

<https://doi.org/10.15407/frg2023.01.025>

УДК (581.1:582.926.2):661.162.65/66

ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА ФОТОСИНТЕТИЧНИЙ АПАРАТ ПЕРЦЮ СОЛОДКОГО (*CAPSICUM ANNUUM* L.) В ЗВ'ЯЗКУ З ПРОДУКТИВНІСТЮ

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

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

Досліджено особливості росту, розвитку, формування листкового апарату, газообміну листків, фотохімічної активності фотосистеми II (ФС II) за параметрами флуоресценції хлорофілу, а також показниками продуктивності рослин перцю солодкого сорту Антей під впливом ауксинового (1-НОК), гіберелінового (ГК₃) і цитокінінового (6-БАП) стимуляторів росту та антигіберелінових препаратів (2-ХЕФК, EW-250, ССС-750), які відрізняються за механізмом дії. Показано, що обробка стимуляторами росту збільшувала, а інгібіторами гібереліну зменшувала лінійні розміри рослин. Встановлено, що усі регулятори росту, крім 2-ХЕФК, збільшували кількість листків на рослині та масу їх сирої речовини. За дії усіх препаратів, крім 2-ХЕФК, зростала площа листків. Інгібітори гібереліну та 6-БАП достовірно збільшували вміст суми хлорофілів у листках перцю. За дії ГК₃ показник знижувався, обробка 1-НОК практично його не змінювала. Усі препарати, крім ГК₃, підвищували валовий вміст хлорофілу в рослині. Вплив регуляторів росту на активність фотосинтетичних процесів чіткіше був виражений у фазу формування плодів, ніж у фазу цвітіння. Інтенсивність асиміляції CO₂ у фазу цвітіння за обробки 1-НОК, 6-БАП, 2-ХЕФК і EW-250 посилювалася, ГК₃ і ССС-750 — ослаблювалася. Водночас усі досліджені регулятори росту підвищували інтенсивність фотосинтезу в фазу формування плодів. Зміна інтенсивності фотосинтезу досить тісно корелювала зі змінами продигової провідності ($r = 0,79-0,85$). За дії регуляторів росту в період карпогенезу зростала інтенсивність транспірації на світлі. Разом з тим обробка усіма досліджуваними препаратами знижувала інтенсивність транспірації у темряві в фазу цвітіння. Регулятори росту в фазу формування плодів підвищували діючу квантову ефективність ФС II на світлі, фотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу та інтенсивність лінійного транспорту електронів у хлоропластах і зменшували нефотохімічне гасіння флуоресценції (NPQ). Загалом наведені морфологічні й фізіолого-біохімічні зміни у рослинах перцю солодкого сорту Антей поліпшили показники продуктивності культури. Найефективнішим виявилось застосування стимуляторів росту 6-БАП і ГК₃ та ретардантів EW-250 і ССС-750.

Цитування: 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>

Ключові слова: *Capsicum annuum* L., регулятори росту, морфогенез, листковий апарат, хлорофіл, фотосинтез, дихання, флуоресценція хлорофілу, продуктивність.

Відомо, що ростові й морфогенетичні процеси безпосередньо залежать від забезпеченості рослинного організму пластичними речовинами, а також від швидкості та напрямку їх перерозподілу в процесі онтогенезу між вегетативними і генеративними органами. Регулятори росту рослин впливають на утворення асимілятів, сприяють їх накопиченню, реутилізації і транспортуванню в рослині у процесі вегетації. Однак синтез асимілятів істотно залежить від швидкості та ефективності фотосинтетичних процесів, інтенсивності фотодихання, темного дихання і транспірації, які знаходяться під гормональним контролем і можуть коригуватися екзогенними фізіологічно активними речовинами.

У літературі трапляються дані щодо зміни цих параметрів фотосинтетичного апарату під впливом регуляторів росту. Ефективним є застосування природних і синтетичних стимуляторів росту. Зокрема, 6-БАП істотно підвищує провідність продохів, концентрацію CO_2 в міжклітинниках, інтенсивність асиміляції CO_2 , фотохімічну активність ФС II в листках пшениці [1]. Обробка проростків огірка цим самим препаратом сприяла зростанню вмісту хлорофілу, інтенсивності асиміляції CO_2 , провідності продохів і максимальної квантової ефективності ФС II (F_v/F_m) за умов затінення [2]. Інший синтетичний цитокінін — кінетин — у дозі 10 мкМ збільшував квантовий вихід ФС II, ефективність транспорту електронів, фотохімічне гасіння та зменшував нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу в листках томатів [3]. За обробки проростків баклажанів кінетин у такій самій концентрації також підвищував квантову ефективність ФС II і фотохімічне гасіння [4]. Синтетичний ауксин (3,5,6-трихлор-2-піридилоксиоцтова кислота) у дозі 15 мг/л знижував квантовий вихід ФС II, швидкість перенесення електронів за нециклічного фотофосфорилування та інтенсивність фотосинтетичних процесів у листках мандарина у перші 20 діб після обробки. Далі ефективність функціонування асиміляційної системи рослин відновлювалася до попереднього рівня і навіть посилювалася [5].

Обробка рослин камелії різними концентраціями ГК₃ (100, 200 і 300 мг/л) у фазу формування генеративних бруньок підвищувала інтенсивність фотосинтезу, збільшувала вміст хлорофілу та фотохімічну активність ФС II першого і шостого листків. Найефективнішою виявилася доза препарату 100 мг/л. Швидкість фотосинтетичної асиміляції CO_2 позитивно корелювала із загальним вмістом хлорофілу та параметрами флуоресценції у першому і шостому листках [6]. ГК₃ та 6-БАП істотно збільшували активність фотосинтезу в рослин бавовнику за передпосівної обробки насіння та фоліарної обробки рослин. Стимулятори росту також поліпшували продуктивність культури [7]. Застосування індоліл-3-оцтової кислоти (ІОК) та 6-БАП на рослинах *Eripretium aureum* зумовило посилення інтенсивності асиміляції CO_2 листків та чистої продуктивності фотосинтезу [8]. За дії препаратів листки потовщувалися, при цьому збільшувалася віднос-

на частка внутрішньоклітинного об'єму в шарі мезофілу. Гіберелова та β -нафтилоцтова кислоти підвищували інтенсивність фотосинтезу, збільшували масу сухої речовини цілої рослини та посилювали відтік фотоасимілятів до генеративних органів за вирощування томатів у контрольованих умовах [9]. В інших дослідженнях ІОК посилювала інтенсивність фотосинтезу, швидкість транспірації та масу сухої речовини рослин *Zizania latifolia* на відміну від синтетичного антиауксину 2,3,5-триодбензойної кислоти [10].

На біохімічні та біофізичні характеристики фотосинтетичних процесів рослин також впливають інгібітори гібереліну. Так, для запобігання поляганню посівів кукурудзи рослини обробляли ретардантами хлормекватхлоридом та 2-диетиламіноетил-3,4-дихлорфеніловим ефіром. За дії препаратів підвищувався коефіцієнт фотохімічного та знижувався коефіцієнт нефотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу в листках. Також посилювалася максимальна квантова ефективність ФС II, а квантовий вихід ФС II в листках на світлі мав тенденцію до зростання або достовірно збільшувався [11].

Фоліарна обробка паклобутразолом (PP333) батату в дозах 17, 34 і 51 мкМ за умов нестачі вологи приводила до посилення варіабельної флуоресценції хлорофілу. При цьому спостерігалася позитивна кореляція між фотохімічною активністю ФС II та інтенсивністю фотосинтезу [12]. Обприскування рослин маніоки триадимефоном і гексаконазолом у дозах 20 та 15 мг/л підвищувало інтенсивність фотосинтезу. Вплив триадимефону був істотнішим [13]. Інші дослідники показали, що критично високі температури знижували інтенсивність фотосинтезу в гіпокотилі редьки, а за дії уніконазолу інтенсивність фотосинтетичних процесів поверталась до контрольованого рівня [14]. Обробка картоплі хлормекватхлоридом і мепікватхлоридом збільшувала вміст хлорофілу в листках, підвищувала інтенсивність фотосинтезу, масу сухої речовини цілої рослини. Такі зміни підвищували урожайність бульб [15]. Разом з тим в інших дослідженнях етефон знижував у кукурудзи площу листків і їх масу сухої речовини, а також інтенсивність фотосинтезу та урожайність культури [16].

Метою роботи було дослідити особливості росту, газообміну та індукції флуоресценції хлорофілу в листках рослин перцю солодкого сорту Антей за дії ауксинового, гіберелінового і цитокінінового стимуляторів росту, а також інгібіторів гібереліну, що відрізняються за механізмом дії.

Методика

Вегетаційний дослід проводили в умовах ґрунтової культури у непрозорих пластмасових посудинах місткістю 10 л (вирощували по 3 рослини у посудині) за природного освітлення. Використовували сірий лісовий опідзолений великопилювато-середньосуглинковий ґрунт. Ґрунтово-піщану суміш для набивання посудин готували у співвідношенні 3 : 1. Вологість ґрунту протягом вегетації підтримували на рівні 60 % ПВ.

Рослини перцю солодкого сорту Антей на початку фази бутонізації одноразово обприскували до повного змочування листків

0,005 %-ми розчинами 1-нафтилоцтової кислоти (1-НОК), гіберелової кислоти (ГК₃) та 6-бензиламінопурину (6-БАП), а також 0,25 %-м розчином хлормекватхлориду (ССС-750), 0,025 %-м розчином тебуконазолу (EW-250) та 0,15 %-м розчином етефону (2-ХЕФК). Контрольні рослини обприскували водопровідною водою. Повторність вегетативного дослідження п'ятиразова [17].

Морфологічні показники аналізували кожні 10 діб після обробки. Окремі органи зважували на лабораторних вагах. Площу листків вимірювали ваговим методом [18]. Вміст суми хлорофілів визначали у сирій речовині листків спектрофотометричним методом на спектрофотометрі ULAB 102UV (Shanghai Metash Instruments Co., Китай) у п'ятиразовій повторності [19].

Активність фотосинтетичного апарату вивчали у фазі цвітіння та формування плодів на невідокремлених від рослини молодих сформованих листках середнього ярусу. Інтенсивність вуглекислотного газообміну вимірювали у контрольованих умовах на установці, змонтованій на базі інфрачервоного оптико-акустичного газоаналізатора ПІАМ-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 камери. Інтенсивність фотодихання оцінювали за викидом CO₂ листком упродовж 1 хв після вимикання світла. Показники газообміну обчислювали за стандартною методикою [20]. Повторність вимірювань триразова.

Параметри імпульсної амплітудно-модульованої індукції флуоресценції хлорофілу та інтенсивність транспорту електронів через ФС II визначали флуорометром Junior-PAM Fluorometer (WALZ, Німеччина) і розраховували за стандартними формулами [21]. Максимальну квантову ефективність (вихід) ФС II вимірювали після адаптації в темряві 20 хв і обчислювали за формулою $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$. Діючу квантову ефективність ФС II світлоадаптованих листків визначали за формулою $\Phi_p = (F_m' - F)/F_m'$, коефіцієнт фотохімічного гасіння — $q_p = (F_m' - F)/F_v'$, рівень нефотохімічного гасіння — $NPQ = F_m/F_m' - 1$, інтенсивність лінійного транспорту електронів — $ETR = I \Phi_p \cdot 0,84 \cdot 0,5$, де I — інтенсивність актинічного світла. Інтенсивність актинічного світла становила 1000 мкмоль/(м² · с) ФАР, насичувальних імпульсів — до 5000 мкмоль/(м² · с) ФАР. Тривалість спалаху насичувального світла становила 0,8 с.

У тексті, таблицях і на графіках наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки. Результати обробляли статистично з використанням комп'ютерної програми Statistica-6.0, істотності різниць вибіркового середнього значень оцінювали за допомогою ANOVA-тесту за $p \leq 0,05$.

Результати та обговорення

Лінійні розміри рослини — важлива морфометрична характеристика організму. Встановлено, що регулятори росту по-різному впливають на лінійні розміри рослин перцю солодкого сорту Антей. Серед стимуляторів росту на кінець досліджуваного періоду найвищими були рослини, оброблені ГК₃ (на 22 % порівняно з контролем) (рис. 1). За дії 1-НОК лінійні розміри рослин перцю збільшувалися на 10 %, 6-БАП — на 15 %. Антигіберелінові препарати 2-ХЕФК, EW-250 та ССС-750 зменшували висоту рослин відповідно на 18; 7 та 12 %. Ці результати узгоджуються з літературними даними щодо впливу регуляторів росту з різним напрямом дії на тривалість і швидкість росту рослин. Зокрема, обробка редьки ГК₃ у концентрації 150 мг/л гальмувала ріст підземної частини рослини та посилювала — надземної. Застосування суміші ГК₃ (150 г/л) і РР333 (50 г/л) дало близькі до контролю результати, при цьому ретардант уповільнював ріст надземної частини та пришвидшував — підземної [22]. 1-НОК (15 і 30 мг/л) посилювала лінійний ріст томатів, а 4-хлорфенооцтова кислота (30 і 45 мг/л) не змінювала його [23]. Синтетичні ауксини 1-НОК та 2,4-дихлорфеноксоцтова кислота у концентраціях 20, 30 та 40 мг/л збільшували кількісні морфометричні показники рослин гранату [24]. За дії препаратів зростала висота рослин і довжина міжвузлів, посилювалося галузнення пагона, зростав об'єм крони та її діаметр. Стимулятори росту збільшували площу листків. Застосування 6-БАП у концентрації 50 та 100 ppm на посівах соняшника посилювало ростові процеси, тоді як паклобутразол у дозі 25 та 50 ppm гальмував лінійний ріст рослин [25].

Основним фотосинтезувальним органом рослини є листок, тому важливо дослідити зміни у її листковому апараті за обробки регуляторами росту різної дії. Ми виявили, що наприкінці досліджуваного періоду найбільшою кількістю листків на рослині була після обробки 6-БАП (зростання на 34 % порівняно з контролем) та 1-НОК (28 %)

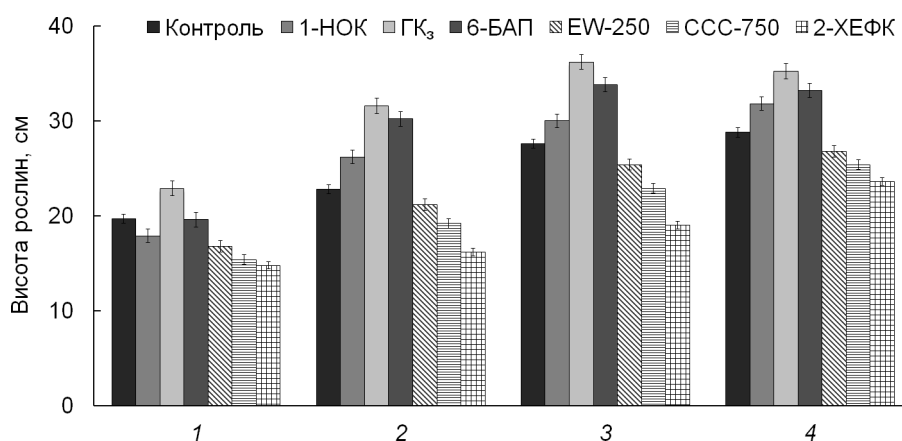


Рис. 1. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на висоту рослин перцю солодкого сорту Антей ($n = 10$, $x \pm SE$). Тут і на рис. 2, 4, 5:

1 — 10-та доба після обробки; 2 — 20-та доба після обробки; 3 — 30-та доба після обробки; 4 — 40-ва доба після обробки

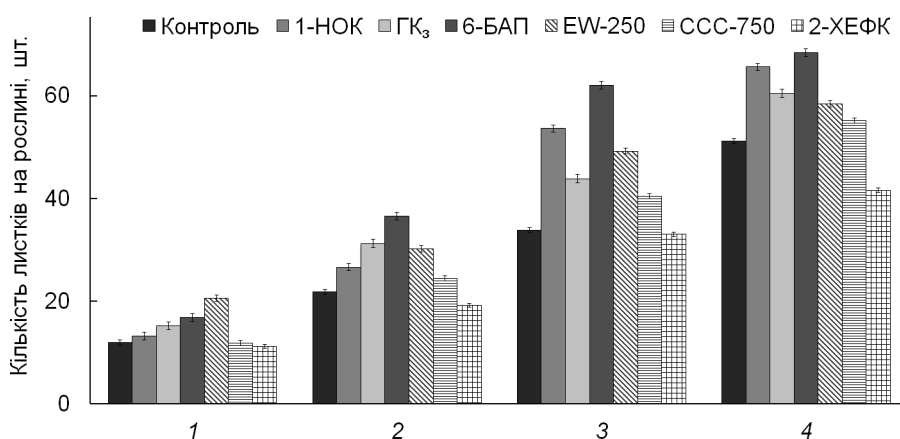


Рис. 2. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на кількість листків на рослині перцю солодкого сорту Антей ($n = 10$, $x \pm SE$)

(рис. 2). GK_3 та EW-250 збільшували кількість листків відповідно на 18 і 14 %. Натомість за дії 2-ХЕФК цей показник зменшувався на 19 %, а за обробки ССС-750 встановлено лише тенденцію до його зростання.

Обробка томатів сорту Голден різними концентраціями GK_3 (10, 20, 30, 40 і 50 мг/кг) підвищувала висоту рослин, кількість листків на них та масу сухої речовини цілої рослини. Найкращий ефект спостерігався за дії препарату в дозі 50 мг/кг [26]. Нафтилоцтову кислоту було застосовано на рослинах томатів сорту Shivaji в Індії на сьомий день після пересаджування розсади із закритого у відкритий ґрунт. Стимулятор росту збільшував висоту рослин на 3–5 %, кількість листків на них на 6–9 % та галуження стебла на 2–14 % [27]. 6-БАП сприяв розростанню ізольованих листків солодкого перцю та асиміляційної паренхіми у них [28].

У літературі є інформація щодо позитивного впливу інгібіторів гібереліну на листковий апарат сільськогосподарських культур. Обробка рослин соняшника мепікватхлоридом збільшувала кількість листків на рослині, їх площу та листковий індекс, а також масу сухої речовини [29]. Оптимізацію листкового апарату льону олійного, маку олійного та соняшнику встановлено і за впливу хлормекватхлориду, однак у рослин ріпаку озимого за дії цього ретарданту зменшувалась кількість листків та їх площа [30].

У нашому досліді встановлено, що за дії стимуляторів росту та ретарданту EW-250 збільшувалася маса сирової речовини листків. За обробки ССС-750 показник практично не змінювався, а застосування 2-ХЕФК зумовило його зменшення на 10 % порівняно з контролем (рис. 3).

Одним із найважливіших показників потужності фотосинтетичного апарату, що впливає на продуктивність рослин, є площа листків. Відомо, що стимулятори росту зазвичай збільшують цей показник, а при застосуванні ретардантів на різних культурах ефект може бути неоднозначним. Так, під впливом GK_3 збільшувалася площа прапорцевого листка на 11–18 % у рослин пшениці [31]. 1-НОК у

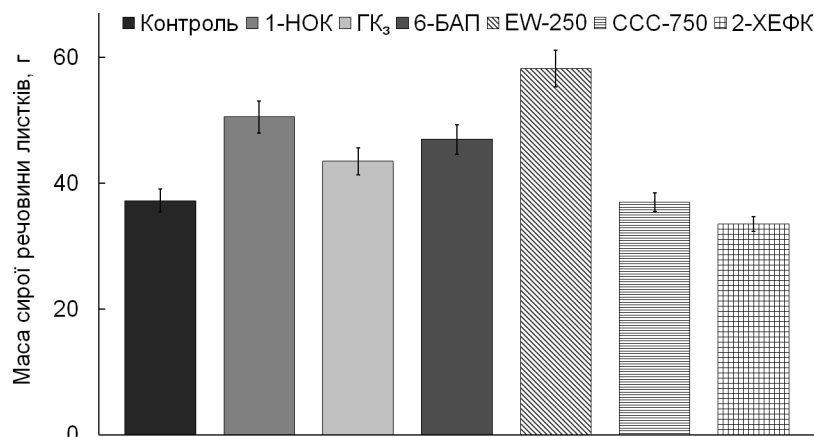


Рис. 3. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на масу сирій речовини листків перцю солодкого сорту Антей на 40-ву добу ($n = 10, x \pm SE$)

концентрації 40 мг/кг збільшувала площу листків у рослин перцю солодкого сортів Jwala і Suryamukhi [32]. Застосування 6-БАП на посівах кукурудзи підвищувало кількість гран у хлоропластах листків і листковий індекс посіву [33].

Виявлено, що замочування насіння бавовнику п'яти різних сортів у 2 %-му розчині мепікватхлориду з наступним вирощуванням за умов вегетаційного дослідження приводило до зменшення площі листків і маси сухої речовини надземної частини рослини [34].

Фоліарна обробка рослин ячменю уніконазолом у концентрації 150 та 200 мг/кг за умов вегетаційного дослідження збільшувала кількість листків рослини, їх площу та підвищувала масу сирій і сухої речовини листків. Ефективнішою була концентрація 150 мг/кг [35].

Ми встановили, що загальна площа листкової поверхні цілої рослини перцю на початку фази формування плодів була найбільшою після застосування 6-БАП і ГК₃ (рис. 4). За дії цих препаратів показник був вищим відповідно на 128 і 97 % порівняно з контролем. Застосування ретардантів EW-250 і CCC-750 сприяло зростанню

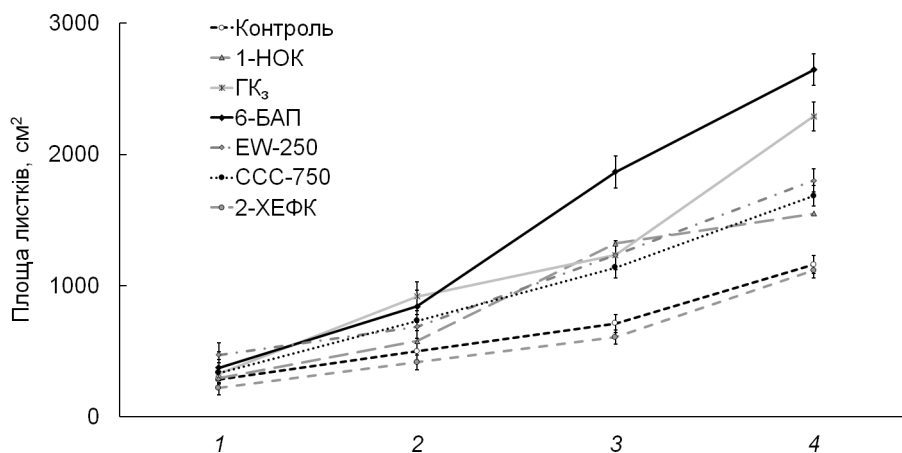


Рис. 4. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на площу листків рослини перцю солодкого сорту Антей ($n = 10, x \pm SE$)

площі листків на 55 і 45 %, 1-НОК — на 34 %. Після обробки 2-ХЕФК площа листової поверхні практично не змінювалася порівняно з контролем.

Іншим важливим показником потужності фотосинтетичного апарату є вміст у листках хлорофілу. Ми встановили, що обробка всіма антигібереліновими препаратами та цитокініновим стимулятором росту 6-БАП достовірно збільшувала вміст суми хлорофілів у листках рослин перцю (рис. 5). Максимальним цей показник був після застосування ССС-750 (підвищення на 24 % порівняно з контролем). За дії 2-ХЕФК вміст хлорофілів перевищував контроль на 11 %, EW-250 — на 17 %. Стимулятор 6-БАП також збільшував вміст суми хлорофілів у листках (на 18 %). Після застосування 1-НОК спостерігалась лише тенденція до зростання (7 %), ГК₃ — до зниження вмісту хлорофілів (12 %). Зменшення вмісту зелених пігментів за обробки рослин цим стимулятором росту ми встановили також у листках баклажану сорту Алмаз раніше [36].

Результати наших досліджень свідчать, що 1-НОК і ГК₃ зменшували валовий вміст хлорофілу в розрахунку на цілу рослину на 14 та 42 % (рис. 6). За обробки синтетичним цитокініном 6-БАП та антигібереліновими препаратами EW-250, ССС-750 і 2-ХЕФК валовий вміст хлорофілу на рослину зростав на 10, 42, 18 та 37 % відповідно. За обробки синтетичним цитокініном та онієвим ретардантом валовий вміст хлорофілу підвищувався за рахунок збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках, триазолпохідним ретардантом — маси сирової речовини листків.

Результати інших дослідників показують, що замочування насіння рослин пшениці на 12 год у ГК₃ (50 мг/л) та ІОК (5 мг/л) збільшувало вміст хлорофілів *a* і *b* та їх суми у прапорцевому листку пшениці [31]. Концентрація каротиноїдів за дії препаратів практично не змінювалася. Обробка 6-БАП посівів кукурудзи збільшувала вміст хлорофілу в листках і посилювала інтенсивність фотосинтезу [33].

Обробка посівів проса 1-НОК сприяла збільшенню вмісту фотосинтетичних пігментів і підвищувала інтенсивність фотосинтезу та

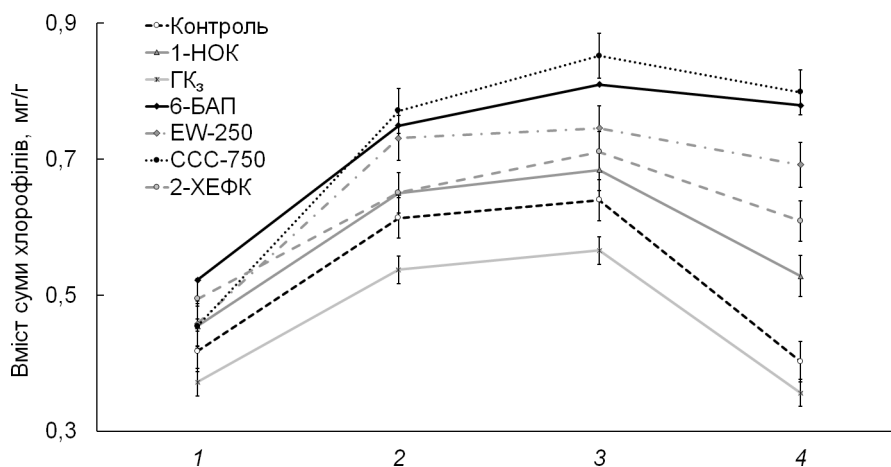


Рис. 5. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на вміст суми хлорофілів (*a*+*b*) у сирій речовині листків перцю солодкого сорту Антей ($n = 5$, $x \pm SE$)

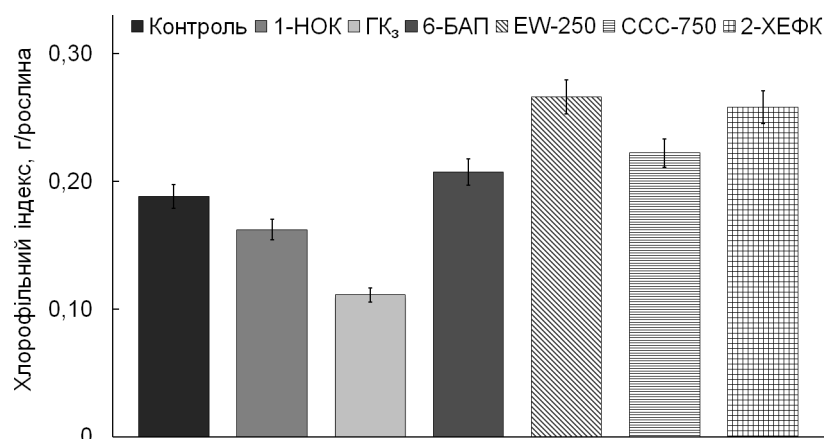


Рис. 6. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на валовий вміст хлорофілу в цілій рослині перцю солодкого сорту Антей на 40-ву добу після обробки ($n = 10$, $x \pm SE$)

активність ФС II. За дії препарату підвищувалась врожайність. Вона істотно та позитивно корелювала з діючим квантовим виходом ФС II на світлі та швидкістю транспорту електронів через ФС II. Інтенсивність асиміляції CO_2 істотно та позитивно корелювала з вмістом хлорофілу, продиговою провідністю, квантовим виходом ФС II і швидкістю лінійного транспорту електронів у хлоропластах. Екзогенне застосування 1-НОК активізувало синтез АТФ і НАДФ·Н за рахунок підвищення ефективності міжсистемного транспорту електронів, а також поліпшувало фотохімічне використання світлової енергії, що зрештою зумовлювало посилення інтенсивності асиміляції CO_2 та збільшення врожайності проса [37].

Разом з тим в інших дослідженнях 1-НОК зменшувала вміст обох основних форм хлорофілу в прапорцевому листку пшениці та загальний вміст хлорофілів і каротиноїдів [31]. Обробка проростків рису GK_3 пришвидшувала деградацію хлорофілу в листках і знижувала виживаність проростків за умов затоплення [38].

Фоліарна обробка рослин ячменю уніконазолом у концентрації 150 та 200 мг/кг в умовах вегетаційного дослідження збільшувала вміст суми хлорофілів за рахунок хлорофілу *a* та вміст каротиноїдів у листках [35]. Інгібітори гібереліну, що відрізняються за механізмом дії, гідразид малеїнової кислоти (1,44 г/л), РР333 (1,5 г/л) та ССС-750 (0,5 г/л) — спричиняли збільшення вмісту хлорофілів у листках солодкого сорго на 22–30 % [39].

У нашому досліді виявлено, що у фазу цвітіння усі регулятори росту, крім GK_3 та ССС-750, достовірно посилювали інтенсивність фотосинтезу (табл. 1). Обробка рослин двома останніми препаратами знижувала інтенсивність асиміляції CO_2 . Найбільший позитивний ефект (підвищення в 1,6 раза) спостерігався за обробки препаратами EW-250 та 2-ХЕФК. 1-НОК і 6-БАП підвищували інтенсивність асиміляції CO_2 відповідно на 22 і 28 %.

На початку фази формування плодів за дії усіх регуляторів росту спостерігалось достовірне зростання інтенсивності фотосинтезу

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив регуляторів росту на інтенсивність газообміну листків перцю солодкокого сорту Антей у фазі цвітіння і формування плодів ($n = 3, x \pm SE$)

Варіант досліджу	Фотосинтез, мкмоль $CO_2/(m^2 \cdot c)$	Продихова провідність, ммоль $CO_2/(m^2 \cdot c)$	Темнове дихання, мкмоль $CO_2/(m^2 \cdot c)$	Транспірація, ммоль $H_2O/(m^2 \cdot c)$	
				Світло	Темрява
Фаза цвітіння					
Контроль	9,92±0,42	252±15	0,68±0,03	2,25±0,11	1,26±0,06
1-НОК	12,12±0,52*	243±11	0,62±0,02	2,12±0,09	0,29±0,01*
ГК ₃	8,26±0,31*	221±12	0,66±0,03	2,02±0,09	0,33±0,01*
6-БАП	12,78±0,61*	291±16	0,51±0,02*	2,37±0,11	0,16±0,01*
2-ХЕФК	16,36±0,74*	876±34*	0,37±0,01*	3,95±0,18*	0,23±0,01*
EW-250	15,58±0,67*	400±28*	0,79±0,03*	2,94±0,14*	0,58±0,01*
ССС-750	5,95±0,28*	122±11*	0,93±0,04*	1,35±0,06*	0,24±0,01*
Фаза формування плодів					
Контроль	5,03±0,22	92±8	0,73±0,03	1,11±0,05	0,37±0,01
1-НОК	13,16±0,63*	285±15*	0,55±0,02*	2,39±0,11*	0,37±0,01
ГК ₃	6,95±0,32*	128±9	0,42±0,02*	1,39±0,06*	0,11±0,01*
6-БАП	13,71±0,67*	281±15*	0,82±0,04	2,35±0,09*	0,44±0,02
2-ХЕФК	7,31±0,33*	260±17*	1,49±0,06*	2,34±0,11*	0,51±0,02*
EW-250	7,51±0,37*	116±7	1,02±0,05*	1,31±0,06	0,33±0,01
ССС-750	15,75±0,77*	587±25*	0,91±0,04*	3,67±0,18*	0,45±0,02*

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

відносно контролю, у якому цей показник істотно зменшився порівняно з фазою цвітіння. Найбільший ефект виявився за дії ССС-750, 1-НОК і 6-БАП.

Інтенсивність асиміляції CO_2 визначається карбоксилювальною активністю Рубіско та швидкістю відновлення РБФ у циклі Кальвіна, а також швидкістю дифузії CO_2 всередину листка крізь продихи і далі крізь клітини мезофілу в струму хлоропластів (продиховою і мезофільною провідностями) [40]. В нашому досліді підвищення інтенсивності фотосинтезу листків перцю у фазу цвітіння за дії EW-250 і 2-ХЕФК збігалось зі збільшенням продихової провідності, і навпаки, зниження інтенсивності фотосинтезу за обробки ССС-750 — зі зменшенням продихової провідності (див. табл. 1). Разом з тим зміни швидкості асиміляції CO_2 за дії ГК₃, 1-НОК і 6-БАП не супроводжувалися істотними змінами продихової провідності. Очевидно, зміни інтенсивності фотосинтезу за обробки цими препаратами були пов'язані з їх впливом на активність біохімічних процесів у хлоропластах або на швидкість дифузії CO_2 у фотосинтезуючих клітинах мезофілу. Водночас зміни фотосинтетичної активності та продихової провідності, зафіксовані на початку фази формування плодів, були доволі добре узгодженими. Загалом коефіцієнт кореляції між інтенсивністю асиміляції CO_2 і провідністю продихів становив 0,85 у фазу формування плодів і 0,79 — у фазу цвітіння.

Під час цвітіння 6-БАП та етиленпродуцент 2-ХЕФК знижували інтенсивність темного дихання, ретарданти EW-250 та ССС-750 достовірно його підвищували, а за обробки ГК₃ і 1-НОК показник практично не відрізнявся від контролю (див. табл. 1). У фазу формування плодів інтенсивність темного дихання достовірно зростала за обробки усіма інгібіторами гібереліну та при застосуванні цитокінінового стимулятора росту. За дії інших препаратів показник достовірно знижувався. Посилення інтенсивності фотосинтезу і зниження темного дихання може бути передумовою підвищення біологічної продуктивності рослини та позитивно вплинути на урожайність господарсько цінних органів.

Крім вуглекислотного газообміну обробка перцю регуляторами росту впливала на інтенсивність транспірації. Так, транспірація на світлі за обробки 6-БАП, 2-ХЕФК і EW-250 у фазу цвітіння, а також усіма регуляторами росту у фазу формування плодів була вищою, ніж у контролі. У темряві всі регулятори росту знижували транспірацію під час цвітіння, ГК₃ і EW-250 — під час формування плодів. В інших випадках інтенсивність випаровування води у темряві зростала (див. табл. 1).

Інтенсивність транспірації, як і CO₂-газообміну, регулюється продиговою апертурою і має визначальний вплив на ефективність використання води у продукційному процесі рослин [41]. Тому зафіксоване в нашому дослідженні зниження транспірації в темряві, а ймовірно, і в нічний період, коли відсутня фіксація вуглекислого газу, може бути вагоме для збереження ресурсів вологи і поліпшення ефективності використання води при вирощуванні рослин у польових умовах [42].

Обробка рослин перцю регуляторами росту впливала на квантову ефективність ФС II і швидкість транспорту електронів у фотосистемах, що визначали за параметрами індукції флуоресценції хлорофілу. При цьому зміни максимальної квантової ефективності ФС II були незначними і статистично недостовірними, хоча певна тенденція до зростання виявлялася у фазу цвітіння за обробки 1-НОК, EW-250 та 2-ХЕФК, а також у фазу формування плодів за дії усіх регуляторів росту, крім ГК₃ і ССС-750 (табл. 2).

Показники фотохімічної активності ФС II на світлі змінювалися набагато сильніше. Діюча квантова ефективність ФС II, яка характеризує реальну активність фотохімічних процесів у реакційних центрах ФС II [21], у фазу цвітіння за обробки EW-250 і 6-БАП статистично достовірно перевищувала контрольний показник відповідно на 48 і 26 %, ССС-750 і 2-ХЕФК — на 16 % (хоча ці зміни не були статистично вірогідними за $p \leq 0,05$), а після застосування 1-НОК і ГК₃ практично не змінювалась. У фазу формування плодів усі досліджені регулятори росту достовірно посилювали діючу квантову ефективність ФС II на світлі. Найбільший ефект (підвищення у 2,2 раза) зафіксовано за дії 1-НОК, найменший (в 1,3 раза) — EW-250.

Рівень фотохімічного гасіння, що відображає частку «відкритих» реакційних центрів ФС II [21], у фазу цвітіння практично не відрізнявся від контролю майже у всіх варіантах, за винятком EW-250 (див. табл. 2). В останньому випадку він був на 27 % вищим за кон-

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив регуляторів росту на параметри фотохімічної активності ФС II і швидкість транспорту електронів у хлоропластах у листках перцю солодкого сорту Антей у фази цвітіння і формування плодів ($n = 3, x \pm SE$)

Варіант досліджу	Максимальна квантова ефективність ФС II	Діюча квантова ефективність ФС II	Фотохімічне гасіння флуоресценції	Нефотохімічне гасіння флуоресценції	Швидкість транспорту електронів, мкмоль/(м ² ·с)
Фаза цвітіння					
Контроль	0,663±0,031	0,264±0,016	0,485±0,021	0,654±0,032	69,3±3,3
1-НОК	0,727±0,027	0,271±0,018	0,476±0,024	1,032±0,051*	71,1±3,5
ГК ₃	0,640±0,028	0,246±0,015	0,486±0,022	0,744±0,034	64,6±3,1
6-БАП	0,772±0,033	0,333±0,011	0,545±0,034	1,154±0,051*	87,4±4,1*
2-ХЕФК	0,715±0,034	0,307±0,014	0,493±0,026	0,507±0,029*	80,6±3,9*
EW-250	0,776±0,035	0,392±0,022*	0,615±0,034*	0,957±0,045*	102,9±5,2*
ССС-750	0,763±0,028	0,307±0,018	0,514±0,026	1,168±0,052*	80,6±3,9
Фаза формування плодів					
Контроль	0,660±0,033	0,198±0,014	0,363±0,013	0,611±0,023	52,0±2,6
1-НОК	0,760±0,034	0,443±0,021*	0,647±0,031*	0,447±0,021*	116,3±5,8*
ГК ₃	0,650±0,026	0,316±0,013*	0,589±0,022*	0,604±0,033	83,0±4,0*
6-БАП	0,710±0,029	0,358±0,023*	0,582±0,021*	0,541±0,022*	94,0±4,5*
2-ХЕФК	0,668±0,030	0,284±0,018*	0,481±0,033*	0,399±0,021*	74,6±3,7*
EW-250	0,717±0,034	0,252±0,018*	0,406±0,023*	0,557±0,025	66,2±3,3*
ССС-750	0,664±0,027	0,304±0,019*	0,524±0,025*	0,434±0,021*	79,8±3,7*

троль. У фазу формування плодів усі регулятори росту достовірно підвищували рівень фотохімічного гасіння. Як і для попереднього показника, найбільший ефект спостерігався у рослин, оброблених 1-НОК, найменший — EW-250.

Показник NPQ (нефотохімічне гасіння), який характеризує рівень регуляторних втрат поглинутої світлової енергії внаслідок теплової дисипації в антенних комплексах ФС II [21], у фазу цвітіння достовірно знижувався за обробки 2-ХЕФК, підвищувався за дії інших препаратів і практично не змінювався при застосуванні ГК₃. У фазу формування плодів майже усі регулятори росту, крім EW-250 і ГК₃, достовірно збільшували NPQ. ГК₃ його практично не змінювала порівняно з контролем, а для EW-250 виявлено тенденцію до зниження.

Виявлені зміни нефотохімічних витрат поглинутої світлової енергії (NPQ) свідчать про незбалансований вплив досліджених регуляторів росту на різні компоненти фотосинтетичного апарату, а також про вплив на фотосинтетичні процеси напруженості в донорно-акцепторній системі рослини. Так, істотне зростання NPQ у фазу цвітіння в листках рослин, оброблених 6-БАП, EW-250 і СССР-750, може бути пов'язане зі збільшенням вмісту хлорофілу за відсутності потужного акцептора асимілятів (плоди чи активний ріст вегетативної маси), СССР-750 — зі значним обмеженням інтенсивності асиміляції CO₂, у тому числі внаслідок зниження продихової провідності.

Достовірне зменшення кількості продихів і площі продихової щільності рослин перцю за дії ССС-750 ми показали у попередніх дослідженнях [43]. Водночас підвищене відносно контролю значення NPQ виявлено у рослин, оброблених 1-НОК, у яких не зафіксовано збільшення вмісту хлорофілу, проте раніше також спостерігалось значне зменшення кількості й загальної площі продихів на одиницю поверхні листка [43], що, очевидно, приводило до посилення обмежень фотохімічного використання поглинутої енергії світла у фотосинтетичному апараті. Ці чинники могли сприяти утворенню надлишку продуктів світлової фази фотосинтезу і підвищенню теплової дисипації поглинутої світлової енергії [21].

Разом із появою потужного акцептора асимілятів у фазу формування плодів зменшувалися нефотохімічні витрати енергії світла через теплову дисипацію (NPQ) у рослин усіх варіантів. Водночас це не завжди супроводжувалося зростанням асиміляції CO₂ (див. табл. 1), що пояснюється збільшенням енергетичних витрат, пов'язаних із посиленням фотодихання у цей період онтогенезу [43].

Розрахована за рівнем діючої квантової ефективності ФС II швидкість транспорту електронів у хлоропластах листків перцю у фазу цвітіння за обробки 6-БАП і EW-250 на 26 і 48 % перевищувала контрольний показник, а після застосування 1-НОК, ГК₃, ССС-750 та 2-ХЕФК змінювалась неістотно. У фазу формування плодів як стимулятори, так й інгібітори росту рослин достовірно збільшували швидкість транспорту електронів (див. табл. 2). Показник зростав найбільше — на 124, 81 і 60 % — у рослин, оброблених стимуляторами росту 1-НОК, 6-БАП та ГК₃ відповідно. Ефект ретардантів 2-ХЕФК, EW-250 та ССС-750 був трохи слабшим — збільшення на 43, 27 і 53 % відповідно.

Отримані дані свідчать, що вплив регуляторів росту на активність фотосинтетичних процесів значною мірою залежав від фази розвитку рослин, очевидно, внаслідок змін в донорно-акцепторній системі. Водночас їх дія на інтенсивність процесів світлової і темної фаз фотосинтезу дещо відрізнялася. Так, у фазу цвітіння за дії ССС-750 виявлено істотне зниження інтенсивності асиміляції CO₂, тоді як швидкість лінійного транспорту електронів мала певну тенденцію до підвищення, 1-НОК значно посилював асиміляцію CO₂ за практично незмінної швидкості транспорту електронів тощо. Такі розбіжності, найімовірніше, пов'язані зі змінами активності фотодихання, які протилежно впливають на інтенсивність транспорту електронів і асиміляції CO₂ у хлоропластах [44], а також із захисними і регуляторними процесами за умов надмірної активності реакцій світлової фази фотосинтезу та сильнішою і безпосередньою залежністю процесів темної фази від запиту на асиміляти в донорно-акцепторній системі рослини [45]. Цікаво зазначити, що позитивна кореляція між інтенсивністю асиміляції CO₂ і транспорту електронів у фазу формування плодів була тіснішою ($r = 0,67$), ніж у фазу цвітіння ($r = 0,56$).

Стимулятори та інгібітори ростових процесів впливали на продуктивність рослин перцю солодкого. У наших дослідях усі регулятори росту, крім ССС-750 і 2-ХЕФК, істотно збільшили масу сухої ре-

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив регуляторів росту на елементи продуктивності рослин перцю солодкого сорту Антей ($n = 10, x \pm SE$)

Варіант досліджу	Маса сухої речовини рослини, г	Кількість плодів, шт.	Маса сухої речовини плодів, г	Маса сухої речовини одного плоду, г
Контроль	18,64±0,88	1,48±0,06	2,12±0,09	1,43±0,06
1-НОК	21,21±1,01	0,56±0,02*	1,25±0,06*	2,23±0,09*
ГК ₃	22,26±1,11*	2,27±0,09*	4,38±0,18*	1,93±0,08*
6-БАП	24,89±1,22*	3,53±0,15*	5,14±0,22*	1,46±0,06
EW-250	25,93±1,28*	1,24±0,05*	3,24±0,14*	2,61±0,12*
ССС-750	16,48±0,75	1,07±0,04*	3,77±0,18*	3,52±0,16*
2-ХЕФК	12,48±0,58*	0,42±0,01*	1,07±0,04*	2,55±0,11*

човини цілої рослини (табл. 3). Наприкінці дослідження найвищі показники спостерігалися після обробки EW-250 (54 %) та 6-БАП (33 %), далі у порядку зменшення ефекту розташовувалися варіанти із застосуванням 1-НОК (25 %) і ГК₃ (19 %).

ГК₃ та 6-БАП сприяли збільшенню кількості плодів рослини, інші ж регулятори росту — зменшенню. Разом із тим усі препарати збільшували масу сухої речовини одного плоду, лише 6-БАП її не змінював порівняно з контролем. Маса сухої речовини плодів з однієї рослини достовірно зростала за дії усіх регуляторів росту, крім рослин у варіантах із 1-НОК та 2-ХЕФК, у яких вона достовірно знижувалася. Максимальне збільшення маси сухої речовини плодів з однієї рослини спостерігалося за обробки ГК₃ і 6-БАП.

Аналіз співвідношення маси сухої речовини окремих органів свідчить, що усі регулятори росту, крім 2-ХЕФК, збільшували відносну частку сухої речовини плодів за рахунок зменшення частки стебел. Ауксиновий стимулятор росту і ретарданти також підвищували частку коренів (рис. 7).

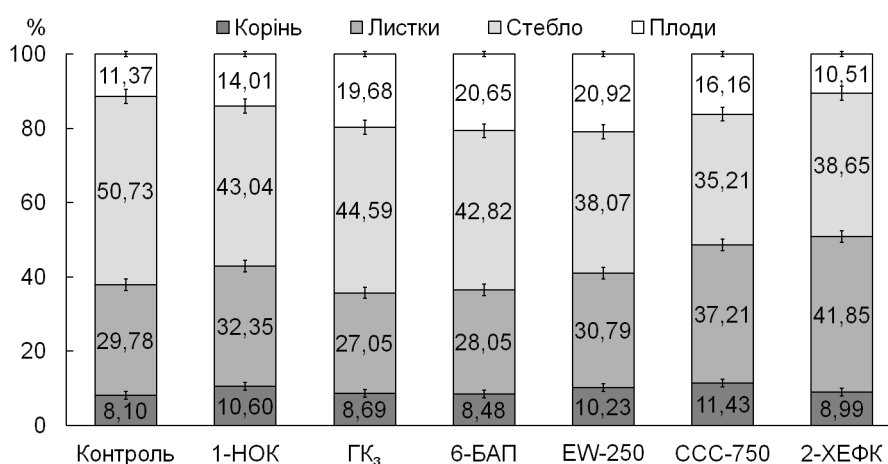


Рис. 7. Вплив обробки регуляторами росту у фазу бутонізації на співвідношення маси сухої речовини органів перцю солодкого сорту Антей на 40-ву добу після обробки ($n = 10, x \pm SE$)

На нашу думку, подібність морфологічних ефектів при застосуванні різноспрямованих регуляторів росту пов'язана з тим, що, з одного боку, за обробки різними стимуляторами росту посилювався синтез пластичних речовин та їх транспорт до зон акцептування внаслідок загальної активації фотосинтетичних і ростових процесів. З іншого боку, використання інгібіторів гібереліну зменшувало запит на асиміляти для лінійного росту через пригнічення активності апікальних та інтеркалярних меристем. Це викликало компенсаційне посилення активності латеральних меристем і, як наслідок, перерозподіл пластичних речовин на ріст і формування потужніших механічних, транспортних і запасуючих тканин. Ми вважаємо, що продуктивність культури за обробки ГК₃ підвищувалася за рахунок зростання кількості листків та їх площі, 6-БАП і ретардантами — внаслідок збільшення вмісту хлорофілів, хлорофільного індексу та інтенсивності фотосинтетичних процесів у рослині.

Таким чином, обробка рослин перцю у фазу бутонізації регуляторами росту з різними механізмами дії позитивно, крім етилен-продуценту 2-ХЕФК і синтетичного ауксину 1-НОК, вплинула на морфологічні та фізіологічні показники, що сприяло підвищенню господарської продуктивності культури. В кінцевому підсумку найефективнішим виявилось застосування 6-БАП і ГК₃.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Yang D., Dong W., Luo Y., Song W., Cai T., Li Y., Yin Y., Wang Z. Effects of exogenous 6-BA on photosynthetic characteristics and endogenous hormone content in wheat leaves under two nitrogen application levels at seedling stage. *Scientia Agricultura Sinica*. 2017. **50**. P. 3871—3884. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2017.20.004>
2. Xiao-Tao D., Yu-Ping J., Hong W., Hai-Jun J., Hong-Mei Z., Chun-Hong C., Ji-Zhu Y. 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*. 2013. **35**, N 5. P. 1427—1438. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1182-9>
3. Ahanger M.A., Alyemini M.N., Wijaya L., Alamri S.A., Alam P., Ashraf M., Ahmad P. Potential of exogenously sourced kinetin in protecting *Solanum lycopersicum* from NaCl-induced oxidative stress through up-regulation of the antioxidant system, ascorbate-gluthathione cycle and glyoxalase system. *PLoS One*. 2018. **13**, N 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202175>
4. Singh S., Prasad S.M. Growth, photosynthesis and oxidative responses of *Solanum melongena* L. seedlings to cadmium stress: mechanism of toxicity amelioration by kinetin. *Scientia Horticulturae*. 2014. **176**. P. 1—10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.022>
5. Mesejo C., Rosito S., Reig C., Martinez-Fuentes A., Agusti M. Synthetic auxin 3,5,6-TPA provokes *Citrus clementina* (Hort. ex Tan) fruitlet abscission by reducing photosynthate availability. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2012. **31**, N 2. P. 186—194. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9230-z>
6. Wen Y., Su S.C., Ma L.Y., Wang X.N. Effects of gibberellic acid on photosynthesis and endogenous hormones of *Camellia oleifera* Abel. in 1st and 6th leaves. *Journal of Forest Research*. 2018. **23**, N 5. P. 309—317. <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1512394>
7. Fang S., Gao K., Hu W., Wang S., Chen B., Zhou Z. Foliar and seed application of plant growth regulators affects cotton yield by altering leaf physiology and floral bud carbohydrate accumulation. *Field Crops Research*. 2018. **231**. P. 105—114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.012>
8. Di Benedetto A., Galmarini C., Tognetti J. Effects of combined or single exogenous auxin and/or cytokinin applications on growth and leaf area development in *Epipremnum*

- aureum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2015. **90**, N 6. P. 643–654. <https://doi.org/10.1080/14620316.2015.11668727>
9. Starck Z., Stahl E., Witek-Czuprynska B. Responsiveness of tomato plants to growth regulators depends on light and temperature conditions. *Journal of Plant Physiology*. 1987. **128**, N 1-2. P. 121–131. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(87\)80186-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(87)80186-4)
 10. Li J., Guan Y., Yuan L., Hou J., Wang C., Liu F., Yang Y., Lu Z., Chen G., Zhu S. Effects of exogenous IAA in regulating photosynthetic capacity, carbohydrate metabolism and yield of *Zizania latifolia*. *Scientia Horticulturae*. 2019. **253**. P. 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.058>
 11. 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149404>
 12. 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. *Frontiers in Plant Science*. 2017. **8**. P. 1400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01400>
 13. Gomathinayagam M., Jaleel C.A., Lakshmanan G.A., Panneerselvam R. Changes in carbohydrate metabolism by triazole growth regulators in cassava (*Manihot esculenta* Crantz); effects on tuber production and quality. *Comptes Rendus Biologies*. 2007. **330**, N 9. P. 644–655. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.06.002>
 14. Kaneko T., Suzuki S. Effects of high temperature and growth retardant on dry matter accumulation, hypocotyl thickening, photosynthesis, and sugar content in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 2006. **75**, N 3. P. 231–235. <https://doi.org/10.2503/jjshs.75.231>
 15. Tavares S., Lucchesi A.A. Plant regulators in potato cv. Monalisa, after tuberization. *Scientia Agricola*. 1999. N 56. P. 975–980. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000400027>
 16. Li L.L., Gu W.R., Li C.F., Li W.H., Chen X.C., Zhang L.G., Wei S. Dual application of ethephon and DCPTA increases maize yield and stalk strength. *Agronomy Journal*. 2019. **111**, N 2. P. 612–627. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.06.0363>
 17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 18. Казаков Є.О. Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 272 с.
 19. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина М.Н. Большой практикум по физиологии растений. Москва: Высшая школа, 1975. 392 с.
 20. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения: Мокронос А.Т., Ковалев А.Г. (ред.). Москва: Агропромиздат, 1989. 460 с.
 21. Murchie E.H., Lawson T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*. 2013. **64**, N 13. P. 3983–3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
 22. Jabir B., Karanja B., Faroug M., Awad F., Everlyne M., Ahmadzai Z., Liu L.W. Effects of gibberellin and gibberellin biosynthesis inhibitor (paclobutrazol) applications on radish (*Raphanus sativus* L.) taproot expansion and the presence of authentic hormones. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2017. **19**, N 4. P. 779–786. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0359>
 23. Maboko M.M., Du Plooy C.P. Effect of plant growth regulators on growth, yield, and quality of sweet pepper plants grown hydroponically. *HortScience*. 2015. **50**, N 3. P. 383–386. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.3.383>
 24. Phawa T., Prasad V.M., Rajwade V.B. 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*. 2017. **6**, N 8. P. 116–121. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.015>
 25. Ewais E.E.D. Effect of ascorbic acid, benzyl adenine and paclobutrazol on growth, yield and some metabolic constituents of sunflower plants. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2013. **47**, N 1. P. 12–21.
 26. Sood M.K., Kachawaya D.S., Singh M.C. Effect of bio-fertilizers and plant growth regulators on growth, flowering, fruit ion content, yield and fruit quality of strawberry. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 2018. **11**, N 3. P. 439–449. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.06.2018.4>

27. Deepak J., Thaneshwari T., Sushil N., Neeru J. Effect of plant growth regulator on growth, yield & quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivar 'Shivaji' under punjab condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. 7, N 6. P. 2630—2636. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.311>
28. Ulvskov P., Nielsen T.H., Seiden P., Marcussen J. Cytokinins and leaf development in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Planta*. 1992. 188, N 1. P. 78—84. <https://doi.org/10.1007/BF01160714>
29. Kashid D.A., Doddamani M., Chetti M., Hiremath S., Baburai, N.A.K. Effect of growth retardants on morpho-physiological traits and yield in sunflower. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 2010. 23, N 2. P. 347—349.
30. Kuryata V.G., Polyvanyi S.V., Rogach T.I., Khodanytska O.O., Rogach V.V. Influence of chlormequat chloride on morphogenesis, formation of donor-acceptor system and production process of oil crops. The Potential of Modern Science: Babych M.M. (ed.) Vol. 1. London: Sciemcee Publishing, 2019. P. 130—156. <http://repository.vsau.org/get-file.php/23281.pdf>
31. Aldesuquy H. 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*. 2015. 2. P. 310—317. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2015.07.002>
32. Chaudhary B.R., Sharma M.D., Shakya S.M., Gautam D.M. Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.) at Rampur, Chitwan. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science*. 2006. 27. P. 65—68. <https://doi.org/10.3126/jiaas.v27i0.697>
33. Ren B., Zhang J., Dong S., Liu P., Zhao B. Regulations of 6-benzyladenine (6-BA) on leaf ultrastructure and photosynthetic characteristics of waterlogged summer maize. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2017. 36. P. 743—754. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9677-7>
34. Ferrari J.V., Furlani Junior E., Ferrari S., Luques A.P.P.G. Vegetative growth response of cotton plants due to growth regulator supply via seeds. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2015. 37. P. 361—366. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19664>
35. Hussein M.M., Bakheta M.A., Zaki S.N.S. Influence of uniconazole on growth characters, photosynthetic pigments, total carbohydrates and total soluble sugars of *Hordium vulgare* L. plants grown under salinity stress. *International Journal of Science and Research*. 2014. 3, N 12. P. 2208—2213.
36. Рогач В.В., Кірізій Д.А., Стасик О.О., Рогач Т.І. Морфогенез, фотосинтез і продуктивність баклажанів за впливу регуляторів росту з різними механізмами дії. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. 52, № 2. С. 152—168. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.152>
37. Feng Z., Zhao J., Nie M., Qu F., Li X., Wang J. Effects of exogenous auxin on yield in foxtail millet (*Setaria italica* L.) when applied at the grain filling stage. *Frontiers in Plant Science*. 2023. 13. P. 1019152. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1019152>
38. Wu H., Xiang J., Chen H.Z., Zhang Y.P., Zhang Y.K., Zhu F. Effects of exogenous growth regulators on plant elongation and carbohydrate consumption of rice seedlings under submergence. *The Journal of Applied Ecology*. 2018. 29, N 1. P. 149—157. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201801.021>
39. Carvalho M.E.A., Castro P.R.D.C., Dias C.T.D.S. Plant growth reducers: an alternative to increase the juice production potential and decrease the lodging of sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 2013. 13. P. 774—777. <https://doi.org/10.5281/zenodo.51611>
40. Faralli M., Lawson T. Natural genetic variation in photosynthesis: an untapped resource to increase crop yield potential? *The Plant Journal*. 2020. 101. P. 518—528. <https://doi.org/10.1111/tpj.14568>
41. Nadal M., Flexas J. Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: Implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. *Agricultural Water Management*. 2019. 216. P. 457—472. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.024>
42. Feng X., Lu Y., Jiang M., Katul G., Manzoni S., Mrad A., Vico G. Instantaneous stomatal optimization results in suboptimal carbon gain due to legacy effects. *Plant, Cell and Environment*. 2022. 45. P. 3189—3204. <https://doi.org/10.1111/pce.14427>

43. Рогач В.В., Кірізій Д.А., Кур'ята В.Г., Рогач Т.І. Морфогенез, фотосинтез і продуктивність перцю (*Capsicum annuum* L.) за впливу регуляторів росту з різними напрямками та механізмами дії. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. **54**, № 3. С. 214–232. <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.314>
44. Стасик О.О. Фотодыхание: метаболизм и физиологическая роль. Современные проблемы фотосинтеза. Аллахвердиева С.И., Рубина А.Б., Шувалова В.А. (ред.). Т. 2. Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2014. С. 505–535.
45. Киризий Д.А., Стасик О.О., Прядкина Г.А., Шадчина Т.М. Фотосинтез: Ассимиляция CO₂ и механизмы ее регуляции. Т. 2. Киев: Логос, 2014. 480 с.

Отримано 27.02.2023

REFERENCES

1. Yang, D., Dong, W., Luo, Y., Song, W., Cai, T., Li, Y., Yin, Y. & Wang, Z. (2017). Effects of exogenous 6-BA on photosynthetic characteristics and endogenous hormone content in wheat leaves under two nitrogen application levels at seedling stage. *Scientia Agricultura Sinica*, 50, No. 20, pp. 3871-3884. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2017.20.004>
2. Xiao-Tao, D., Yu-Ping, J., Hong, W., Hai-Jun, J., Hong-Mei, Z., Chun-Hong, C. & Ji-Zhu, 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>
3. Ahanger, M.A., Alyemni, 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202175>
4. 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>
5. Mesejo, C., Rosito, S., Reig, C., Martinez-Fuentes, A. & Agusti, M. (2012). Synthetic auxin 3,5,6-TPA provokes *Citrus clementina* (Hort. ex Tan) fruitlet abscission by reducing photosynthate availability. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, No. 2, pp. 186-194. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9230-z>
6. Wen, Y., Su, S.C., Ma, L.Y. & Wang, X.N. (2018). Effects of gibberellic acid on photosynthesis and endogenous hormones of *Camellia oleifera* Abel. in 1st and 6th leaves. *Journal of Forest Research*, 23, No. 5, pp. 309-317. <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1512394>
7. Fang, S., Gao, K., Hu, W., Wang, S., Chen, B. & Zhou, Z. (2018). Foliar and seed application of plant growth regulators affects cotton yield by altering leaf physiology and floral bud carbohydrate accumulation. *Field Crops Research*, 231, pp. 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.012>
8. Di Benedetto, A., Galmarini, C. & Tognetti, J. (2015). Effects of combined or single exogenous auxin and/or cytokinin applications on growth and leaf area development in *Epipremnum aureum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90, No. 6, pp. 643-654. <https://doi.org/10.1080/14620316.2015.11668727>
9. Starck, Z., Stahl, E. & Witek-Czupryniska, B. (1987). Responsiveness of tomato plants to growth regulators depends on light and temperature conditions. *Journal of Plant Physiology*, 128, No. 1-2, pp. 121-131. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(87\)80186-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(87)80186-4)
10. Li, J., Guan, Y., Yuan, L., Hou, J., Wang, C., Liu, F., Yang, Y., Lu, Z., Chen, G. & Zhu, S. (2019). Effects of exogenous IAA in regulating photosynthetic capacity, carbohydrate metabolism and yield of *Zizania latifolia*. *Scientia Horticulturae*, 253, pp. 276-285. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.058>
11. 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149404>
12. 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, p. 1400. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01400>
 13. Gomathinayagam, M., Jaleel, C.A., Lakshmanan, G.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 Biologies*, 330, No. 9, pp. 644-655. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.06.002>
 14. Kaneko, T. & Suzuki, S. (2006). Effects of high temperature and growth retardant on dry matter accumulation, hypocotyl thickening, photosynthesis, and sugar content in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 75, No. 3, pp. 231-235. <https://doi.org/10.2503/jjshs.75.231>
 15. Tavares, S. & Lucchesi, A.A. (1999). Plant regulators in potato cv. Monalisa, after tuberization. *Scientia Agricola*, 56, pp. 975-980. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000400027>
 16. 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>
 17. Dospekhov, B.A. (1985). *Methods of field experiment*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
 18. Kazakov, E.A. (2000). *Methodological bases of the experiment on plant physiology*. Kyiv: Phytosociocenter [in Ukrainian].
 19. Gavrilenko, V.F., Ladygina, M.E. & Handobina, M.N. (1975). *Big practicum on plant physiology*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
 20. Mokronosov, A.T. & Kovalev, A.G. (Eds.). (1989). *Photosynthesis and bioproductivity: methods of determination*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
 21. 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>
 22. Jabir, B., Karanja, B., Faroug, M., Awad, F., Everlyne, M., Ahmadzai, Z. & Liu, L.W. (2017). Effects of gibberellin and gibberellin biosynthesis inhibitor (paclobutrazol) applications on radish (*Raphanus sativus* L.) taproot expansion and the presence of authentic hormones. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19, No. 4, pp. 779-786. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0359>
 23. Maboko, M.M. & Du Plooy, C.P. (2015). Effect of plant growth regulators on growth, yield, and quality of sweet pepper plants grown hydroponically. *HortScience*, 50, No. 3, pp. 383-386. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.3.383>
 24. 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>
 25. Ewais, E.E.D. (2013). Effect of ascorbic acid, benzyl adenine and paclobutrazol on growth, yield and some metabolic constituents of sunflower plants. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 47, No. 1, pp. 12-21.
 26. Sood, M.K., Kachawaya, D.S. & Singh, M.C. (2018). Effect of Bio-Fertilizers and plant growth regulators on growth, flowering, fruit ion content, yield and fruit quality of strawberry. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 11, No. 3, pp. 439-449. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.06.2018.4>
 27. Deepak, J., Thaneshwari, T., Sushil, N. & Neeru, J. (2018). Effect of plant growth regulator on growth, yield & quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivar 'Shivaji' under punjab condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, No. 6, pp. 2630-2636. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.706.311>
 28. Ulvskov, P., Nielsen, T.H., Seiden, P. & Marcussen, J. (1992). Cytokinins and leaf development in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Planta*, 188, No. 1, pp. 78-84. <https://doi.org/10.1007/BF01160714>
 29. Kashid, D.A., Doddamani, M., Chetti, M., Hiremath, S. & Baburaj, N.A.K. (2010). Effect of growth retardants on morpho-physiological traits and yield in sunflower. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 23, No. 2, pp. 347-349.

30. Kuryata, V.G., Polyvani, S.V., Rogach, T.I., Khodanytska, O.O. & Rogach V.V. (2019). Influence of chlormequat chloride on morphogenesis, formation of donor-acceptor system and production process of oil crops. In Babych M.M. (Ed.) *The Potential of Modern Science*. Vol. 1. (pp. 130-156). London: Sciemcee Publishing. <http://repository.vsau.org/getfile.php/23281.pdf>
31. 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>
32. Chaudhary, B.R., Sharma, M.D., Shakya, S.M. & Gautam, D.M. (2006). Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annum L.*) at Rampur, Chitwan. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science*, No. 27, pp. 65-68. <https://doi.org/10.3126/jiaas.v27i0.697>
33. Ren B., Zhang J., Dong S., Liu P., Zhao B. Regulations of 6-benzyladenine (6-BA) on leaf ultrastructure and photosynthetic characteristics of waterlogged summer maize. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2017. 36. P. 743–754. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9677-7>
34. Ferrari, J.V., Furlani Junior, E., Ferrari, S. & Luques, A.P.P.G. (2015). Vegetative growth response of cotton plants due to growth regulator supply via seeds. *Acta Scientiarum. Agronomy*, No. 37, pp. 361-366. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19664>
35. 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 *Hordium vulgare L.* plants grown under salinity stress. *International Journal of Science and Research*, 3. No. 12, pp. 2208-2213.
36. 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. *Fiziologhija roslyn i genetyka*, 52, No. 2, pp. 152-168 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.152>
37. Feng, Z., Zhao, J., Nie, M., Qu, F., Li, X. & Wang, J. (2023). Effects of exogenous auxin on yield in foxtail millet (*Setaria italica L.*) when applied at the grain filling stage. *Frontiers in Plant Science*, 13, p. 1019152. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1019152>
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. Carvalho, M.E.A., Castro, P.R.D. C. & Dias, C.T.D.S. (2013). Plant growth reducers: an alternative to increase the juice production potential and decrease the lodging of sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 13, pp. 774-777. <https://doi.org/10.5281/zenodo.51611>
40. Faralli, M. & Lawson, T. (2020). Natural genetic variation in photosynthesis: an untapped resource to increase crop yield potential? *The Plant Journal*, 101, No. 3, pp. 518-528. <https://doi.org/10.1111/tpj.14568>
41. Nadal, M. & Flexas, J. (2019). Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: Implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. *Agricultural Water Management*, 216, pp. 457-472. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.024>
42. Feng, X., Lu, Y., Jiang, M., Katul, G., Manzoni, S., Mrad, A. & Vico G. (2022). Instantaneous stomatal optimization results in suboptimal carbon gain due to legacy effects. *Plant, Cell and Environment*, 45, pp. 3189-3204. <https://doi.org/10.1111/pce.14427>
43. Rohach, V.V., Kiriziy, D.A., Kuryata, V.G. & Rohach, T.I. (2022). Morphogenesis, photosynthesis and productivity of pepper (*Capsicum annum L.*) under the impact of growth substances with different directions and mechanisms of action. *Fiziol. rast. genet.*, 54, No. 3, pp. 214-232 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.314>
44. Stasik, O.O. (2014). Photorespiration: metabolism and physiological role. In *Modern problems of photosynthesis* (Vol. 2, pp. 505-535). Moskow-Izhevsk: Institute of Computer Research [in Russian].

45. Kiriziy, D.A., Stasik, O.O., Pryadkina, G.A. & Shadchina, T.M. (2014). Photosynthesis: Assimilation of CO₂ and the mechanisms of its regulation. Vol. 2. Kyiv: Logos [in Russian].

Received 27.02.2023

THE EFFECTS OF GROWTH REGULATORS ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF THE SWEET PEPPER (*CAPSICUM ANNUUM* L.) IN RELATION TO THE PRODUCTIVITY

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

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 effects of growth stimulants 6-benzylaminopurine (6-BAP), gibberellic acid (GA₃) and 1-naphthaleneacetic acid (1-NAA) as well as gibberellin inhibitors tebuconazole (EW-250), ethephon (2-chloroethylphosphonic acid, 2-CEPA) and chloromequat chloride (CCC-750), which differ in their action mechanism, on growth, development, leaf apparatus formation, CO₂ and H₂O gas exchange, photochemical activity of Photosystem II (PSII) and productivity traits of sweet pepper plants were studied. It was shown that treatment with growth stimulants increased, and gibberellin inhibitors decreased the linear sizes of sweet pepper plants of the Antei variety. It was established that all growth regulators, except for 2-CEPA, increased the number and the mass of leaves on the plant. Under the action of all preparations, except for 2-CEPA, the area of the leaves increased. Gibberellin inhibitors and 6-BAP significantly increased the amount of chlorophyll in pepper leaves. However, it decreased under the action of GA₃ and did not practically change in treatment with 1-NAA. All growth substances, except GA₃, increased the total chlorophyll content in the plant. The impact of growth regulators on the activity of photosynthetic processes was more pronounced at the stage of fruit formation than at the flowering stage. The CO₂ assimilation rate at the flowering stage increased under the treatment of 1-NAA, 6-BAP, 2-CEPA and EW-250, but decreased under the action of GA₃ and CCC-750. At the same time, all studied growth regulators increased the CO₂ assimilation rate at the stage of fruit formation. Changes in the CO₂ assimilation rate were closely correlated with changes in stomatal conductance ($r = 0.79-0.85$). Growth regulators increased transpiration in the light at fruit formation stage while the transpiration in the dark was reduced at the flowering stage. Growth regulators increased the operating quantum efficiency of PSII in the light, photochemical quenching of chlorophyll fluorescence, and intensity of linear electron transport in chloroplasts, and reduced non-photochemical quenching (NPQ) fluorescence. The specified morphological, physiological and biochemical changes in plants of sweet pepper of the Antei variety contributed to improvement of crop productivity traits. The use of growth stimulants 6-BAP and GA₃, and retardants EW-250 and CCC-750 was most effective.

Key words: *Capsicum annuum* L., growth regulators, morphogenesis, leaf apparatus, chlorophyll, photosynthesis, respiration, chlorophyll fluorescence, productivity.