

<https://doi.org/10.15407/frg2023.03.234>

УДК (581.1:582.926.2):661.162.65/66

ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА МОРФОГЕНЕЗ, ФОРМУВАННЯ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ РОСЛИН БАКЛАЖАНА (*SOLANUM MELONGENA* L.)

В.В. РОГАЧ¹, О.О. СТАСИК², Д.А. КІРІЗІЙ², С.К. СИТНИК², В.Г. КУР'ЯТА¹,
Т.І. РОГАЧ¹, М.В. ТАРАСЮК²

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

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

Вивчали особливості росту, розвитку, формування листкового апарату, фотосинтезу, дихання, транспірації, зміни параметрів індукції флуоресценції хлорофілу (квантової ефективності фотосистеми II (ФС II) в адаптованих до темряви і світла листків, нефотохімічного гасіння флуоресценції (NPQ) та швидкості транспорту електронів у хлоропластах) рослин баклажанів під впливом ауксинового, гіберелінового і цитокінінового стимуляторів росту та антигіберелінових препаратів, що відрізняються механізмом дії. Показано, що обробка стимуляторами росту — 1-нафтилоцтовою кислотою (1-НОК), гібереловою кислотою (ГК₃) та 6-бензиламінопурином (6-БАП) — збільшувала лінійні розміри рослин, а інгібіторами гібереліну — хлормекватхлоридом (ССС-750), тебуконазолом (EW-250) і есфоном (2-хлоретилфосфонієва кислота, 2-ХЕФК) — зменшувала. Стимулятори росту та EW-250 збільшували кількість листків на рослині, масу сирі та сухої речовини листків, а СССР-750 та 2-ХЕФК — зменшували. Стимулятори росту збільшували площу листків, антигібереліни її зменшували. Інгібітори гібереліну та стимулятори росту 6-БАП і 1-НОК підвищували питому масу листка, а ГК₃ її зменшувала або не змінювала. Вміст суми хлорофілів достовірно зростає за обробки 6-БАП та EW-250 та достовірно знижувався після обробки ГК₃. Антигібереліни та 6-БАП підвищували інтенсивність асиміляції CO₂, активність фотодихання і темнове дихання та посилювали транспірацію. У фазу формування плодів більшість застосованих у дослідженні препаратів (крім 2-ХЕФК) підвищували ефективність використання води при фотосинтезі. Ретарданти СССР-750 і EW-250 підвищували квантову ефективність ФС II на світлі й швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах в період карпогенезу. Зроблено висновок, що під дією регуляторів росту всі зазначені позитивні зміни фізіологічних параметрів фотосинтетичного апарату рослин баклажана сприяють повнішій реалізації потенціалу продуктивності.

Ключові слова: *Solanum melongena* L., регулятори росту, морфогенез, листковий апарат, хлорофіл, фотосинтез, транспірація, індукція флуоресценції хлорофілу.

Цитування: Рогач В.В., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Ситник С.К., Кур'ята В.Г., Рогач Т.І., Тарасюк М.В. Вплив регуляторів росту на морфогенез, формування і функціонування фотосинтетичного апарату рослин баклажана (*Solanum melongena* L.). *Фізіологія рослин і генетика*. 2023. 55, № 3. С. 234—250. <https://doi.org/10.15407/frg2023.03.234>

Регуляція росту та розвитку рослин внаслідок застосування природних та синтетичних активаторів та інгібіторів, окрім гормональних змін, які безпосередньо впливають на анатомо-морфологічні характеристики, реалізується також через фотосинтетичний апарат, що забезпечує пластичними і енергетичними ресурсами продукційний процес.

У науковій літературі зустрічається інформація про вплив стимуляторів росту на процеси фотосинтезу, дихання та транспірації в основних сільськогосподарських культур. Замочування насіння рослин пшениці на 12 год у ГК₃ (50 мг/л) та ІОК (5 мг/л) за їх подальшого вирощування за умов 10 та 25 %-го засолення морською водою збільшувало вміст хлорофілів *a* і *b* у прапорцевих листках. Вміст каротиноїдів за дії препаратів практично не змінювався. Одночасно препарати підвищували інтенсивність реакції Хілла у прапорцевому листку відповідно на 25—30 та 30—37 % [1]. Обробка бавовнику ГК₃ у дозі $50 \cdot 10^{-6}$ М та 1-НОК у дозі $30 \cdot 10^{-6}$ М на 80-ту добу після посадки підвищувала інтенсивність фотосинтезу відповідно на 10—14 та 11—15 %, а також збільшувала вміст хлорофілів у листках відповідно на 6—27 та 2—24 % [2]. Обприскування рослин льону ГК₃ у дозі 10^{-6} М підвищувало фотосинтетичну активність на 10 % та ефективність використання води на 3—5 %. За дії препарату зростав вміст хлорофілу в листках на 20 % [3].

Застосування 6-БАП підвищувало фотохімічну активність ФС II, швидкість транспорту електронів у хлоропластах на 16—26 % та коефіцієнт фотохімічного гасіння у прапорцевому листку пшениці [4]. Обробка проростків огірка 6-БАП підвищувала інтенсивність фотосинтезу, продихову провідність та швидкість транспірації, тоді як концентрація CO₂ у міжклітинниках практично не змінювалася. Препарат підвищував максимальну квантову ефективність ФС II та практично не змінював потенційну квантову ефективність [5].

Кінетин у дозі 10 мкМ збільшував вміст каротиноїдів та суми хлорофілів у листках томатів за рахунок хлорофілу *a*. За дії препарату збільшувався квантовий вихід ФС II, підвищувалася активність транспорту електронів і фотохімічне гасіння та зменшувалося нефотохімічне. Одночасно зростала активність фотосинтетичної асиміляції CO₂, продихова провідність та інтенсивність транспірації [6]. Цей самий препарат за обробки проростків баклажанів у дозі 10 мкМ за умов токсичної дії кадмію нівелював його негативний вплив та підвищував вміст хлорофілів *a* і *b* у листках, а також показники флуоресценції хлорофілу. За дії кадмію знижувалися показники F_m/F_0 , F_v/F_0 та зростав показник NPQ, а за одночасного впливу кінетину показники F_v/F_0 , F_v/F_m і qP покращувалися [7].

Разом з тим обробка рослин перцю ГК₃ у дозі 100 мкМ зменшувала вміст суми хлорофілів у листках та рівень показників флуоресценції й знижувала інтенсивність дихання порівняно з контролем [8].

Наукова література містить досить багато інформації щодо застосування антигіберелінових препаратів з метою оптимізації структури та функціонування фотосинтетичного апарату. Зокрема, для запобігання вилягання посівів кукурудзи рослини обробляли інгібіто-

рами гібереліну ССС та 2-діетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром. За дії цих препаратів зростає вміст хлорофілів у листках, підвищується коефіцієнт фотохімічного гасіння та знижується коефіцієнт нефотохімічного гасіння. Під час застосування ССС максимальний квантовий вихід фотохімічних реакцій у ФС II та потенційна квантова ефективність ФС II зростає або виявляють тенденцію до зростання. За обробки 2-діетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром флуоресценція хлорофілу достовірно знижувалася, а квантовий вихід фотохімічних реакцій, що відбувалися у ФС II, та фактичний квантовий вихід зростає [9].

Насіння сої обробляли триазолпохідним ретардантом УК-140 у дозі 4 мг/кг. Препарат збільшував вміст суми хлорофілів (на 13 %) за рахунок хлорофілу *a*. Ретардант підвищував швидкість фотосинтетичних процесів, збільшував продихову провідність (на 46 %) та інтенсивність транспірації (на 12 %) [10].

Фоліарна обробка батату препаратом РР333 у дозах 17, 34 і 51 мкМ за умов нестачі вологи підвищувала вміст хлорофілів і каротиноїдів у листках та збільшувала осмотичний потенціал рослин і продихову провідність. За дії препарату спостерігалася тенденція до зростання варіабельної флуоресценції хлорофілу, загальної швидкості фотосинтезу й транспірації. Показано позитивну кореляцію між транспортом електронів у ФС II та інтенсивністю фотосинтезу [11]. Обробка рослин озимої пшениці сортів Смуглянка та Подолянка антигібереліновими препаратами медакс топ, 1,0 л/га (прогексадіон-Са + мепікватхлорид) і терпал, 1,5 л/га (мепікватхлорид + етефон) у фазу ВВСН 39 збільшувала вміст хлорофілу в прапорцевому листку [12].

Разом з тим обробка рослин кукурудзи гібридів ZhengDan 958 та DongNong 254 в умовах Північно-Східного Китаю етефоном зменшувала вміст хлорофілу в листках й уповільнювала швидкість фотосинтетичних процесів [9]. Обприскування рослин перцю антигібереліновими препаратами з різним механізмом дії — прогексадіоном-Са, цикоцелем та етефоном у дозі 100 мг/л — зменшувало вміст суми хлорофілів у листках, максимальну квантову ефективність ФС II та істотно підвищувало інтенсивність дихання [8].

Таким чином, літературні дані щодо впливу регуляторів росту та розвитку рослин з різним напрямом дії на листковий і власне фотосинтетичний апарати сільськогосподарських культур суперечливі.

Метою нашої роботи було дослідити особливості росту, CO_2 - і H_2O -газообміну та фотохімічної активності ФС II за параметрами індукції флуоресценції хлорофілу у рослин баклажану сорту Алмаз за дії ауксинового, гіберелінового і цитокінінового стимуляторів росту, а також інгібіторів гібереліну, що різняться механізмом дії.

Методика

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 набивання посудин готували у співвідношенні 3 : 1. Вологість ґрунту впродовж вегетації підтримували на рівні 60 % ПВ.

Рослини баклажанів сорту Алмаз на початку фази бутонізації одноразово обприскували до повного змочування листків 0,005 %-ми розчинами 1-нафтилоцтової кислоти (1-НОК), гіберелової кислоти (GK_3) та 6-бензиламінопурину (6-БАП), а також 0,25 %-м розчином хлорекватхлориду (ССС-750), 0,025 %-м розчином тебуконазолу (EW-250) та 0,15 %-м розчином есфону (2-ХЕФК). Контрольні рослини обприскували водопровідною водою. Повторність вегетаційного досліду п'ятиразова [13].

Морфологічні показники визначали через кожні 10 діб після обробки. Площу листків визначали ваговим методом [14]. Вміст суми хлорофілів у листках визначали у п'ятиразовій повторності спектрофотометричним методом на спектрофотометрі ULAB 102UV (Shanghai Metash Instruments Co., Китай) і розраховували на масу сирої речовини листків [15].

Показники активності фотосинтетичного апарату визначали у фази цвітіння та формування плодів на невідокремлених від рослини листках середнього ярусу, що закінчили ріст. Інтенсивність вуглекислотного газообміну вимірювали у контрольованих умовах на установці, змонтованій на базі інфрачервоного оптико-акустичного газоаналізатора ПАМ-5М. Ділянку 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/(м² · с) ФАР. Через камеру продували атмосферне повітря з природною концентрацією CO₂ зі швидкістю 1 л/хв. Інтенсивність фотосинтезу і транспірації реєстрували через 50—60 хв після початку освітлення листка в камері, коли показники газообміну виходили на стаціонарний рівень. Інтенсивність транспірації визначали портативним газоаналізатором EGM-5 (PP Systems, США) за різницею вологості повітря на вході й виході з листової камери. Інтенсивність фотодихання оцінювали за викидом CO₂ листком упродовж 1 хв після вимикання світла. Розрахунки показників газообміну проводили за стандартною методикою [16]. Повторність вимірювань триразова.

Параметри імпульсної амплітудно-модульованої індукції флуоресценції хлорофілу та інтенсивність транспорту електронів через ФС II визначали за допомогою флуорометра Junior-PAM fluorometer (WALZ, Німеччина) і розраховували згідно зі стандартними формулами [17]. Максимальну квантову ефективність (вихід) ФС II вимірювали після 20-хвилинної адаптації в темряві й обчислювали за формулою $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$. Діючу квантову ефективність ФС II світлоадаптованих листків розраховували за формулою $\Phi_p = (F_m' - F)/F_m'$; рівень нефотохімічного гасіння — $NPQ = F_m/F_m' - 1$; інтенсивність лінійного транспорту електронів — $ETR = I \cdot \Phi_p \cdot 0,84 \cdot 0,5$, де I — інтенсивність актинічного світла, яка становила 625 мкмоль/(м² · с) ФАР, насичувальних імпульсів — 5000 мкмоль ФАР/(м² · с), тривалість спалаху насичувального світла — 0,8 с.

У таблицях наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки. Результати обробляли статистично за допомогою

комп'ютерної програми Statistica-6.0 з оцінкою істотності різниць вибірових середніх за допомогою ANOVA-тесту за $p \leq 0,05$.

Результати та обговорення

Найпоказовішою анатомо-морфологічною характеристикою рослинного організму, що вказує на ступінь впливу фізіологічно активних речовин на ростові процеси, є його лінійні розміри. Результати наших досліджень свідчать, що обробка рослин баклажана ГК₃ збільшувала висоту рослин порівняно з контролем як у фазу цвітіння, так і на початку формування плодів відповідно на 18 та 36 % (табл. 1). Після застосування 1-НОК та 6-БАП лінійні розміри рослин вірогідно перевищували контроль на 20 та 12 % лише у фазу формування плодів. Антигіберелінові препарати EW-250, ССС-750 та 2-ХЕФК зменшували висоту рослин у фазі цвітіння й формування плодів відповідно на 24, 11, 36 % та 28, 42 і 37 %. Ці результати узгоджуються з даними літератури щодо впливу регуляторів росту з різним напрямом дії на тривалість і швидкість росту рослин.

Так, позакоренева обробка цукрової тростини ГК₃ на 90-, 120- та 150-ту доби після висаджування посилювала ростову активність усіх надземних вегетативних органів. Стимулятор росту збільшував довжину та кількість міжвузлів на рослині, а також кількість пагонів, що утворювалися після висаджування. Одночасно зростали маси сирії речовини міжвузлів, кореня та сухої речовини стебла [18]. Синтетичні ауксини 1-НОК та 2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота (2,4-Д) у концентраціях 20, 30 та 40 М збільшували висоту рослин і довжину міжвузлів у граната, посилювали галуження пагона, зумовлювали зростання об'єму та діаметра крони [19]. В інших дослідженнях показано, що обробка проростків огірка за польових умов кінетином у дозах 2 та 20 М та тидізауроном у дозах 1 і 10 М зменшувала висоту рослин, кількість вузлів на головному пагоні, довжину міжвузлів головного пагона та збільшувала кількість відгалужених пагонів, їх довжину, кількість вузлів на них і довжину міжвузлів [20]. Ефективнішим у даному випадку було застосування кінетину.

ССС зменшував лінійні розміри рослин кукурудзи через укорочення довжини міжвузлів, потовщував стебло, збільшував його міцність і пружність. Такі зміни в анатомічній будові стебла зменшували вилягання рослин на 30—35 % [21]. Обробка магнолії ретардантами УК-140 та РР333 у дозах 500, 1000 та 1500 мг/л зменшувала висоту рослини через коротші міжвузля, не впливала на діаметр стебла та зменшувала кількість вузлів на ньому [22].

Листковий апарат є основною структурою рослинного організму, в якій відбувається фотосинтетичне засвоєння вуглецю. Ми встановили істотні зміни листкового апарату баклажанів за обробки регуляторами росту з різним напрямом дії. Зокрема, стимулятори росту та EW-250 збільшували кількість листків на рослині, тоді як після застосування ССС-750 та 2-ХЕФК їхня кількість вірогідно зменшувалася. Найбільшу кількість листків зафіксовано за обробки ГК₃, найменшу — після застосування 2-ХЕФК (див. табл. 1). Подібні ефекти ми раніше фіксували на рослинах картоплі й перцю [23—25].

ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив регуляторів росту на морфометричні показники та вміст хлорофілу в листках баклажанив сорту Алмаз у фазу цвітіння (1) та формування плодів (2) ($n = 3$, $x \pm SD$)

Варіант досліду	Висота рослини, см	Кількість листків, шт.	Маса сирої речовини листків, г	Маса сухої речовини листків, г	Площа листків, см ²	Питома маса листка, мг/см ²	Вміст суми хлорофілів (a+b), мг/г
Контроль	1	19,11±0,67	7,17±0,24	18,02±0,57	2,75±0,08	499,31±16,67	5,51±0,18
	2	21,02±0,69	9,03±0,28	24,45±0,84	3,67±0,11	782,81±23,05	4,68±0,14
1-НОК	1	19,55±0,66	8,18±0,25*	24,28±0,81*	3,71±0,12*	616,99±22,14*	6,01±0,19
	2	25,15±0,87*	10,01±0,32	31,61±1,03*	4,74±0,15*	847,99±28,28	5,59±0,18*
ГК ₃	1	22,51±0,74*	14,41±0,48*	22,81±0,77*	3,48±0,14*	792,86±27,49*	4,39 ±0,15*
	2	28,55±0,97*	17,74±0,58*	28,46±0,96*	4,17±0,16*	800,84±26,69	5,14±0,17
6-БАП	1	18,32±0,58	11,89±0,38*	25,25±0,88*	3,85±0,12*	667,16±22,22*	5,78±0,19
	2	23,58±0,71*	14,77±0,47*	32,01±1,08*	4,81±0,17*	876,85±28,11*	5,47±0,17*
2-ХЕФК	1	11,08±0,35*	6,06±0,18*	8,47±0,28*	1,14±0,03*	118,52±3,97*	9,62±0,32*
	2	13,33±0,41*	8,98±0,26	11,21±0,35*	1,68±0,05*	278,21±9,27*	6,04±0,22*
EW-250	1	14,45±0,49*	10,11±0,33*	21,42±0,74*	3,27±0,13*	548,41±18,28	5,96±0,22
	2	18,62±0,61*	12,88±0,45*	28,11±0,99*	4,21±0,15*	668,35±22,29*	6,31±0,25*
CCC-750	1	12,21±0,38*	6,12±0,19*	9,96±0,32*	1,52±0,07*	257,71±8,58*	5,91±0,21
	2	15,05±0,48*	8,81±0,28	12,88±0,44*	1,93±0,08*	353,23±11,77*	5,47±0,18*

*Різниця з контролем вірогідна за $p \leq 0,05$.

Стимулятори росту та EW-250 підвищували масу сирі та сухої речовини листків. Найефективнішим було застосування 6-БАП (зростання на 30–40 %). За обробки антигіберелінами ССС-750 і 2-ХЕФК маса листків зменшувалась.

Важливою характеристикою, що істотно впливає на продуктивність рослин, є площа листків. Ми встановили, що інгібітори гібереліну вірогідно зменшували площу листової поверхні, а 1-НОК та ГК₃ у фазу цвітіння, 6-БАП у фазу цвітіння та на початку фази формування плодів вірогідно збільшували її.

Схожі ефекти на листовому апараті за обробки стимуляторами росту та інгібіторами гібереліну фіксували й інші дослідники. Зокрема, під впливом ГК₃ збільшувалася кількість листків на стеблі цукрової тростини, площа листків та індекс листової поверхні, а також коефіцієнт площі листків. За дії препарату зростала тривалість життя листків, а також тривалість збереження максимальної площі листової поверхні [26]. 1-НОК та 2,4-Д у концентраціях 20, 30 та 40 мкМ збільшували площу листків граната [19]. Застосування 6-БАП на рослинах мушмули японської зменшувало площу листків, збільшувало їхню питому масу, масу сирі та сухої речовин, вміст води у листках [27]. ССС і мепікватхлорид збільшували кількість листків на рослині соняшника на 4–7 % та зменшували листовий індекс на 4–9 %. Ретарданти збільшували масу сухої речовини листків на 5–13 %, масу сухої речовини стебла на 3–7 %, масу сухої речовини кошика на 2–4 % [28]. За дії ССС у рослин кукурудзи на 12–14 % зменшувалася площа та на 10–14 % маса сухої речовини листків [21]. В інших дослідженнях із соняшником мепікватхлорид у концентраціях 2000, 1500 і 1000 мкМ збільшував кількість листків на рослині, їхню загальну площу і листовий індекс та підвищував масу сухої речовини листків [29]. Гексаконазол зменшував довжину й ширину листових пластинок огірка відповідно на 7 і 13 %, площу листків — на 4 %, але потовщував листові пластинки на 13 %. Також спостерігалось зменшення маси сирі (16 %) та сухої (2 %) речовини листків [30]. У цілому наші попередні дослідження та літературні дані підтверджують отримані результати [31].

Показником, що опосередковано вказує на кількість структурних елементів, які припадають на одиницю площі листка та беруть участь у фотосинтетичних процесах, і пов'язаний із товщиною листка, є його питома маса. Результати наших досліджень свідчать, що у фазу початку формування плодів за обробки 1-НОК, 6-БАП, EW-250 та ССС-750 питома маса листка зростала відповідно на 19, 17, 35 і 18 %. За дії етиленпродуценту листок був істотно товщим під час обох досліджених фаз вегетації. За дії ГК₃ у фазу цвітіння питома маса листка була достовірно нижчою, ніж у контролі (див. табл. 1).

Вміст фотосинтетичних пігментів у листках — важливий показник потужності фотосинтетичного апарату. Виявлено, що вміст суми хлорофілів у листках вірогідно зростав за обробки 6-БАП та EW-250 як у фазу цвітіння (20 та 21 %), так і у фазу формування плодів (18 та 26 %). За дії 1-НОК, ССС-750 та 2-ХЕФК цей показник лише мав тенденцію до зростання, а після обробки ГК₃ спостерігалось вірогідне зниження вмісту хлорофілів (див. табл. 1). Схожі результа-

ти фіксували й інші дослідники. Так, фоліарна обробка рослин ячменю УК-140 у концентрації 150 та 200 мкМ в умовах вегетаційного досліду за сольового стресу збільшувала вміст суми хлорофілів за рахунок хлорофілу *a* та вміст каротиноїдів у листках [32]. Рослини вігні обробляли ССС та мепікватхлоридом, що збільшувало вміст хлорофілу у листках в умовах вегетаційного досліду [33]. Обробка 6-БАП посівів кукурудзи збільшувала вміст хлорофілу в листках. За дії цього синтетичного цитокініну зростала також активність фотосинтезу [34]. ГК₃ у дозі 0,05 мМ збільшувала вміст хлорофілу *a* на 5 %, каротиноїдів — на 6 %, антоціанів — на 65 % і зменшувала вміст хлорофілу *b* на 4 % у проростках квасолі [35]. В інших дослідженнях фоліарна обробка рослин квасолі 1-НОК у низьких і середніх концентраціях підвищувала вміст хлорофілів у листках [36]. Водночас 1-НОК зменшувала вміст каротиноїдів та обох форм хлорофілу у прапорцевому листку пшениці [37]. Обробка проростків рису ГК₃ пришвидшувала деградацію хлорофілу в листках [38].

Проведені нами дослідження процесів газообміну в листках баклажанів свідчать, що інгібітори гібереліну та 6-БАП підвищували інтенсивність фотосинтезу в фазу цвітіння, тоді як за обробки 1-НОК інтенсивність фотосинтезу вірогідно не змінювалася, а за дії ГК₃ знижувалася (табл. 2). У фазу формування плодів усі регулятори росту підвищували цей показник. Зростання асиміляції CO₂ на 12 % порівняно з контролем у рослин, оброблених 6-БАП, однак, було статистично невірогідним. Найбільше підвищення (на 68 %) було зафіксовано за обробки ССС-750, тоді як інші досліджені препарати збільшували інтенсивність фотосинтетичного засвоєння CO₂ на 21—35 %.

На зростання інтенсивності фотосинтезу за дії різноспрямованих регуляторів росту вказують й інші дослідники. Так, обробка рослин проса перлового кінетином у дозах 0,25 та 0,5 мМ та ССС у дозах 30 і 60 мМ на 20-ту добу після появи сходів підвищувала швидкість фотосинтетичних процесів відповідно на 9—58 та 9—91 % [39].

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив регуляторів росту на інтенсивність CO₂-газообміну листків баклажанів сорту Алмаз у фазу цвітіння (1) та формування плодів (2) (*n* = 3, *x*±SD)

Варіант досліду	Фотосинтез, мкмоль CO ₂ /(м ² · с)		Фотодихання, мкмоль CO ₂ /(м ² · с)		Темнове дихання, мкмоль CO ₂ /(м ² · с)	
	1	2	1	2	1	2
Контроль	13,39±0,41	12,43±0,48	1,19±0,05	2,56±0,11	0,59±0,02	0,91±0,04
1-НОК	12,49±0,38	15,17±0,54*	1,39±0,06	2,28±0,08	1,29±0,05*	1,11±0,05*
ГК ₃	7,14±0,22*	16,08±0,57*	1,49±0,04*	1,92±0,05*	0,34±0,01*	0,91±0,03
6-БАП	17,06±0,53*	13,89±0,49	1,39±0,05	3,02±0,12*	0,59±0,02	1,10±0,04*
2-ХЕФК	20,33±0,68*	15,03±0,52*	1,98±0,08*	2,03±0,09*	0,94±0,04*	0,47±0,02*
EW-250	15,67±0,55*	16,82±0,56*	1,98±0,07*	3,02±0,13	0,79±0,03*	0,82±0,03
ССС-750	20,41±0,67*	20,84±0,68*	2,41±0,09*	3,29±0,14*	1,13±0,05*	1,28±0,04*

У фазу цвітіння GK_3 та всі інші інгібітори гібереліну вірогідно підвищували інтенсивність фотодихання, а за дії 1-НОК та 6-БАП спостерігалася лише тенденція до збільшення цього показника (див. табл. 2). У фазу формування плодів інтенсивність фотодихання вірогідно перевищувала контроль у варіанті із ССС-750 (28 %) і виявляла тенденцію до зростання при застосуванні 6-БАП, EW-250 (18 %), а за обробки 1-НОК, GK_3 та 2-ХЕФК вірогідно знижувалася порівняно з контролем відповідно на 11, 25 та 21 %.

У фазу цвітіння інгібітори гібереліну та 1-НОК посилювали темнове дихання, GK_3 — ослаблювала, а 6-БАП — не змінював (див. табл. 2). У фазу формування плодів антигібереліни 2-ХЕФК та EW-250 знижували інтенсивність темнового дихання відповідно на 48 і 10 %, а стимулятори росту 1-НОК і 6-БАП та ретардант ССС-750 підвищували його відповідно на 22, 21 і 41 %.

У фазу цвітіння за дії антигіберелінів 2-ХЕФК і ССС-750 інтенсивність транспірації листків вірогідно підвищувалася відповідно на 35 і 54 %, при застосуванні стимуляторів росту 1-НОК і GK_3 — знижувалася відповідно на 16 і 38 %, а за обробки цитокініновим стимулятором росту 6-БАП та тебуконазолом зміни були невірогідними (табл. 3). У фазу формування плодів інтенсивність транспірації загалом знижувалася порівняно з фазою цвітіння в усіх варіантах, крім обробки гібереліном. В цьому разі всі регулятори росту, крім 6-БАП, в різному ступені посилювали інтенсивність транспірації листків порівняно з контрольними рослинами. Як і в фазу цвітіння, найбільше підвищення (на 44 % порівняно з контролем) зафіксовано для ретарданту ССС-750.

Зміни інтенсивності транспірації тісно корелювали зі змінами активності асиміляції CO_2 з коефіцієнтом кореляції 0,93 у фазу цвітіння і 0,80 у фазу формування плодів, що пояснюється відповідними змінами продигової провідності (див. табл. 3). Слід також зазначити, що всі застосовані у нашій роботі регулятори росту впливали на ефективність використання води під час фотосинтезу (water use efficiency — WUE), тобто відношення показників інтенсивності фотосинтезу до транспірації (див. табл. 3). У фазу цвітіння у більшості варіантів цей показник підвищувався, крім обробки GK_3 , де він був менший за контроль, і ССС-750, де практично не різнився від контролю. У фазу формування плодів WUE була меншою за контроль лише у варіанті з обробкою 2-ХЕФК, тоді як у всіх інших варіантах вона достовірно перевищувала контроль. Це свідчить про оптимізацію та кращу узгодженість функціонування продигового апарату і фотосинтетичної асиміляції вуглецю власне в клітинах мезофілу.

На подібні результати від застосування регуляторів росту вказують й інші дослідники. Зокрема, підвищення на 6—32 % інтенсивності транспірації у рослин перлового проса встановлено за дії кінетину та ССС [39], а також у томатів за обробки кінетином [6]. Водночас кінетин у дозі 10 мкМ підвищував асиміляцію вуглекислого газу та продигову провідність у томатів [6]. Обробка рослин льону GK_3 у дозі 10^{-6} моль/л підвищувала продигову провідність на 9—12 %, а ефективність карбоксилування — на 6—10 % [3]. Обробка

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив регуляторів росту на параметри H_2O -газообміну листків баклажанів сорту Алмаз у фазу цвітіння (1) та формування плодів (2) ($n = 3, x \pm SD$)

Варіант досліджу	Транспірація, ммоль $H_2O/(m^2 \cdot c)$		Продихова провідність для води, ммоль $H_2O/(m^2 \cdot c)$		Продихова провідність для CO_2 , ммоль $CO_2/(m^2 \cdot c)$		Ефективність використання води під час фотосинтезу (WUE), ммоль $CO_2/ммоль H_2O$	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	2,83±0,11	2,02±0,08	723±22	371±11	394±12	215±6	4,74±0,14	6,16±0,18
1-НОК	2,39±0,09*	2,24±0,09	508±15*	455±14	287±9*	259±8*	5,24±0,16*	6,78±0,20*
ГК ₃	1,76±0,07*	2,42±0,09*	303±9*	537±16*	177±5*	302±9*	4,05±0,12*	6,64±0,20*
6-БАП	3,01±0,12	1,95±0,07	870±26	360±11	463±14*	208±6	5,67±0,17*	7,14±0,21*
2-ХЕФК	3,81±0,15*	2,65±0,09*	1506±45*	590±18*	728±22*	300±9*	5,34±0,16*	5,67±0,17*
EW-250	2,57±0,08	2,21±0,07	588±18	449±13	328±10	256±8*	6,10±0,18*	7,64±0,23*
ССС-750	4,35±0,18*	2,90±0,12*	2454±74*	793±24*	1044±31*	427±13*	4,69±0,14	7,19±0,22*

зерна ярої пшениці різними концентраціями GK_3 (1, 150 і 200 мг/л) підвищувала швидкість транспірації та ефективність використання води [41]. Допосівна обробка насіння сої уніконазолом у дозах 2,4 і 8 мг/кг збільшувала інтенсивність транспірації (на 12 %) [10]. Обприскування саджанців гінго дволопатевого ССС у дозах 0,5, 1 і 2 г/л підвищувало продихову провідність до 40 %, а міжклітинну концентрацію вуглекислого газу — до 24 % [40]. Раніше ми показали, що 1-НОК та GK_3 зменшували кількість продихів на одиницю площі абаксіальної поверхні листка, а 6-БАП і ретарданти вірогідно збільшували кількість продихів [42]. У цьому разі всі досліджені регулятори росту, окрім 1-НОК, вірогідно збільшували площу продихів.

Вплив регуляторів росту на активність первинних фотохімічних процесів у ФС II і швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах, що визначалися за параметрами індукції флуоресценції хлорофілу, був слабше виражений порівняно з показниками CO_2 -газообміну. Максимальна квантова ефективність ФС II (F_v/F_m), яка слугує критерієм стану реакційних центрів ФС II [17], виявляла тенденцію до зростання у фазу цвітіння після застосування ССС-750 і 6-БАП та у фазу формування плодів за обробки EW-250 (табл. 4). Показник вірогідно знижувався під час цвітіння за дії GK_3 та під час формування плодів за впливу 2-ХЕФК. Тенденція до зниження у фазу формування плодів проявлялася при застосуванні 1-НОК та ССС-750. У цих випадках зменшення максимальної квантової ефективності ФС II, очевидно, було зумовлено фотоінгібуванням [17], пов'язаним зі зниженням активності ростових процесів і асиміляції CO_2 на фоні доволі високого вмісту хлорофілу.

Діюча квантова ефективність ФС II, що характеризує функціональну активність реакційних центрів ФС II, у фазу цвітіння практично не змінювалася щодо контролю за дії досліджених регуляторів росту, за винятком варіанта з гібереліном, в якому вірогідно знижувалася на 43 % (див. табл. 4). Така реакція тісно пов'язана зі зниженням інтенсивності асиміляції CO_2 і була спричинена, очевидно, істотним збільшенням розмірів фотосинтетичного апарату — зростанням кількості листків та їх сумарної площі в цілої рослини у період відсутності потужного акцептора асимілятів — плодів. У фазу формування плодів діюча квантова ефективність ФС II за обробки ССС-750 перевищувала контроль на 20 % і була на 24 % нижчою за контроль у варіанті із застосуванням ретарданту 2-ХЕФК. За обробки стимулятором росту 6-БАП і ретардантом EW-250 проявлялася певна тенденція до зростання цього показника.

Нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (NPQ), що є показником непродуктивних втрат поглинутої світлової енергії через теплову дисипацію, яка відіграє регуляторну роль в енергетичному балансі листка [17], вірогідно знижувалося у варіантах із застосуванням GK_3 та 2-ХЕФК у фазу цвітіння і формування плодів і після обробки ССС-750 у фазу цвітіння (див. табл. 4). За обробки іншими регуляторами росту нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу практично не змінювалося порівняно з контролем.

Швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах, як і активність ФС II у фазу цвітіння, знижувалася на 44 % за обробки

ТАБЛИЦЯ 4. Вплив регуляторів росту на параметри флуоресценції хлорофілу в листках баклажанів сорту Алмаз у фазу цвітіння (1) та формування плодів (2) (n = 3, x±SD)

Варіант дослідження	Максимальна квантова ефективність ФС II		Діюча квантова ефективність ФС II		Нефотохімічне гасіння флуоресценції		Швидкість транспорту електронів, мкмоль CO ₂ /(м ² ·с)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	0,682±0,022	0,702±0,023	0,419±0,018	0,409±0,021	0,776±0,025	0,858±0,028	110,0±2,77	107,4±2,81
1-НОК	0,660±0,018	0,665±0,019	0,399±0,012	0,353±0,014	0,775±0,023	0,865±0,029	104,7±2,75	92,7±2,32*
ГК ₃	0,512±0,014*	0,635±0,015	0,237±0,011*	0,373±0,009	0,511±0,012*	0,643±0,014*	62,2±1,88*	97,9±2,22
6-БАП	0,768±0,023	0,703±0,019	0,406±0,017	0,434±0,021	0,683±0,019	0,895±0,035	106,6±2,66	113,9±2,92
2-ХЕФК	0,664±0,019	0,571±0,012*	0,410±0,019	0,310±0,012*	0,590±0,016*	0,508±0,011*	107,6±2,74	81,4±2,02*
EW-250	0,670±0,021	0,730±0,016	0,386±0,014	0,467±0,012	0,747±0,018	0,808±0,016	101,3±2,55	122,6±3,03*
ССС-750	0,743±0,025	0,710±0,024	0,404±0,019	0,492±0,022*	0,670±0,018*	0,863±0,032	106,1±2,67	129,2±2,88*

гібереліном і практично не змінювалася щодо контролю за дії інших регуляторів росту (див. табл. 4). У фазі формування плодів швидкість транспорту електронів вірогідно зростала в разі застосування ССС-750 та EW-250 та вірогідно знижувалася за обробки 1-НОК та 2-ХЕФК.

У літературі зустрічаються дані про вплив різноспрямованих регуляторів росту на фотосинтетичні показники, які розраховуються за параметрами індукції флуоресценції хлорофілу. Застосування кінетину в дозі 10 мкМ на проростках баклажанів підвищувало квантову ефективність ФС II та фотохімічне гасіння [7]. Фоліарна обробка батату паклобутразолом у дозах 17, 34 і 51 мкМ підвищувала загальну швидкість фотосинтезу за умов нестачі вологи [10].

Отримані в нашому досліді результати загалом узгоджуються з даними наших попередніх експериментів, у яких встановлено, що для підвищення продуктивності рослин баклажанів найефективнішою була обробка цитокініновим стимулятором росту 6-БАП і ретардантом тебуконазолом, хоча й інші досліджені стимулятори росту і ретарданти (крім етиленпродуценту 2-ХЕФК) теж підвищували продуктивність культури [42]. Позитивний ефект стимуляторів росту і тебуконазолу на показники продуктивності був пов'язаний здебільшого зі збільшенням кількості листків, їхньої загальної площі й маси, потовщенням листової пластинки внаслідок розростання клітин хлоренхіми і збільшенням об'єму клітин стовпчастої паренхіми.

В представленій роботі також встановлено, що досліджені стимулятори росту збільшували площу фотоасиміляційного апарату, а 6-БАП і ретардант тебуконазол підвищували вміст хлорофілу в листках. Усі досліджені регулятори росту підвищували інтегральний показник активності фотосинтетичного апарату — інтенсивність асиміляції CO₂ у фазу формування плодів. Беручи до уваги, що активність фотосинтетичного апарату рослин зазвичай негативно корелює з його розмірами [43], слід зазначити, що дія 6-БАП і EW-250 забезпечувала оптимальне поєднання збільшення площі листків, високого вмісту хлорофілу та фотосинтетичної активності. Водночас потужний розвиток листового апарату до початку формування плодів за обробки ГК₃ супроводжувався зниженням фотосинтетичної активності та інгібуванням квантової ефективності реакційних центрів ФС II.

Таким чином, обробка рослин баклажанів у фазу бутонізації ауксиновим (1-НОК), гібереліновим (ГК₃) і цитокініновим (6-БАП) стимуляторами росту та ретардантом EW-250 збільшували кількість листків на рослині та їхню масу, а інгібітори гібереліну ССС-750 й 2-ХЕФК зменшували. Стимулятори росту збільшували площу листків, антигібереліни її зменшували. Вміст суми хлорофілів вірогідно зростав за обробки 6-БАП та EW-250 і вірогідно знижувався після обробки ГК₃. Антигібереліни та 6-БАП підвищували інтенсивність асиміляції CO₂, активність фотодихання і темнове дихання та посилювали транспірацію. У фазу формування плодів більшість застосованих у роботі препаратів (крім 2-ХЕФК) підвищували ефективність використання води при фотосинтезі. Ретарданти ССС-750 і EW-250 підвищували квантову ефективність ФС II на світлі та швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах в період карпогенезу.

Всі зазначені позитивні зміни фізіологічних параметрів функціонування фотосинтетичного апарату рослин баклажана під дією регуляторів росту сприяють повнішій реалізації їхнього потенціалу продуктивності.

REFERENCES

- Hu, J., Ren, B., Dong, S., Liu, P., Zhao, B. & Zhang, J. (2020). Comparative proteomic analysis reveals that exogenous 6-benzyladenine (6-BA) improves the defense system activity of waterlogged summer maize. *BMC plant biology*, 20, No. 1, pp. 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2261-5>
- Sabale, S.S., Lahane, G.R. & Dhakulkar, S.J. (2017). Effect of various plant growth regulators on growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, No. 11, pp. 978-989. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.115>
- Khan, M.N. & Mohammad, F. (2013). Effect of GA₃, N and P ameliorate growth, seed and fibre yield by enhancing photosynthetic capacity and carbonic anhydrase activity of linseed. *Integrative Agriculture*, 12, No. 7, pp. 1183-1194. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60443-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60443-8)
- Luo, Y., Yang, D., Yin, Y., Cui, Z., Li, Y., Chen, J., Zheng, M., Wang, Y., Pang, D., Li, Y. & Wang, Z. (2016). Effects of exogenous 6-BA and nitrogen fertilizers with varied rates on function and fluorescence characteristics of wheat leaves post anthesis. *Scientia Agricultura Sinica*, 49, No. 6, pp. 1060-1083. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2016.06.004>
- Xiaotao, D., Yuping, J., Hong, W., Haijun, J., Hongmei, Z., Chunhong, C. & Jizhu, Y. (2013). Effects of cytokinin on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters, antioxidative system and carbohydrate accumulation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) under low light. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, No. 5, pp. 1427-1438. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1182-9>
- Ahanger, M.A., Alyemini, M.N., Wijaya, L., Alamri, S.A., Alam, P., Ashraf, M. & Ahmad, P. (2018). Potential of exogenously sourced kinetin in protecting *Solanum lycopersicum* from NaCl-induced oxidative stress through up-regulation of the antioxidant system, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *PLoS One*, 13, No. 9, e0202175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202175>
- Singh, S. & Prasad, S.M. (2014). Growth, photosynthesis and oxidative responses of *Solanum melongena* L. seedlings to cadmium stress: mechanism of toxicity amelioration by kinetin. *Scientia Horticulturae*, 176, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.022>
- 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. *Pakistan Journal of Botany*, 42, No. 2, pp. 805-814.
- 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. *Agronomy Journal*, 111, No. 2, pp. 612-627. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.06.0363>
- 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 Production Science*, 18, No. 3, pp. 295-301. <https://doi.org/10.1626/pp.18.295>
- 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. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01400>
- 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. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8, No. 3, pp. 403-409 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/021762>

13. Dospikhov, B.A. (1985). Methods of field experiment. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
14. Kazakov, E.A. (2000). Methodological bases of the experiment on plant physiology. Kyiv: Phytosociocenter [in Ukrainian].
15. Gavrilenko, V.F., Ladygina, M.E. & Handobina, M.N. (1975). Big practicum on plant physiology. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
16. Mokronosov, A.T. & Kovalev, A.G. (Eds.). (1989). Photosynthesis and bioproductivity: methods of determination. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
17. Murchie, E.H. & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64, No. 13, pp. 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
18. Qiu, L.H., Chen, R.F., Luo, H.M., Fan, Y.G., Huang, X., Liu, J.X., Xiong, F.Q., Zhou, H.W., Gan, C.K., Wu, J.M. & Li, Y.R. (2019). Effects of exogenous GA₃ and DPC treatments on levels of endogenous hormone and expression of key gibberellin biosynthesis pathway genes during stem elongation in sugarcane. *Sugar Tech*, 21, No. 6, pp. 936-948. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00728-7>
19. Phawa, T., Prasad, V.M. & Rajwade, V.B. (2017). Effect of plant growth regulators on growth and flowering of pomegranate (*Punica granatum* L.) cv. Kandhari in Allahabad agro-climatic conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, No. 8, pp. 116-121. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.015>
20. Tantasawat, P.A., Sorntip, A. & Pornbungkerd, P. (2015). Effects of exogenous application of plant growth regulators on growth, yield, and in vitro gynogenesis in cucumber. *Hort. Science*, 50, No. 3, pp. 374-382. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.3.374>
21. 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>
22. Shi, X., Chen, S. & Jia, Z. (2020). The dwarfing effects of different plant growth retardants on *Magnolia wufengensis* L.Y. Ma et L.R. Wang. *Forests*, 12, No. 1, p. 19. <https://doi.org/10.3390/f12010019>
23. Rogach, V.V., Poprotska, I.V., & Kuryata, V.G. (2016). Effect of gibberellin and retardants on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of the potato. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 24, No. 2, pp. 416-420 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/011656>
24. Rogach, V.V. & Rogach, T.I. (2015). Influence of synthetic growth stimulators on morphological and physiological characteristics and biological productivity of potato culture. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 23, No. 2, pp. 221-224 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/011532>
25. Rohach, V.V., Stasik O.O., Kiriziy, D.A., Sytnyk S.K., Kuryata, V.G. & Rohach, 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, No. 1, pp. 25-45 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.01.025>
26. Rai, R.K., Tripathi, N., Gautam, D. & Singh, P. (2017). Exogenous application of ethrel and gibberellic acid stimulates physiological growth of late planted sugarcane with short growth period in sub-tropical India. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, No. 2, pp. 472-486. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9655-5>
27. Surya, M.I., Ismaini, L., Normasiwi, S., Putri, D.M. & Kurniawan, V. (2020). Plant Growth Regulators Affecting Leaf Traits of Loquat Seedling. *Annual Research & Review in Biology*, 35, No. 11, pp. 73-85. <https://doi.org/10.9734/arrb/2020/v35i1130301>
28. Secondo, A.P. & Reddy, Y.N. (2018). Plant growth retardants improve sink strength and yield of sunflower. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, No. 10, pp. 111-119. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.710.013>
29. Kashid, D.A. (2008). Effect of growth retardants on growth, physiology and yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Ph.D. (Agric.) thesis, Univ. Agril. Sci., Dharwad.
30. Kim, T.Y. & Hong, J.H. (2012). Effects of hexaconazole on growth and antioxidant potential of cucumber seedlings under UV-B radiation. *Journal of Environmental Science International*, 21, No. 12, pp. 1435-1447. <https://doi.org/10.5322/jes.2012.21.12.1435>

31. Rogach, V.V., Kravets, O.O., Buina, O.I. & Kuryata, V.G. (2018). Dynamic of accumulation and redistribution of various carbohydrate forms and nitrogen in organs of tomatoes under treatment with retardants. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9, No. 2, pp. 293-299 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/021843>
32. Hussein, M.M., Bakheta, M.A. & Zaki, S.N.S. (2014). Influence of uniconazole on growth characters, photosynthetic pigments, total carbohydrates and total soluble sugars of *Hordeum vulgare* L. plants grown under salinity stress. *International Journal of Science and Research*, 3, No. 12, pp. 2208-2214. <https://doi.org/10.21275/OCT141094>
33. Sukul, A., Sukul, N.C., Sen, P., Bhattacharya, A. & Sukul, S. (2014). Homeopathic potencies alter photosynthesis of cowpea. *Homeopathy*, 103, No. 01, pp. 91-92. <https://doi.org/10.1016/j.homp.2013.10.062>
34. Ren, B., Zhang, J., Dong, S., Liu, P. & Zhao, B. (2017). Regulations of 6-benzyladenine (6-BA) on leaf ultrastructure and photosynthetic characteristics of waterlogged summer maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, No. 3, pp. 743-754. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9677-7>
35. Saeidi-Sar, S., Abbaspour, H., Afshari, H. & Yaghoobi, S.R. (2013). Effects of ascorbic acid and gibberellin A₃ on alleviation of salt stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, No. 3, pp. 667-677. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1107-7>
36. Yin, B., Zhang, Y. & Zhang, Y. (2011). Effects of plant growth regulators on growth and yields characteristics in adzuki beans (*Phaseolus angularis*). *Frontiers of Agriculture in China*, 5, No. 4, pp. 519-523. <https://doi.org/10.1007/s11703-011-1150-y>
37. Aldesuquy, H. (2015). Synergistic effect of phytohormones on pigment and fine structure of chloroplasts in flag leaf of wheat plants irrigated by seawater. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2, No. 4, pp. 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2015.07.002>
38. Wu, H., Xiang, J., Chen, H.Z., Zhang, Y.P., Zhang, Y.K. & Zhu, F. (2018). Effects of exogenous growth regulators on plant elongation and carbohydrate consumption of rice seedlings under submergence. *The Journal of Applied Ecology*, 29, No. 1, pp. 149-157. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201801.021>
39. 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. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, No. 8, pp. 2711-2719. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.325>
40. Zhang, W., Xu, F., Cheng, H., Li, L., Cao, F. & Cheng, S. (2013). Effect of chlorocholine chloride on chlorophyll, photosynthesis, soluble sugar and flavonoids of *Ginkgo biloba*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41, No. 1, pp. 97-103. <https://doi.org/10.15835/nbha4118294>
41. Iqbal, M. & Ashraf, M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, 86, pp. 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.06.002>
42. Rohach, V.V., Kiriziy, D.A., Stasik, O.O. & Rohach, T.I. (2020). Morphogenesis, photosynthesis and productivity of eggplants under the influence of growth regulators with various action mechanisms. *Fiziol. rast. genet.*, 52, No. 2, pp. 152-168 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.152>
43. Stasik, O.O. & Kiriziy, D.A. (2011). Regulatory mechanisms and limiting factors in the photosynthesis—productivity relationships and prospects for their optimization. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 43, No. 3, pp. 226-238 [in Ukrainian].

Received 14.06.2023

EFFECTS OF GROWTH REGULATORS ON MORPHOGENESIS, DEVELOPMENT AND FUNCTION OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF EGGPLANT (*SOLANUM MELONGENA* L.)

V.V. Rogach¹, O.O. Stasik², D.A. Kiriziy², S.K. Sytnyk², V.G. Kuryata¹, T.I. Rogach¹, M.V. Tarasiuk¹

¹Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University
32 Ostrozhsky St., Vinnitsia, 21100, Ukraine
e-mail: rogachv@ukr.net

²Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

The features of growth and development of the leaf photosynthetic apparatus, photosynthesis, respiration, transpiration, the changes in the parameters of chlorophyll fluorescence induction (quantum efficiency of photosystem II (PS II) in leaves adapted to darkness and light, non-photochemical quenching of fluorescence (NPQ) and the rate of electron transport in chloroplasts) of eggplant under the influence of auxin, gibberellin and cytokinin growth stimulants and gibberellin inhibitors that differ in the mechanism of their action were studied. It was shown that treatment with growth stimulants: 1-naphthylacetic acid (1-NAA), gibberellic acid (GA₃) and 6-benzylaminopurine (6-BAP) increased the linear growth of plants while gibberellin inhibitors: chlormequat chloride (CCC-750), tebuconazole (EW-250) and esphon (2-chloroethylphosphonic acid, 2-CEPA) decreased it. Growth stimulants and EW-250 increased the number of leaves on the plant, the weight of fresh and dry leaf matter, while CCC-750 and 2-CEPA decreased them. All studied growth stimulants increased the total leaf area of plant and anti-gibberellins decreased it. Gibberellin inhibitors as well as growth stimulants 6-BAP and 1-NAA increased the specific weight of the leaf, while GA₃ decreased or did not change it. The total chlorophyll content significantly increased under the treatment with 6-BAP and EW-250 but significantly decreased after treatment with GA₃. Anti-gibberellins and 6-BAP increased the CO₂ assimilation rate, activity of photorespiration and dark respiration, and enhanced transpiration rate. At the stage of fruit formation, all preparation used (except 2-CEPA) enhanced water use efficiency. Retardants CCC-750 and EW-250 increased the quantum efficiency of PS II in the light and the rate of linear electron transport in chloroplasts during carpogenesis. It was concluded that all the indicated positive changes under the action of growth regulators in the physiological parameters of the eggplant plants photosynthetic apparatus contribute to the fuller realization of their productivity potential.

Key words: *Solanum melongena* L., growth regulators, morphogenesis, leaf apparatus, chlorophyll, photosynthesis, transpiration, chlorophyll fluorescence induction.

ORCID

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

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>

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>

М.В. ТАРАСЮК — M.V. Tarasiuk <https://orcid.org/0000-0001-5914-7208>