sun, H.M. (2012). The research on plant growth retardants improving drought resistance of *Solanum integrifolium* Poir. *Chin. Agricult. Sci. Bulletin*, 28, No. 7, pp. 126-132. <https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.2011-3423>
  14. Miroshnichenko, I.M., Makoveychuk, T.I., Mykhalska, L.M. & Schwartau, V.V. (2017). Changes in the elemental composition of winter wheat plants caused by the action of Megafol and retardants. *Reg. Mech. Bio.*, 8, No. 3, pp. 403-409 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/021762>
  15. Matysiak, K. & Kaczmarek, S. (2013). Effect of chlorocholine chloride and triazoles — tebuconazole and flusilazole on winter oilseed rape (*Brassica napus* var. *oleifera* L.) in response to the application term and sowing density. *J. Plant Protect. Res.*, 53 (1), pp. 79-88. <https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0012>
  16. Tidemann, B.D., O'Donovan, J.T., Izydorczyk, M., Turkington, T.K., Oatway, L., Beres, B., Mohr, R., May, W.E., Harker, K.N., Johnson, E.N. & de Gooijer, H. (2020). Effects of plant growth regulator applications on malting barley in western Canada. *Can. J. Plant Sci.*, 100 (6), pp. 653-665. <https://doi.org/10.1139/cjps-2019-0200>
  17. Albuquerque, T.C.S., Mouco, M.A.D.C. & Neto, A.A.A. (2008). Plant growth regulators on macronutrients in Itália grapes. *Bragantia*, 67 (3), pp. 553-561. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000300001>
  18. Mazher, A.A.M., Abdel-Aziz, N.G., El-Maadawy, E.I., Nasr, A.A. & El-Sayed, S.M. (2014). Effect of gibberellic acid and paclobutrazol on growth and chemical composition of *Schefflera arboricola* plants. *Middle East J. Agricult. Res.*, 3 (4), pp. 782-792.
  19. Narvariya, S.S. & Singh, C.P. (2018). Cultar (P333) a boon for mango production — a review. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 7 (2), pp. 1552-1562. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.187>
  20. Kazakov, E.A. (2000). Methodological bases of the experiment on plant physiology. Kyiv: Phytosociocenter [in Ukrainian].
  21. Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Plant Physiol.*, 144, pp. 307-313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
  22. Pochinok, Kh.N. (1976). *Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy*. Kyiv: Nauk. dumka [in Russian].
  23. Busch, F.A., Ainsworth, E.A., Amtmann, A., Cavanagh, A.P., Driever, S.M., Ferguson, J.N., Kromdijk, J., Lawson, T., Leakey, A.D.B., Matthews, J.S.A., Meacham-Hensold, K., Vath, R.L., Viallet-Chabrand, S., Walker, B.J. & Papanatsiou, M. (2024). A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. *Plant, Cell & Environm.*, 47, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1111/pce.14815>
  24. Brestic, M. & Zivcak, M. (2013). PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. In: Rout, G., Das, A. (Eds.). *Mol. Stress Physiol. Plants*. Springer, India, pp. 87-131. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5_4)
  25. Mekhed, O.B. & Tkachenko, O.V. (2020). *Matematychni metody v biolohii: metodychni rekomendatsii dlia studentiv pryrodnychkykh spetsialnostei*. Chernihiv: NUChK [in Ukrainian].
  26. Gomathinayagam, M., Jaleel, C.A., Lakshmanan, G.M.A. & Panneerselvam, R. (2007). Changes in carbohydrate metabolism by triazole growth regulators in cassava (*Manihot esculenta* Crantz); effects on tuber production and quality. *Comptes Rendus Biol.*, 330 (9), pp. 644-655. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.06.002>

27. Zheng, R., Wu, Y. & Xia, Y. (2012). Chlorocholine chloride and paclobutrazol treatments promote carbohydrate accumulation in bulbs of *Lilium Oriental* hybrids «Sorbonne». *J. Zhejiang Un-ty. Sci. B (Biomed. & Biotechnol.)*, 13(2), pp. 136-144. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1000425>
28. Zheng, M., Deng, Y., Zhou, Y., Liu, R., Liu, Y., Wang, H., Zhu, W., Zhou, Z. & Diao, J. (2023). Multifaceted effects of difenoconazole in tomato fruit ripening: Physiology, flavour and nutritional quality. *Plant Physiol. Biochemistry*, 4, pp. 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.11.015>
29. Setia, R.C., Kaur, P., Setia, N. & Anuradha. (1996). Influence of paclobutrazol on growth and development of fruit in *Brassica juncea* (L.) Czern and Coss. *Plant Growth Reg.*, 20 (3), pp. 307-316. <https://doi.org/10.1007/BF00043323>
30. Bhutia, S.O., Choudhury, A.G. & Hasan, M.A. (2017). Paclobutrazol in improving productivity and quality of litchi. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6, No. 8, pp. 1622-1629. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.195>
31. Singh, B., Singh, S. & Sandhu, S. (2012). Effect of growth retardants on vegetative growth, flowering and fruiting of litchi cv. Calcuttia. *HortFlora Res. Spectrum*, 1 (1), pp. 29-33.
32. Rogach, V.V., Kravets, O.O., Buinaya, O.I. & Kuryata, V.G. (2018). Dynamics of accumulation and redistribution of different forms of carbohydrates and nitrogen in organs of tomato plants under the action of retardants. *Reg. Mech. Bio.*, 9, No. 2, pp. 293-299 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/021843>
33. Kumari, S. (2017). Effect of Kinetin (6-FAP) and Cycocel (CCC) on growth, metabolism and cellular organelles in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) under water stress. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6, No. 8, pp. 2711-2719. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.325>
34. 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. *Plant Physiol. Genet.*, 55, No. 1, pp. 25-45. <https://doi.org/10.15407/frg2023.01.025> [in Ukrainian]
35. Rohach, V.V., Kuryata, V.G., Kiriziy, D.A., Sytnyk, S.K., Grabyk, I.H., Kaitanyuk, O.V., Tarasyuk, M.V. & Rohach, T.I. (2023). Effect of antigibberellins on morphogenesis, photosynthetic apparatus, productivity and their residual content in tomato fruits. *Bio. Diver.*, 31 (2), pp. 191-201. <https://doi.org/10.15421/012320>
36. Stasik, O.O. (2014). Photorespiration: Metabolism and the Physiological Role. In *Modern Photosynthetic Problems. V. 2* (pp. 505-535), Moscow-Izhevsk: Institute for Computer Res. [in Russian].
37. Kramer, D.M., Johnson, G., Kierats, O. & Edwards, G.E. (2004). New fluorescence parameters for the determination of  $Q_A$  redox state and excitation energy fluxes. *Photosynthes. Res.*, 79 (2), pp. 209-218. <https://doi.org/10.1023/b:pres.0000015391.99477.0d>
38. 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>

Received 20.07.2024

#### DYNAMICS OF THE CONTENT OF CARBOHYDRATES AND MINERAL NUTRITION ELEMENTS IN ORGANS OF EGGPLANT PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF RETARDANTS

*V.V. Rogach<sup>1</sup>, V.H. Kuryata<sup>1</sup>, T.I. Rogach<sup>1</sup>, O.O. Stasik<sup>2</sup>, D.A. Kiriziy<sup>2</sup>, S.K. Sytnyk<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Mykhailo Kotsiubynskyi Vinnytsia State Pedagogical University

32 Ostrozhsky St., Vinnytsia, 21100, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine

31/17 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

e-mail: rogachv@ukr.net

The peculiarities of the growth processes, the formation of leaf apparatus and redistribution of various forms of carbohydrates, nitrogen, phosphorus and potassium in the vegetative

organs and fruits of the Almaz variety of eggplant were studied. It was found that gibberellin inhibitors with different mechanisms of action — tebuconazole (EW-250) and chlormequat chloride (CCC-750) (blockers of gibberellin synthesis) and esphon (2-chloroethylphosphonic acid, 2-СЕРА) (inhibitor of the physiological action of the hormone) — reduced the growth parameters of plants. The most significant inhibitory effect (27 %) was observed with the use of 2-СЕРА. Gibberellin synthesis inhibitors — EW-250 and CCC-750 increased the number of leaves on the plant, their area and fresh weight of leaves, while 2-СЕРА decreased these indices. Under the action of EW-250 and CC-750 the chlorophyll content in eggplant leaves increased significantly, while the use of 2-СЕРА resulted only in a tendency to increase. All gibberellin inhibitors increased the accumulation of carbohydrates in roots at the beginning and in the middle of the reproductive period and intensified their efflux at the end. In contrast to 2-СЕРА, EW-250 and CCC-750 increased the accumulation of carbohydrates in fruits and the efflux of various forms of nitrogen from roots and stems, as well as their accumulation in leaves. Inhibitors of gibberellin synthesis — EW-250 and CC-750 increased the remobilization of phosphorus and especially potassium from the roots to the shoots of plants. Under the action of all three gibberellin inhibitors, potassium accumulated more in stems, and phosphorus accumulated more in leaves. The investigated retardants increased the CO<sub>2</sub> assimilation rate. Under the action of EW-250 and CC-750, the maximum quantum efficiency of PSII, the effective quantum efficiency of PSII, and the electron transport rate significantly increased (or such a trend was noted), while treatment of plants with 2-СЕРА decreased the parameters of photochemical activity of PSII. Retardants EW-250 and CCC-750 enhanced the productivity of eggplant plants due to the increase in the number of fruits per plant and the average weight of fruits, which led to an increase in productivity by 43 and 40 %, respectively. Under the action of 2-СЕРА, the yield of the crop had a tendency to decrease. The obtained data indicate that gibberellin synthesis inhibitors EW-250 and CCC-750 can be effectively used to enhance the productivity of eggplant plants.

*Key words:* *Solanum melongena* L., gibberellin inhibitors, leaf apparatus, source-sink relations, carbohydrates, nitrogen, phosphorus, potassium, photosynthesis, productivity.

#### 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>

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

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

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

**С.К. СИТНИК** — S.K. Sytnyk <https://orcid.org/0000-0002-6746-8711>