

<https://doi.org/10.15407/frg2025.03.223>

УДК (581.1:582.926.2):661.162.65/66

ЗАСТОСУВАННЯ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ ДЛЯ РЕГУЛЯЦІЇ МОРФОГЕНЕЗУ, ОПТИМІЗАЦІЇ ТРОФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН

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

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

²Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
21100 Вінниця, вул. Острозького, 32
e-mail: rogachv@ukr.net

Важливим чинником зростання продуктивності культурних рослин є підвищення рівня реалізації їх генетичного потенціалу завдяки застосуванню природних і синтетичних стимуляторів росту. В огляді розглянуті літературні дані й результати власних досліджень щодо впливу екзогенних нативних фітогормонів та їх синтетичних аналогів на широкий спектр процесів життєдіяльності рослинного організму, продукційний процес і формування врожаю культурних рослин. Відзначено, що дія рістстимулювальних препаратів пов'язана із пришвидшенням процесів росту, збільшенням лінійних розмірів рослин, площі асиміляційної поверхні, підвищенням концентрації хлорофілу, активізацією фотосинтетичних процесів, оптимізацією накопичення й розподілу асимілятів у донорно-акцепторній системі рослин і, як наслідок, зростанням продуктивності. Стимулятори росту посилюють ріст осевих вегетативних органів та інтенсифікують їх галуження, збільшують масу й площу листків рослин і листковий індекс насаджень. Показано, що стимулятори росту потовщують листкові пластинки внаслідок розростання хлоренхіми, збільшують об'єм клітин стовпчастої та розміри клітин губчастої паренхіми. Висвітлено особливості впливу природних і синтетичних стимуляторів росту на активність фотосинтетичного апарату, зокрема квантову ефективність фотохімічних процесів у фотосистемі II, оптимізацію використання світлової енергії та інтенсивність транспорту електронів у хлоропластах. Наголошено, що загальний стимулювальний ефект при застосуванні стимуляторів росту пов'язаний з формуванням потужніших як донорних, так і акцепторних органів рослин та відповідно з поліпшенням реалізації потенційних можливостей синтезу і накопичення асимілятів, а також закладки й росту господарсько-цінних органів.

Ключові слова: стимулятори росту, культурні рослини, морфометрія, мезоструктура, листковий апарат, хлорофіл, фотосинтез, трофічне забезпечення, гормональний статус, урожайність.

У сучасному світі продовольча проблема набула глобального значення, як один із ключових викликів для людства. Зростання населення,

Цитування: Рогач В.В., Кур'ята В.Г., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Рогач Т.І. Застосування стимуляторів росту для регуляції морфогенезу, оптимізації трофічного забезпечення та підвищення продуктивності культурних рослин. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 3. С. 223—257. <https://doi.org/10.15407/frg2025.03.223>

зміна клімату, деградація ґрунтів, обмеженість природних ресурсів ускладнюють забезпечення населення якісними та безпечними продуктами харчування.

Ефективність аграрного виробництва впливає на рівень продовольчої безпеки як окремих країн, так і світу загалом. Проте аграрний сектор стикається з численними викликами: зниженням родючості ґрунтів, нестачею водних ресурсів, нестабільністю ринків, а також соціальними й економічними диспропорціями в доступі до аграрних технологій. Усе це ускладнює подолання продовольчої проблеми, навіть попри науково-технічний прогрес і розвиток агроінновацій [1].

Одним із перспективних сучасних інструментів вирішення продовольчої проблеми є оптимізація урожайності культурних рослин за допомогою біологічно активних речовин, зокрема стимуляторів росту рослин. Ці препарати сприяють покращенню проростання насіння, розвитку кореневої системи, стійкості до стресових чинників (посуха, низькі температури, шкідники) та, як наслідок, підвищують урожайність сільськогосподарських культур [1].

В умовах обмежених ресурсів і необхідності збереження екологічної рівноваги, використання рістрегуляторів стимулювального напрямку є важливим елементом інтенсивного, але сталого аграрного виробництва. Це відкриває нові можливості для збільшення обсягів виробництва продовольства без розширення посівних площ, що критично важливо для забезпечення продовольчої безпеки.

Регуляторами росту рослин вважають природні та синтетичні органічні сполуки, які у невеликих дозах істотно впливають на онтогенез рослин, процеси життєдіяльності, спричиняють різні фізіологічні й морфологічні зміни. Природні (нативні) рістрегулювальні сполуки — фітогормони утворюються в рослинах у процесі обміну речовин і беруть участь у регуляторних процесах росту, розвитку та метаболізму упродовж усього онтогенезу [1]. Вони виконують функцію хімічних інформаторів у міжклітинних зв'язках, що робить їх роль ключовою у таких важливих фізіологічних процесах, як проростання, розвиток і галуження коренів, пагонів, ініціювання закладання й цвітіння квіток, плодоношення, синхронізація дозрівання, насіннева продуктивність, якість плодів та насіння, старіння тощо [2, 3].

Синтезуючись в одних тканинах, фітогормони транспортуються до інших тканин і органів, де й здійснюють свій регуляторний вплив, який полягає у переключенні морфогенетичних та фізіологічних програм, змінюючи таким чином перебіг онтогенезу рослинного організму [4].

Активні форми фітогормонів діють тільки на чутливі до їх впливу клітини, тобто на клітини, в мембранах і цитоплазмі яких наявні рецептори, специфічні для цих фітогормонів. Взаємодія фітогормону зі своїм рецептором запускає ланцюг реакцій перетворення гормонального сигналу у функціональні відповіді клітини. Ці відповіді можуть бути різними залежно від типу рецепторів, концентрації фітогормону і співвідношення цієї концентрації з рівнем інших фітогормонів, а також від взаємозв'язку рецептора з тими чи іншими молекулярними комплексами, які беруть участь в трансдукції гормонального сигналу, та власне від типу самого гормону.

Швидка хімізація сільського господарства зумовила появу нових — синтетичних сполук, які стали аналогами нативних фітогормонів або модифікаторами гормонального статусу стимулювальної та інгібувальної дій. Саме ці сполуки, починаючи із середини ХХ століття, зайняли чільне місце в аграрному виробництві. Натепер відомо понад 5 тисяч рістрегулювальних сполук, серед яких лише близько 2,5 % застосовуються в аграрній практиці.

В основу класифікації рістрегулювальних сполук покладено їхній вплив насамперед на морфогенетичні характеристики рослинного організму. Така дія, як зазначалося, може бути різноспрямованою.

Перший напрям пов'язаний з інтенсифікацією процесів росту й розвитку внаслідок посилення поділу та розтягнення клітин, завдяки чому зазвичай формується потужніший асиміляційний апарат рослини з наступним утворенням більшої кількості пластичних сполук, які спрямовуються в тому числі й до продуктивних органів. Цьому слугують фітогормони-стимулятори та їхні синтетичні аналоги.

Другий напрям пов'язаний з інгібуванням ростових процесів, супроводжується зменшенням витрат асимілятів в певних частинах рослин з подальшим їх нагромадженням і перерозподілом між органами рослинного організму, зазвичай в бік господарсько-важливих на тлі змін донорно-акцепторних відносин у рослині загалом [4].

Взаємодія нативних стимуляторів та інгібіторів росту й розвитку рослин і зміни в їх синтезі, транспортуванні й трансдукції формують комплекс фітогормональної регуляції у рослинному організмі.

Найкраще вивченою та найзастосованішою групою регуляторів росту є стимулятори. Рістстимулювальні сполуки за їх впливом на анатомо-морфологічні та фізіолого-біохімічні характеристики рослинного організму поділяють на три групи — ауксинові, гіберелінові та цитокінінові препарати.

Ауксини були першими із фітогормонів, які задокументовані ще у 1860—1880 рр. Чарльзом і Френсісом Дарвініми. Вчені вказали, що основним місцем синтезу ауксинів є верхівки пагонів і коренів [5, 6]. Розрізняють три групи нативних і синтетичних ауксинів.

До першої належать похідні індолу. Індоліл-3-оцтова кислота (ІОК, гетероауксин) — основний нативний ауксин. Індоліл-3-пропіонова, індоліл-3-масляна та індолілбурштинова кислоти є синтетичними ауксинами, що мають вибіркову ауксинову дію [6, 7].

Індоліл-3-масляна кислота (ІМК) менше руйнується в тканинах і застосовується для індукції коренеутворення. Отриманий ряд аліфатичних гомологів ІОК із парною і непарною кількістю атомів вуглецю в бічному ланцюгу в C_3 -положенні. Однак з подовженням бічного аліфатичного ланцюга ауксинова активність швидко втрачається. Крім того, активність гомологів вища, якщо ланцюг містить парну кількість атомів вуглецю [5—7].

До другої групи препаратів з ауксиною активністю належать похідні нафтилкарбонових кислот (1-нафтилоцтова кислота і її калійна сіль 2-нафтилоцтова кислота). 1-нафтилоцтова кислота (1-НОК) добре проникає до рослинних тканин і легко по них пересувається. Ці сполуки також відрізняються вищою стійкістю в тканинах порівняно з ІОК.

Наступна група синтетичних ауксинів представлена галогеновмісними феноксіоцтовими кислотами, які надзвичайно стійкі до руйнування ІОК-оксидазою. До них належать дихлорфеноксіоцтова кислота (2,4-Д), трихлорфеноксіоцтова кислота (2,4,5-Т) та інші [6, 8].

У 1926 р. Куросавою було відкрито другу групу фітогормонів-стимуляторів — гіберелоподібні сполуки. Вони належать до дитерпеноїдів флуоренового ряду і відрізняються від інших стимуляторів росту надзвичайно схожою хімічною та просторовою структурою, що налічує понад 100 сполук, які синтезуються переважно у листках та іноді в коренях. У зв'язку з істотною схожістю між собою гібереліни нумерують у порядку їх відкриття. Основною структурною одиницею більшості гіберелінів є GK_3 , а інші сполуки вважаються її похідними. Найбільше застосовується в аграрній практиці гіберелова кислота (GK_3) [6–8].

У кінці 50-х на початку 60-х років ХХ ст. була відкрита ще одна група гормонів-стимуляторів — цитокініни. Першим цитокініном був синтетичний препарат — 6-фурфуриламінпуридин (кінетин), а в 1962 р. із насіння кукурудзи виділений перший нативний цитокінін — зеатин. На основі кінетину синтезовано цілу низку сполук, серед яких найактивнішою виявився 6-бензиламінпуридин. Цю групу цитокінінів називають пуриновою [9].

Друга група препаратів із цитокініновою активністю синтезована в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України на основі гетероциклічних сполук N-оксид-2-метилпіридину, N-оксид-2,6-диметилпіридину [10].

Препарати ще однієї групи регуляторів росту з цитокініновою активністю практично не мають нічого спільного з пуринами та піридинами, крім двох NH-груп та циклічних фрагментів у молекулі. Ці речовини отримують заміною фенольних фрагментів на різноманітні гетероциклічні групи (N-феніл-N1-(1,2,3-тіазол-5-іл)-сечовина (дроп), N-(2-хлор-4-піридил)-N1-фенілсечовина, цитодеф — N-(1,2,4-тіазол-4-іл)-N'-фенілсечовина та її натрієва сіль (ГАС-18) [7–9].

Морфогенетичні зміни у рослинах під впливом стимуляторів росту. Найбільше використовуються в практиці аграрного виробництва і в приватних домогосподарствах гіберелоподібні та ауксиноподібні сполуки [11, 12].

Гібереліни. У сучасному аграрному виробництві застосовується ціла низка гіберелоподібних сполук. Їх світовий ринок становив близько 1,32 млрд доларів США в 2024 р. з тенденцією зростання до 7,5 % в рік і в 2030 р. може досягти 2,06 млрд доларів США [13]. Гібереліни GK_3 , GK_4 і GK_7 використовуються переважно для збільшення врожаю та поліпшення його якості. Найчастіше серед гіберелінів застосовують гіберелову кислоту (GK_3) [14].

Основним анатомо-морфологічним ефектом в разі застосування гіберелоподібних сполук є зміна швидкості ростових процесів і збільшення лінійних розмірів рослин. Зокрема, за результатами досліджень, GK_3 у концентраціях 25, 50 та 75 мг/л збільшувала висоту рослин через подовження міжвузль, посилювала галуження пагона, внаслідок чого зростав об'єм крони та її діаметр у рослин граната [15]. GK_3 у концентрації 10^{-6} М посилювала галуження рослин маку олійного та збільшувала довжину додаткових гілок [16].

Обробка цукрової тростини ГК₃ у дозі 150 мг/л подовжувала висоту рослини внаслідок зростання довжини міжвузлів і потовщувала їх, збільшувала масу сирої речовини [17]. Подібні морфометричні ефекти спостерігали за дії ГК₃ у рослин магнолії [18], лагенарії [19], бавовнику [20], полуниці садової [21], цукрової тростини [22], дудника лікарського [23].

Рослини моркви обробляли різними концентраціями (100, 150 і 200 мг/л) ГК₃. Препарат збільшував висоту рослин прямо пропорційно до дози на 40—52 %, також підвищувалася схожість насіння, коефіцієнт проростання та індекс життєвої сили [24]. ГК₃ у дозі 150 мг/л підвищував схожість рослин пшениці, подовжував її в умовах засолення [25].

Часто ГК₃ позитивно впливає на розвиток листкового апарату рослин, масу сирої та сухої речовини вегетативних органів. Наприклад, збільшення площі прапорцевого листка на 11—18 % у рослин пшениці за умов 10 та 25 % засолення морською водою спостерігалося після 12-годинного замочування насіння у ГК₃ в концентрації 50 мг/л. Одночасно препарат нівелював негативний вплив чинника середовища [26]. Додавання в поживне середовище ГК₃ у дозі 0,05 мМ нівелювало негативний вплив засолення у 200 мМ у проростків квасолі. Крім цього, за дії стимулятора росту зросли лінійні розміри пагона на 24 %, а кореня — на 17 %. Препарат збільшував масу сирої та сухої речовини кореня відповідно на 21 і 20 % і зменшував маси пагона на 12 і 5 %. За дії ГК₃ зменшувалася площа листків на 9 % і маса сухої речовини листків на 5 % [27]. Збільшення площі листків за дії цього стимулятора росту спостерігали у рослин гранату [15].

Обробка ГК₃ рослин арабідопсису в умовах вегетаційного дослідження спричинювала зростання маси сирої речовини рослин, площі листків, маси сирої речовини коренів та співвідношення мас між пагоном і коренем [28]. Обприскування сіянців гібрида (*Citrus sinensis* (L.) Osb. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) ГК₃ збільшувало висоту рослин на 79 % та підвищувало масу сухої речовини на 27 % [29]. Обробка *Brassica campestris* L. ГК₃ збільшувала висоту квітконосного пагона на 3/4, але потоншувала його на 1/6 та незначно зменшувала масу сирої речовини, тоді як кількість листків на пагоні зростала на 1/5 [30]. Обробка рослин батату ГК₃ у дозах 200 та 300 мг/л збільшувала довжину листків (11 %), хоча майже не впливала на їхню площу [31].

Водночас обробка лагенарії звичайної ГК₃ у дозах 50, 100 і 150 мг/л зменшувала або не змінювала довжину пагонів та збільшувала кількість вузлів на них [32]. Препарат істотно знижував адаптивність рослин рису до затоплення водою, посилював лінійний ріст, скорочував тривалість життя рослини [33]. Застосування ГК₃ на рослинах мушмули японської не змінювало площу листків, але зменшувало їхню питому масу, підвищувало масу сирої й сухої речовини, а також вміст води у листках. За дії препарату зменшувалася кількість продихів і збільшувалася їхня площа [34]. Обробка рослин пшениці ГК₃ не впливала на площу листків [26], а обробка китайського ямса не змінювала швидкість виходу бульб із стану спокою та проростання [35].

Відома низка досліджень щодо впливу ГК₃ на морфометричні показники деяких пасльонових культур. Зокрема, обробка рослин то-

матів ГК₃ у дозах 20, 40, 60 і 80 мг/л збільшувала лінійні розміри та посилювала галуження прямо пропорційно зі зростанням концентрації стимулятора росту. Максимальне зростання висоти (52 %) та галуження (70 %) рослин було зафіксовано при застосуванні препарату у дозі 80 мг/л [36]. Збільшення лінійних розмірів томатів на 32 %, за дії цього стимулятора росту у дозі 20 мг/л, фіксували й інші дослідники за нормальних умов середовища [37], в умовах засолення у польових умовах [38] та в умовах вегетаційного дослідів [39]. Обробка томатів сорту Голден різними концентраціями ГК₃ (10, 20, 30, 40 і 50 мг/л) збільшувала висоту рослини, кількість листків на ній та масу сухої речовини цілої рослини. Найпотужніший ефект виявлено за дії препарату в дозі 50 мг/л [40]. Аналогічні зміни за дії ГК₃ на цій культурі спостерігали й інші дослідники [41]. Проте у дослідженнях Тіварі й Сінгха обприскування томатів ГК₃ у дозах 10 і 20 мг/л, не змінювало висоту рослин [42].

Обприскування рослин картоплі ГК₃ у двох концентраціях (50 і 100 г/га) до процесу бульбоутворення збільшувало лінійні розміри пагона та столонів [43]. Препарат також активував ріст стеблових експлантів картоплі [44].

Аналогічний ефект спостерігався за обробки культури перцю в умовах закритого ґрунту [45] та тютюну в польових умовах [46], а також за вирощування розсади цієї нікотиновмісної культури [47].

Результати наших досліджень свідчать, що застосування ГК₃ у концентрації 0,005 % у фазу бутонізації посилювало ростові процеси овочевих пасльонових культур. Найістотніше лінійні розміри рослин зростали в разі застосування препарату на рослинах томатів [48], а найменше — на культурі перцю солодкого [49]. Також встановлено, що ГК₃ збільшувала кількість та масу листків на рослинах пасльонових культур, площу листків і листовий індекс насаджень [49—54].

Дослідження мезоструктурної організації листка за дії ГК₃ виявили потовщення листових пластинок внаслідок розростання клітин хлоренхіми у баклажанів [53] і картоплі [48]. У перцю солодкого і томатів за дії препарату зростає об'єм клітин стовпчастої паренхіми та збільшувалися розміри клітин губчастої паренхіми [48], а у перцю солодкого [51] та картоплі [54] — лише об'єм клітин стовпчастої паренхіми.

Ауксини. Природні та синтетичні ауксиноподібні сполуки є досить ефективними засобами стимуляції росту та розвитку рослин. Зокрема, ІОК та ІМК посилювали процес ризогенезу у рослин кукурудзи і арабідопсису [55]. Подібні морфо-фізіологічні зміни фіксували після обробки 1-НОК на рослинах адзуки [56] і сої [57] та після застосування ІОК на рослинах цицанії широколистої [58]. Внесення ІОК у ґрунт в дозі 10 мг/кг під рослини коричника камфорного в умовах вегетаційного дослідів інтенсифікувало ростові процеси у рослин і зменшувало токсичну дію кадмію [59]. На саджанцях яблуні застосовували синтетичний ауксин — ІМК у концентрації 0,5 та 1 мг/л, що стимулювало ріст як пагонів, так і коренів [60]. Рослини моркви обробляли 1-НОК у концентрації 100 мг/л. За дії препарату висота рослин зросла на 32 %, збільшилися схожість насіння, коефіцієнт проростання [24]. Подібні результати за дії цього препарату в концентрації 50 мг/л спостерігали на насадженнях полуниці [21].

Природні та синтетичні ауксини здебільшого позитивно впливали на листовий апарат рослин, масу сирі і сухої речовини вегетативних органів. Застосування синтетичних ауксинів 1-НОК (1500 мг/л) та ІМК (1500 мг/л) під час висаджування саджанців граната пришвидшувало приживлювання живців, подовжувало пагони й корені, збільшувало кількість первинних і вторинних коренів та потовщувало їх. Також за дії препаратів збільшувалася кількість листків і зростали їхні розміри та площа, зростала маса сирі й сухої речовини пагона й коренів [61]. Аналогічні результати отримано на цій культурі в разі застосування препаратів ІОК та 2,4-Д у концентраціях 20, 30 та 40 мг/л [15]. Підщепи яблуні двох сортів М6 та М26 обробляли ІМК у дозах 0,1, 0,5, 1,0 та 2,0 мг/л з метою посилення коренеутворення. За дії синтетичного ауксину істотно збільшувалася кількість основних і додаткових коренів, лінійні розміри рослин зростали або практично не змінювалися, істотно збільшувалася маса сирі речовини рослин, зростала довжина листків та їхня кількість на рослині [62].

Застосування 1-НОК на рослинах мушмули японської збільшувало площу листків, не змінювало їхню питому поверхневу щільність, істотно підвищувало масу сирі та сухої речовини, знижувало вміст води у листках. За дії препарату зменшувалася кількість продихів і збільшувалася їхня площа [34]. Збільшення площі прапорцевого листка на 24—30 % у рослин пшениці за умов 10 та 25 % засолення морською водою спостерігалось після замочування насіння на 12 год в ІОК у концентрації 5 мг/л, одночасно препарат нівелював негативний вплив чинника середовища [26]. Обробка рослин батату 2,4-Д у дозах 10 та 15 мг/л збільшувала довжину листків (11 %), хоча не впливала на їхню площу [31].

Водночас обробка лагенарії звичайної 1-НОК у дозах 50, 100 та 150 мг/л, зменшувала або не змінювала довжину пагонів і збільшувала кількість вузлів на них [32].

Нативні та синтетичні ауксини змінюють морфометричні характеристики пасльонових культур. 1-НОК у концентрації 15, 30 та 45 мг/л і 2,4-Д у концентрації 5, 10 та 15 мг/л збільшували висоту томатів і довжину міжвузля [41]. У дослідженнях інших авторів 1-НОК у дозах 25, 50, 75 і 100 мг/л збільшувала лінійні розміри цієї самої культури та посилювала галушення прямо пропорційно до зростання концентрації стимулятора росту [36]. Максимальне збільшення висоти (47 %) та галушення (64 %) рослин було зафіксовано в разі застосування препарату в концентрації 100 мг/л. Обробка двох сортів томатів 4-хлорфеноксіоцтовою кислотою у дозах 20, 40 і 60 мг/л збільшувала лінійні розміри на 22 % [37].

Разом із тим, триразова обробка на 30-, 45- та 60-у добу після пересаджування у відкритий ґрунт рослин томатів синтетичними ауксинами 2,4-Д (5 і 10 мг/л), 4-хлорфеноксіоцтовою кислотою (10 і 20 мг/л) та 1-НОК (20 і 40 мг/л) істотно зменшувала їхні лінійні розміри, а 1-НОК (40 мг/л) посилювала галушення стебла [42]. В інших дослідженнях встановлено, що ІОК не змінювала висоти рослин перцю солодкого в умовах закритого ґрунту [45].

Результати наших досліджень виявили істотні зміни листового апарату пасльонових культур за дії 1-НОК у концентрації 0,005 % в

умовах вегетаційного досліджу. У томатів препарат збільшував кількість листків на рослині та кількість пластинок на листку [48], у перцю солодкого він збільшував площу листків, масу сирі й сухої речовини вегетативних органів і лінійні розміри рослин [51, 52, 63]. Подібні морфометричні зміни за дії синтетичного ауксину спостерігали й на культурі баклажана [64] та картоплі [54].

Ми також встановили зміни у мезоструктурі листків за дії 1-НОК. У баклажана [50], картоплі [54] та перцю [51] обробка препаратом потовщувала хлоренхіму й листову пластинку, а у томатів збільшувала об'єм клітин стовпчастої паренхіми [48]. Також у баклажанів за дії препарату зростали розміри клітин губчастої паренхіми [53].

Цитокініни. Для посилення ростових і формоутворювальних процесів у аграрній практиці використовують синтетичні аналоги цитокінінів. Зокрема, обробка рослин овочевої форми амаранту (*Amaranthus caudatus* L.) пара-амінобензойною кислотою (пАБК) у концентраціях 10^{-9} М до 10^{-4} М та 6-бензиламінопурину (6-БАП) у концентрації 10^{-6} М позитивно впливали на ростові й формотворчі процеси [65]. Так, обробка насіння пАБК у концентрації 10^{-6} М підвищувала схожість насіння на 23 %, а у концентрації 10^{-4} М знижувала на 22 %. В разі застосування інших концентрацій препарату показники проростання наближались до контрольних. Подібні ефекти спостерігалися під час застосування 6-БАП у концентрації 10^{-6} М. При застосуванні пАБК у концентрації 10^{-6} М на 15-у добу висота проростків перевищувала контроль на 10 %, маса сирі речовини — на 76 %, а довжина коріння — на 113 %. Водночас у варіанті з 6-БАП (10^{-6} М) ефект виявився майже удвічі потужнішим, ніж у варіанті з пАБК. Інтенсифікація ростових процесів за дії обох синтетичних цитокінінів прослідковувалася аж до фази закладання генеративних органів. Зокрема, маса сирі речовини цілої рослини за дії обох препаратів зростала на 30—85 % порівняно з контролем. Найінтенсивніше у масі рослини збільшувалась частка листків. На 115-у добу дослідження вона перевищувала контроль на 50 % [65].

Посилення ростових процесів за обробки 6-БАП у концентрації 50 та 100 % зафіксовано на посівах соняшника [66, 67] та сої [66]. Фоліарна й насіннева обробка бавовнику цим препаратом у дозах 6 г/га та 25 мг/л позитивно впливала на ростові процеси, що зумовлювало зростання лінійних розмірів рослин, також це посилювало накопичення маси сухої речовини квіток [20].

Синтетичні цитокініни, крім дії на лінійні розміри рослин і накопичення біомаси, істотно впливають також на розвиток листового апарату. Так, 6-БАП у концентрації 100 мг/дм³ в умовах надмірного зволоження (заболочування), нівелював негативний вплив стресора на рослини кукурудзи, зокрема завдяки посиленню активності антиоксидантних ферментів, прискорював лінійний ріст на 12 % та збільшував кількість і площу листків [68]. Також він збільшував кількість гран у хлоропластах і листовий індекс посіву. Одночасно він нівелював негативний вплив заболочування [69].

Цікаві результати застосування синтетичних цитокінінів отримані на овочевих пасльонових культурах. Нові синтетичні аналоги цитокінінів

N-феніл-N'-(1,3,4-тіадіазол-2-іл)сечовина, N-феніл-N'-(1,2,3-тіадіазол-5-іл)сечовина (тидіазурон); N-феніл-N'-(3-хлор-1,2-бензизотіазол-7-іл)сечовина та N-феніл-N'-(бензотіазол-6-іл)сечовина з різною активністю стимулювали регенерацію експлантатів пагонів томатів [70].

У наших дослідженнях показано, що синтетичний цитокінін 6-БАП збільшував кількість листків на рослині, площу листків, масу листків, стебел і коренів у культури баклажана [50, 53, 64]. У томатів препарат потовщував листові пластинки через розростання клітин стовпчастої та губчастої паренхіми [48]. Збільшення лінійних розмірів рослин, кількості листків, маси листків, стебел і коренів спостерігалося за дії синтетичного цитокініну в рослин перцю солодкого. Також препарат потовщував листові пластинки внаслідок розростання клітин стовпчастої паренхіми [49, 62, 63]. Подібні морфометричні ефекти за дії синтетичного цитокініну зафіксовано на культурі картоплі [54].

Водночас застосування 6-БАП на рослинах мушмули японської зменшувало площу листків, збільшувало їх питому поверхневу щільність, масу сирої та сухої речовини, вміст води у листках. За дії препарату збільшувалася кількість продихів і зменшувалася їхня площа [34].

Вплив стимуляторів росту на фотосинтез. Відомо, що ростові та морфогенетичні процеси у рослин прямо залежать від забезпеченості рослинного організму пластичними речовинами, а також їхнім перерозподілом у процесі онтогенезу. Регулятори росту рослин досить ефективно можуть впливати на синтез асимілятів, сприяти їх накопиченню, реутилізації та перерозподілу між вегетативними й генеративними органами в процесі вегетації. Однак синтез усіх типів асимілятів, своєю чергою, залежить від активності фотосинтетичних процесів у рослині, інтенсивності транспірації, дихання і фотодихання, які теж перебувають під гормональним контролем, що може корегуватися екзогенними рістрегуляторами [4].

Регуляція росту й розвитку рослин в разі застосування нативних і синтетичних активаторів та інгібіторів, крім гормональних змін, що безпосередньо впливають на анатомо-морфологічні характеристики, реалізується також через фотосинтез, який є одним із основних компонентів пластичного і енергетичного обміну, що впливає на ріст розвитку і продуктивність рослин. У науковій літературі є чимало інформації щодо впливу стимуляторів росту на фотосинтетичні процеси, дихання й транспірацію у рослин.

Зміни вмісту хлорофілу. Хлорофіл — основний фотосинтетичний пігмент рослин. Збільшення вмісту хлорофілу в листках, а особливо хлорофільного індексу й хлорофільного фотосинтетичного потенціалу посівів є чинником підвищення інтенсивності фотосинтезу листка та чистої продуктивності фотосинтезу посіву, і як наслідок, збільшення урожайності сільськогосподарських культур [71].

Зокрема, замочування насіння рослин пшениці на 12 год у ГК₃ (50 мг/л) збільшувало вміст хлорофілу *a* і *b* та суми хлорофілів у прапорцевому листку. Концентрація каротиноїдів за дії препарату майже не змінювалася [26]. Обприскування камелії ГК₃ у дозі 100 мг/л підвищувало вміст хлорофілу на 100 % у першому листку та на 110 % у шостому листку порівняно з контролем. Інтенсивність асиміляції

CO₂ позитивно корелювала зі зростанням загального вмісту хлорофілу [72]. Інокулювання насаджень сої ризобактерією, яка значною кількістю секретувала ряд гіберелінів (ГК₁, ГК₄, ГК₉ і ГК₂₀), сприяло підвищенню порівняно з контролем вмісту хлорофілів у листках [73].

Обробка шефлери деревоподібної ГК₃ у концентраціях 100, 200 та 300 ppm упродовж двох сезонів збільшувала вміст хлорофілу *a* на 6—7 %, хлорофілу *b* — 24—38 та каротиноїдів — на 40—48 % [74]. Обприскування бавовнику на 80-у добу після посадки ГК₃ за концентрації 50 ppm збільшувало вміст хлорофілів у листках на 6—27 % [75]. Рослини томатів обробляли ГК₃ за концентрації 20 ppm, що підвищувало вміст хлорофілу на одиницю поверхні листка на 5 % [76]. Зростання вмісту хлорофілів за дії гіберелінів також фіксували у рослин магнолії [18] і льону [77].

Істотне підвищення вмісту хлорофілів у листках зафіксовано в разі застосування цитокінінових препаратів. Так, обробка рослин соняшника 6-БАП у концентрації 50 та 100 % збільшувала вміст хлорофілів у листках [67]. Цей самий препарат збільшував вміст хлорофілу у листках кукурудзи [69] та баклажана [78]. Кінетин за обробки проростків баклажанів у концентрації 10 мкМ в умовах токсичної дії кадмію нівелював негативний вплив абіотичного чинника середовища та підвищував вміст хлорофілу *a* і *b* у листках [79]. В інших дослідженнях кінетин у дозі 10 мкМ збільшував вміст каротиноїдів і суми хлорофілів у листках томатів за рахунок хлорофілу *a* [80].

Ауксини теж позитивно впливають на вміст хлорофілів у листках культурних рослин. Так, під час вегетаційного дослід у ґрунт вносили ІОК в дозі 10 мг/кг під рослини коричника камфорного, що підвищувало вміст суми хлорофілів у листках переважно за рахунок хлорофілу *a* та вміст каротиноїдів [59]. Замочування насіння рослин пшениці на 12 год в ІОК (5 мг/л), за умов 10 та 25 % засолення при поливі морською водою, збільшувало вміст хлорофілу *a* і *b* та суми хлорофілів у прапорцевому листку. Концентрація каротиноїдів за дії препаратів практично не змінювалася [26]. Обробка бавовнику на 80-у добу після посадки розчином 1-НОК у дозі 30 ppm збільшувала концентрацію хлорофілів у листках на 24 % [75]. Рослини томатів обробляли 1-НОК у дозі 20 ppm, що підвищувало вміст хлорофілу на одиницю поверхні листка на 8 % [76]. Збільшення вмісту хлорофілів за обробки 1-НОК також зафіксовано у листках бобів, квасолі та адзуки [56].

Водночас синтетичний ауксин 3,5,6-трихлор-2-піридиллоксіоцтова кислота у дозі 15 мг/л знижувала вміст хлорофілів і каротиноїдів у листках мандарину [81], а за обробки 1-НОК — у пшениці [26] та мушмули японської [34].

Доволі часто в науковій літературі трапляється інформація про зменшення вмісту хлорофілів за обробки гіберелінами. Так, рослини салату обробляли ГК₃ у дозах 150, 300 та 450 мг/л. Препарат зменшував або не змінював вміст хлорофілів у листках упродовж вегетації залежно від фази обробки [82]. Зменшення вмісту хлорофілів за обробки ГК₃ показано на рослинах перцю [83], мигдалю [84], рису [85], мушмули японської [34], лудника даурського [23], арабідопсису [28].

Результати наших досліджень свідчать, що синтетичний цитокінін — 6-БАП вірогідно збільшував вміст суми хлорофілів у листках баклажанів [50, 53, 64], перців [49, 52, 63], томатів [48] та кар-

топлі [54]. За дії ГК_3 зменшувався вміст суми хлорофілів у листках пасльонових овочевих культур [48, 50–53, 63, 64].

Застосування 1-НОК на культурі баклажанів збільшувало [50] або не змінювало [53, 64] вміст хлорофілу, тоді як на культурі томатів [48], перців [49, 52, 63] та картоплі [54] вміст основного фотосинтетичного пігменту не змінювався.

Активність фотосинтетичного апарату. Інтенсивність фотосинтезу — важливий показник, що безпосередньо впливає на біологічну продуктивність культурних рослин та урожайність господарсько-цінних органів. У літературі представлені дані про вплив стимуляторів росту різних груп на показники фотосинтетичної активності у широкого спектра рослин. Так, обробка камелії ГК_3 у дозах 100, 200 і 300 мг/л підвищувала інтенсивність фотосинтезу, що позитивно корелювало із загальним вмістом хлорофілу та параметрами флуоресценції [72]. Передпосівна обробка насіння двох сортів ярої пшениці різними концентраціями ГК_3 (1, 150 і 200 мг/л) в умовах засолення підвищувала швидкість фотосинтетичних процесів [86]. Фоліарна обробка цукрової тростини ГК_3 в умовах Індії на 90, 120 та 150-у добу після висаджування підвищувала швидкість фотосинтетичних процесів у листках [87], а обприскування рослин льону ГК_3 у дозі 10 мкмоль/л підвищувало фотосинтетичну активність листків на 10 % [77]. Подібні ефекти за дії ГК_3 було зафіксовано у рослин рису [85], бавовнику [20, 75, 88], ренутрії японської [89], арабідопсису [28].

У вегетаційному досліді вносили у ґрунт ІОК в дозі 10 мг/кг під рослини коричника камфорного з метою нівелювання токсичного впливу кадмію. За дії препарату зростала фотосинтетична активність [59]. За іншими даними, 1-НОК підвищувала швидкість фотосинтетичних процесів у рослинах сої за умов посухи [57], а синтетичний ауксин 3,5,6-трихлор-2-піридиліоксіптова кислота у дозі 15 мг/л знижувала інтенсивність асиміляції CO_2 у мандарина. Такі ефекти спостерігалися перші 20 діб після обробки. Після цього ефективність функціонування асиміляційної системи рослин мандарина відновлювалася до попереднього рівня [81]. Подібні ефекти за обробки 1-НОК спостерігали у рослин бавовнику [75].

Рослини перлового проса на двадцять добу після появи сходів обробляли 6-фурфуриламінпурином у дозі 0,25 та 0,5 мМ, що підвищувало швидкість фотосинтетичних процесів на 9–58 % упродовж періоду досліджень [90]. За дії 6-БАП інтенсифікація асиміляції CO_2 спостерігалася у рослин кукурудзи [69], рису [85], огірка [91], яблуні [92], бавовнику [20] та ренутрії японської [89].

Одним із основних регуляторів і лімітувальних чинників фотосинтезу є провідність продихів, яка визначає швидкість дифузії CO_2 всередину листка [93]. У низці досліджень представлені дані щодо змін продихової провідності за дії стимуляторів росту. Найчастіше така інформація стосується використання гіберелінів. Так, обробка рослин льону ГК_3 у дозі 10^{-6} моль/л підвищувала продихову провідність на 9–12 %, а ефективність карбоксилування — на 6–10 % [77]. В інших дослідженнях з цим самим препаратом за обробки зерна різними концентраціями (1, 150 і 200 мг/л) двох сортів ярої пшениці в умовах

засолення підвищувалася продихова провідність [86]. Рослини салату обробляли низькими концентраціями ГК_3 (10^{-6} М та 10^{-8} М), що збільшувало продихову провідність [94]. Гіберелін підвищував поглинання вуглекислого газу рослинами ренутрії японської [89].

За дії синтетичних цитокінінів поліпшувалася продихова провідність листків. Зокрема, обробка проростків огірка 6-БАП підвищувала продихову провідність, тоді як концентрація міжклітинного CO_2 майже не змінювалася, що свідчить про збалансоване підвищення провідності продихів і активності карбоксилування в хлоропластах [91]. Цей самий препарат посилював поглинання вуглекислого газу рослинами ренутрії японської [89]. Кінетин у дозі 10 мкМ підвищував продихову провідність та асиміляцію вуглекислого газу у томатів [80].

Продихова провідність тісно пов'язана з інтенсивністю транспірації. Роль продихової провідності в регуляції оптимального співвідношення інтенсивностей фотосинтезу і транспірації є дуже важливою для утримання водного балансу в рослині та ефективної асиміляції CO_2 . Літературні джерела містять незначну кількість інформації про вплив регуляторів росту на інтенсивність транспірації у культурних рослин.

Обробка зерна двох сортів ярої пшениці в умовах засолення різними концентраціями ГК_3 (1, 150 і 200 мг/л) підвищувала швидкість транспірації та ефективність використання води [86]. Рослини перлового проса на 20-у добу після появи сходів обробляли 6-фурфуриламинопурином у дозі 0,25 та 0,5 мМ, що інтенсифікувало транспірацію на 6–32 % [90]. Цей самий препарат у дозі 10 мкМ збільшував інтенсивність транспірації у томатів [80]. Застосування іншого синтетичного цитокініну 6-БАП на проростках огірка підвищувало швидкість транспірації [91]. Разом з тим, застосування ГК_3 , 1-НОК та 6-БАП зменшувало інтенсивність транспірації у саджанців мушмули [34].

Швидкість реакції Хілла, реакцій фотофосфорилування, квантовий вихід фотосистеми II, швидкість транспорту електронів у фотосистемах, рівень фотохімічного та нефотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу є важливими показниками активності процесів світлової фази фотосинтезу та його ефективності.

Стимулятори росту зазвичай позитивно впливають на процеси конверсії світлової енергії, що відбуваються в хлоропластах. Найефективнішим серед стимуляторів росту виявилось застосування синтетичних цитокінінів. Зокрема, 6-БАП на культурі пшениці підвищував квантову ефективність фотосинтетичних реакцій у фотосистемі II (ФС II) на 11–15 % у прапорцевому листку, швидкість транспортування електронів — на 16–26 % та коефіцієнт фотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу [95]. Цей самий синтетичний цитокінін підвищував інтенсивність фотосинтезу листків кукурудзи [69]. Обробка проростків огірка 6-БАП істотно підвищувала інтенсивність фотосинтетичної асиміляції CO_2 та практично не змінювала максимальну фотохімічну ефективність ФС II [91]. Обприскування рослин овочевої форми амаранту (*Amaranthus caudatus* L.) параамінобензойною кислотою і 6-БАП у концентрації 10^{-6} М підвищувало швидкість фотофосфорилування у хлоропластах на 27 і 86 % та швидкість транспорту електронів на 32 і 35 % відповідно [65].

Інший синтетичний цитокінін — кінетин, у дозі 10 мкМ підвищував максимальну квантову ефективність ФС II (F_v/F_m), реальний і максимальний квантовий вихід ФС II на світлі (Φ_{PSII} і F_v/F_m) та рівень фотохімічного гасіння флуоресценції (qP), а також зменшував нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (NPQ) у листках томатів [80]. Така сама концентрація препарату за обробки проростків баклажанів підвищувала максимальну квантову ефективність ФС II і рівень фотохімічного гасіння флуоресценції та зменшувала нефотохімічне гасіння флуоресценції, що свідчить про зростання активності ФС II, транспорту електронів у хлоропластах і зниження нефотохімічних витрат поглинутої енергії [79].

В інших дослідженнях замочування насіння рослин пшениці на 12 год у ГК₃ (50 мг/л) та ІОК (5 мг/л) за умов різного засолення морською водою підвищувало інтенсивність реакції Хілла у хлоропластах прапорцевого листка відповідно на 25—30 % та 30—37 % [26]. Обприскування рослин перцю ГК₃ у дозі 100 мкМ дещо підвищувало максимальний квантовий вихід первинних фотохімічних реакцій [83]. Обробка камелії ГК₃ у дозах 100, 200 та 300 мг/л підвищувала максимальну і реальну квантову ефективність ФС II та швидкість транспорту електронів у першому й шостому листках. Доза 100 мг/л була найефективнішою для збільшення інтенсивності фотосинтезу. Інтенсивність асиміляції CO₂ позитивно корелювала із загальним вмістом хлорофілу та параметрами активності ФС II [72]. Разом із тим, обробка рослин пшениці ГК₃ не впливала на швидкість реакції Хілла [26].

Водночас синтетичний ауксин 3,5,6-трихлор-2-піридилоксицтова кислота у дозі 15 мг/л знижувала квантовий вихід ФС II, фотохімічне гасіння флуоресценції та швидкість нециклічного перенесення електронів у листках мандарина [81]. Такі ефекти спостерігалися в перші 20 діб після обробки. Після цього ефективність функціонування асиміляційної системи рослин відновлювалася до попереднього рівня.

Продуктивність фотосинтезу залежить не лише від інтенсивності асиміляції CO₂ і синтезу новоутворених сполук, а й від використання їх у процесах темного дихання і фотодихання, які знижують показники нетто-інтенсивності та чистої продуктивності фотосинтезу. Вважають, що від 30 до 80 % продуктів фотосинтезу використовуються на дихальні процеси [96]. Зменшення витрат асимілятів на дихання, а особливо фотодихання, є важливим для поліпшення продуктивності й актуальним викликом для фізіології рослин [97]. Регулятори росту впливають на перебіг цих процесів у рослині через регуляцію їх гормонального статусу та зміну запиту на асиміляти в онтогенезі.

Водночас обробка картоплі ГК₃ після посадки бульб на 30-у добу не впливала на інтенсивність дихання бульб, а на 60-у істотно пришвидшувала цей процес [98]. Обприскування рослин перцю ГК₃ у дозі 100 мкМ знижувало інтенсивність дихання порівняно з контролем [83], тоді як у рослин арабідопсису в умовах вегетаційного дослідження практично не змінювало активність дихання [28].

В умовах вегетаційного дослідження ІОК вносили у ґрунт у дозі 10 мг/кг під рослини *Cinnamomum camphora* з метою нівелювання токсичного впливу кадмію. Екзогенний гетероауксин знижував інтенсивність дихання, що корелювало зі зростанням показників фотосинтезу [59].

Ми вивчали вплив обробки стимуляторами росту — ГК₃, 1-НОК та 6-БАП на активність фотосинтезу, дихання, транспірації та параметри квантової ефективності ФС II в листках баклажанів. Встановлено, що максимальна квантова ефективність ФС II (F_v/F_m), яка є критерієм стану реакційних центрів ФС II, виявляла тенденцію до зростання у фазу цвітіння після застосування 6-БАП та вірогідно знижувалася під час цвітіння за дії ГК₃ і мала тенденцію до зниження за дії 1-НОК. У цих випадках зменшення максимальної квантової ефективності ФС II, очевидно, зумовлено фотоінгібуванням, пов'язаним зі зниженням активності ростових процесів і асиміляції CO₂ на тлі доволі високого вмісту хлорофілу [64].

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 %. Така реакція тісно пов'язана зі зниженням інтенсивності асиміляції CO₂ і була спричинена, очевидно, істотним збільшенням розмірів фотосинтетичного апарату — зростанням кількості листків та їх сумарної площі на цілій рослині баклажана у період відсутності потужного акцептора асимілятів — плодів. У фазу формування плодів діюча квантова ефективність ФС II за обробки 6-БАП мала тенденцію до зростання [64].

Нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (NPQ), що відіграє регуляторну роль в енергетичному балансі листка, вірогідно знижувалося у варіантах із застосуванням ГК₃ у фазі цвітіння і формування плодів. За обробки іншими стимуляторами росту нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу практично не змінювалося порівняно з контролем [64].

Швидкість лінійного транспорту електронів у хлоропластах, як і активність ФС II у фазу цвітіння, знижувалася на 44 % за обробки ГК₃ і майже не змінювалася щодо контролю за дії інших стимуляторів росту. У фазі формування плодів швидкість транспорту електронів вірогідно знижувалася за обробки 1-НОК [64].

В інших досліджах ми встановили, що у рослин перцю солодкого за дії 1-НОК та 6-БАП зростала інтенсивність фотосинтезу, а за обробки ГК₃ знижувалася. ГК₃ зменшувала фотодихання та транспірацію. 6-БАП посилював транспірацію, а 1-НОК знижувала її. Усі препарати збільшували темнове дихання. ГК₃ та 6-БАП вірогідно підвищували максимальну квантову ефективність фотохімічних реакцій ФС II. Інтенсивність асиміляції CO₂ вірогідно перевищувала контроль за обробки 6-БАП та 1-НОК. Ці самі препарати підвищували фактичну квантову ефективність фотохімії ФС II та швидкість лінійного транспорту електронів [49].

Коефіцієнт фотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу вірогідно зростав після застосування 1-НОК під час цвітіння перцю солодкого та мав тенденцію до зростання у фазу формування плодів за обробки 1-НОК та 6-БАП. В разі застосування ГК₃ під час цвітіння показник фотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу вірогідно знижувався. Показник частки реакційних центрів ФС II,

що не відновлюють акцептор Q_B , практично не змінювався при застосуванні 1-НОК та GK_3 і мав тенденцію до зниження після застосування 6-БАП [49].

У наших дослідженнях з рослинами томатів встановлено, що у фазу початку формування плодів GK_3 та 6-БАП збільшували інтенсивність фотосинтезу, фотодихання, темнового дихання та транспірації, тоді як у період цвітіння ці показники були або нижчими порівняно з контролем, або здебільшого наближеними до нього [48]. У баклажанів 6-БАП підвищував інтенсивність асиміляції CO_2 , активність фотодихання і темнове дихання та посилював транспірацію [50].

Трофічне забезпечення морфогенезу за дії стимуляторів росту.

Вуглеводний метаболізм. Накопичення та перерозподіл фотоасимілятів у рослині за дії регуляторів росту має важливе значення з погляду біологічної продуктивності та урожайності. Зокрема, обробка сіянців гібридної цитрусової культури (*Citrus sinensis* (L.) Osb. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) GK_3 збільшувала вміст цукрів і крохмалю у стеблах на 52 та 37 % відповідно [29]. У коренях вміст неструктурних цукрів за дії стимулятора росту не змінювався. Загалом GK_3 збільшувала вміст суми вуглеводів на 72 %. Дослідження також показало, що GK_3 змінює розподіл асимілятів між стеблом і коренем, збільшуючи процентний вміст розчинних цукрів і крохмалю в стеблах. Ці результати вказують на те, що GK_3 стимулювала ріст і посилювала транспортування вуглеводів до стебел.

Підвищення вмісту цукрів і крохмалю при застосуванні цього самого препарату відзначали й інші дослідники у сіянців мигдалю [84], рослинах шефлери деревоподібної [74], гуави [79] та томатів [39]. У рослин арабідопсису, які вирощували в умовах вегетаційного дослідження, цей препарат збільшував вміст крохмалю і цукрози в пагонах [28].

Обробка GK_3 знижувала адаптивність рослин рису до затоплення водою та зменшувала вміст цукрів і крохмалю у рослині [33]. Препарат у дозі 0,05 мМ зменшував вміст крохмалю в коренях проростків квасолі на 23 %, а у пагонах — на 8 % [27]. Обприскування камелії GK_3 у дозах 100 і 200 мг/л знизило рівень крохмалю та розчинних цукрів у 1- та 6-у листках, але збільшило рівень у 1- і 6-й бруньках [72]. GK_3 у дозі 40 ppm зменшувала вміст глюкози та фруктози рослин перцю солодкокого [45]. У проростків рису GK_3 пришвидшувала використання крохмалю та цукрів, чим знижувала виживаність рослин [85].

В інших дослідженнях рослини рису в умовах сольового стресу обробляли нативним ауксином — ІОК та синтетичним цитокиніном — кінетином. Було встановлено, що ІОК збільшувала вміст крохмалю у зерні, однак обидва препарати зменшували в ньому вміст цукрів. Разом з тим, за дії ауксину вміст цукрів залишався вищим, ніж у варіанті із синтетичним цитокиніном [99].

Обробка рослин перлового проса на 20-у добу після появи сходів 6-фурфуриламінпурином у дозі 0,25 та 0,5 мМ підвищувала вміст розчинних цукрів та крохмалю у листках упродовж вегетації на 11—48 % і 14—49 % відповідно [90]. ІОК та кінетин збільшували вміст крохмалю у зернах рису та зменшували вміст цукрів. Ауксиновий стимулятор був ефективнішим, ніж цитокиніновий щодо збільшення вмісту крохмалю та зменшення вмісту цукрів. Обприскування рослин

Zizania latifolia ІОК підвищувало вміст глюкози, фруктози й цукрози та загальних розчинних цукрів [58]. Обробка рослин соняшника 6-БАП у концентрації 50 та 100 % збільшувала активність амілолітичних ферментів і вміст вуглеводів у вегетативних органах рослини та покращувала якість насіння [67].

Позитивні зміни спостерігалися за дії стимуляторів росту і на овочевих культурах. Так, 6-БАП в умовах затемнення нівелював негативний вплив цього чинника та збільшував вміст загального цукру, цукрози та крохмалю у рослинах огірка [91]. Обробка рослин батату ГК₃ (200 і 300 ppm та 10 і 15 ppm) збільшувала вміст цукрів у бульбах [31].

Обробка рослин манго сорту Dusehri в субтропічних районах Пакистану ауксинами 1-НОК та 2,4-Д збільшувала у плодах загальний вміст цукрів за рахунок як редукувальних, так і нередукувальних форм на 70—79 % [100].

В інших дослідженнях ГК₃ знижувала вміст редукувальних цукрів у плодах мандарину, тоді як 2,4-Д збільшувала загальний вміст цукрів за рахунок нередукувальних форм [101].

Застосування синтетичного цитокініну флорхлорфенурону на насадженнях ківі сорту Хейворд у Центральній Італії не впливало на вміст і накопичення вуглеводів у плодах загалом і на вміст глюкози, фруктози, цукрози та крохмалю зокрема [102]. Екзогенний гетероауксин у дозі 10 мг/кг знижував вміст розчинних цукрів у листках *Cinnamomum camphora* [59].

Замочування насіння рослин пшениці на 12 год у ГК₃ (50 мг/л) та ІОК (5 мг/л) за умов 10 та 25 % засолення морською водою збільшувало вміст цукрів на 37—76 % і 7—8 % поліцукридів [26]. У працях інших дослідників замочування насіння бавовнику в розчинах ГК₃ та 6-БАП збільшувало вміст вуглеводів у нижніх листках та посилювало транспорт вуглеводів до генеративних органів [20]. Водночас фоліарна та насіннева обробки цієї самої культури ГК₃ і 6-БАП зменшували вміст цукрози й крохмалю у листках і збільшували у пуп'янках [20].

Проведені нами дослідження із застосування стимуляторів росту 1-НОК, ГК₃ та 6-БАП на культурі баклажанів показали, що упродовж вегетаційного періоду відбувався відтік цукрів, переважно за рахунок редукувальних форм, із вегетативних органів у плоди як у досліді, так і в контролі [103]. Виявлено, що вміст крохмалю зростав у коренях під час вегетації, у плодах зростав у першій половині вегетації та знижувався у стеблах і листках. Стимулятори росту сприяли накопиченню асимілятів у вегетативних органах у першій половині вегетації та посилювали їх надходження до плодів у другій. Усі препарати підвищували накопичення цукрів і крохмалю в плодах упродовж вегетації.

Метаболізм азотовмісних сполук. Стимулятори росту й розвитку рослин впливають не лише на фотосинтетичні процеси і накопичення фотоасимілятів, а й на накопичення та перерозподіл азотовмісних сполук. Зокрема, шефлеру деревоподібну обробляли ГК₃ у дозі 100, 200 та 300 ppm упродовж двох сезонів. Стимулятор росту збільшував вміст азоту, фосфору та калію у листках і стеблах. Збільшення дози препарату посилювало накопичення елементів мінерального живлення у вегетативних органах [74]. Аналогічні результати за дії цього препарату зафіксовано у листках магнолії [18] та льону [77]. Обприску-

вання рослин салату низькими концентраціями ГК₃ (10⁻⁶ і 10⁻⁸ М) посилювало накопичення азоту рослинами [94]. Препарат у дозі 0,05 мМ збільшував на 23 % вміст білків у коренях і на 6 % зменшував у пагонах проростків квасолі [27]. Передпосівна обробка насіння пшениці ГК₃ (50 мг/л) та ІОК (5 мг/л) за різних умов засолення збільшувала вміст білків у прапорцевому листку на 7—8 і 8—9 % відповідно [26]. Фоліарна обробка рослин квасолі 1-НОК у низьких та середніх концентраціях підвищувала вміст білків у насінні, плодах і листках адзуки [56].

Значні зміни азотного метаболізму виявлені за впливу природних і синтетичних стимуляторів росту цитокінінової дії. 6-БАП у концентрації 100 мг/дм³ в умовах заболочування нівелював негативний вплив чинника середовища у рослин кукурудзи сорту DengHai 605 посиленням синтезу білків у вегетативних органах рослини [68]. У рослин сояшника препарат у концентрації 50 та 100 % збільшував вміст білків у насінні [67]. Обробки рослин овочевої форми амаранту (*Amaranthus caudatus* L.) параамінобензойною кислотою та 6-БАП у концентрації 10⁻⁶ М збільшували активність нітратредуктази відповідно на 37 і 85 % та вміст сумарного білка відповідно на 10 і 38 % порівняно з контролем, що підвищувало харчову цінність культури [65]. Рослини перлового проса на 20-у добу після появи сходів обробляли 6-фурфуриламинопурином у дозі 0,25 та 0,5 мМ, що підвищувало вміст білків у листках упродовж вегетації на 29—82 %. Водночас відзначалося зменшення вмісту проліну та інших вільних амінокислот, що може вказувати на інтенсивніше їх використання для синтезу білків і ферментів [90].

Однак обробка рослин сорго ГК₃ у дозі 50 мг/л зменшувала вміст білків на 20 % [104]. Цей препарат майже не змінював вміст білків і вільних амінокислот у пагонах арабідопсису [28]. Внесення в ґрунт ІОК в дозі 10 мг/кг в умовах вегетаційного дослідження під рослини камфорного лавра (*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl) знижувало вміст білків у листках, проте нівелювало токсичний вплив кадмію [59].

Вплив стимуляторів росту на фітогормональний комплекс рослин. Фітогормони відіграють ключову роль у регулюванні життєдіяльності, росту та розвитку рослин. Натепер сформувалася концепція взаємозалежної гормональної регуляції у рослин, згідно з якою сигнальні шляхи окремих гормонів не просто перетинаються, а утворюють єдину інтегративну систему, в якій фітогормони діють комплексно, модифікуючи дію один одного [4, 5, 105]. Показано, що екзогенні стимулятори росту як природні, так і синтетичні істотно змінюють гормональний баланс рослин. Зокрема виявлено, що екзогенний ауксин впливає на біосинтез і передавання сигналів гіберелінів, а ГК₃ може регулювати локальний біосинтез ауксину та полярний транспорт в коренях рису [106]. Обприскування саджанців цукрової тростини екзогенною ГК₃ на ранніх етапах онтогенезу збільшувало вміст ендогенної ГК₃ [107]. Вміст ІОК істотно перевищував контроль упродовж шести діб після обробки. Надалі концентрація ауксину була меншою або наближеною до контрольної. Вміст суми цитокінінів у перші 12 діб після обробки був вірогідно нижчим від контролю, а на 24-у добу наближався до контролю. Екзогенна ГК₃ на 6—12 добу зменшувала вміст етилену, а на 24-у істотно збільшувала, тоді як кількість АБК у цукрової тростини упродовж вегетаційного періоду була стабільно нижчою від контрольної з 6-ї доби.

Обробка зернівок двох сортів ярої пшениці в умовах засолення різними концентраціями ГК₃ (100, 150 і 200 мг/л) нівелювала негативний вплив хлориду натрію та істотно знижувала вміст стресового гормону — АБК у листках. В умовах сольового стресу значно зростав вміст ендогенної ІОК. Автори вказують на пряму залежність між збільшенням концентрації екзогенної ГК₃ та зниженням вмісту ендогенної ГК₃ у листках пшениці за умов засолення [86].

ГК₃ у дозах 100, 200 та 300 мг/л істотно впливала на рівень ендогенних фітогормонів у рослин камелії [72]. Ендогенні рівні гібереліну та ауксину зросли, а АБК знизилася в 1- та 6-у листках після застосування екзогенної ГК₃. В іншому дослідженні насіння огірка замочували у водних розчинах ГК₃ у концентраціях 1, 30, 45 і 60 мкмоль/л та пророщували. Стимулятор росту збільшував вміст ендогенної ГК₃ та ІОК у листках під час бутонізації, початку цвітіння, цвітіння та плодоношення. Максимальні значення вмісту ендогенних гормонів-стимуляторів спостерігалися під час цвітіння та плодоношення [108].

Виявлено, що інокуляція коренів дефіцитного за гіберелінами сорту рису грибами, виділеними із коренів огірка, що містили ряд гіберелінів (ГК₁, ГК₃, ГК₄, ГК₈, ГК₉, ГК₁₂, ГК₂₀ і ГК₂₄) та ІОК, зменшувала вміст АБК [16]. Інокулювання насаджень сої ризобактерією, яка значно секретувала гібереліни ГК₁, ГК₄, ГК₉ і ГК₂₀, зумовлювало зниження АБК [73]. Обробка виноградних грон екзогенними ГК₃ і ІОК та синтетичним ауксином — 1-НОК та синтетичним цитокініном 6-БАП зменшували вміст ендогенної АБК у черешках і гронах, що знижувало опадання ягід [109]. Застосування екзогенної ГК₃ та 6-БАП збільшувало вміст ендогенних гіберелінів і цитокінінів у рослинах рейнутрії японської [89]. Обприскування рослин лахеналії синтетичним ауксином 1-НОК і трьома синтетичними цитокінінами 6-БАП, метатополірибозидом та ізопентеніладеніном у концентраціях 1, 5 і 10 мкМ збільшувало вміст нативних цитокінінів [110].

На саджанцях яблуні застосовували синтетичний ауксин індоліл-3-бутанову кислоту у концентраціях 0,5 і 1 мг/л, що знижувало вміст гіберелінів у рослині та збільшувало ІОК, зеатинрибозиду й АБК. За дії препарату також зростало співвідношення ІОК/АБК і АБК/ГК [60]. За іншими даними, 1-НОК підвищувала вміст ендогенних АБК та ІОК у рослинах сої за умов посухи [57].

Синтетичний ауксин 3,5,6-трихлор-2-піридиліоксіцтова кислота у дозі 15 мг/л збільшував синтез етилену в плодах мандаринів, що зумовлювало їх швидке опадання [81]. Обробка насіння *Zizania latifolia* екзогенною ІОК підвищувала вміст ендогенної ІОК у вегетативних органах [58].

Рослини пшениці обробляли синтетичним цитокініном 6-БАП у дозі 25 мг/л та антицитокініновим препаратом ловастатином — 300 мг/л. Цитокінін збільшував вміст нативного цитокініну зеатинрибозиду, ІОК і ГК₃. Натомість вміст АБК зменшувався. За дії антицитокініну ловастатину знижувався вміст стимулювальних фітогормонів (зеатинрибозиду, ІОК і ГК₃) і зростав вміст АБК [95].

Обробка рослин огірків 6-БАП збільшувала вміст у плодах усіх груп нативних цитокінінових гормонів (зеатину, зеатинрибозиду, ізопентеніладенозину та ізопентеніладеніну). За дії екзогенної ІОК зростав вміст ендогенної ІОК [111].

Обприскування яблуні 6-БАП у концентрації 300 мг/л до початку цвітіння зменшувало вміст ІОК і збільшувало вміст різних груп цитокінінів, також за дії препарату зростало співвідношення цитокініні/ІОК [112]. Листки цієї культури обробляли 6-БАП у дозі 100 мл/л з метою хімічного проріджування дрібних плодів. Встановлено, що препарат зменшував вміст ІОК у плодах і сприяв збільшенню цього фітогормону у верхівках бічних пагонів [92].

Водночас обробка бульб китайського ямса $ГК_3$ не впливала на синтез гормонів-інгібіторів [35]. В інших дослідженнях $ГК_3$ у першу годину після обробки рису неістотно збільшувала вміст ендogenous гіберелінів, а на наступних етапах вегетації значно його зменшувала [113].

В літературних джерелах інколи зустрічаються дані про зміни вмісту ендogenous гормонів за дії стимуляторів росту у пасльонових культур. Так, обробка рослин перців екзогенним цитокініном збільшувала вміст ендogenous цитокінінів, $ГК_3$ та ІОК у молодих незрілих плодах. Зі збільшенням розмірів плодів вміст транс-зеатинового рибозиду зростав [114]. Екзогенна $ГК_3$ збільшувала вміст цитокінінів, ІОК та АБК у рослин томатів [38].

Результати наших досліджень свідчать, що після фоліарної обробки стимуляторами росту 1-НОК, $ГК_3$ й 6-БАП в стеблах солодкого перцю зменшився вміст ендogenous ІОК та АБК [51]. Натомість рівень ендogenous $ГК_3$ після обприскування водними розчинами 1-НОК та $ГК_3$ підвищився, тоді як після 6-БАП, навпаки, знизився. У листках перцю солодкого після застосування стимуляторів росту зафіксоване зростання вмісту ендogenous ІОК. Максимум вмісту цього фітогормону спостерігався після обробки 1-НОК. Екзогенні 1-НОК та 6-БАП гальмували накопичення ендogenous $ГК_3$, натомість екзогенна $ГК_3$ посилювала акумуляцію фітогормону в листках перців. Усі досліджені стимулятори росту спричинювали зменшення вмісту АБК у листках перцю солодкого. Найвиразнішим був ефект екзогенної $ГК_3$. За дії 1-НОК зменшувався пул ендogenous цитокінінів у стеблах і збільшувався в листках, тоді як обробка розчином $ГК_3$ практично не впливала на накопичення цитокінінів [51].

В інших наших дослідженнях із застосування стимуляторів росту на культурі баклажана 1-НОК, $ГК_3$ і 6-БАП вірогідно збільшували вміст ІОК, $ГК_3$ та АБК у стеблах [53]. У листках за дії 6-БАП містилися сліди ендogenous ІОК і $ГК_3$, а екзогенні 1-НОК та $ГК_3$ істотно збільшували вміст ендogenous ІОК. 1-НОК зменшувала, а екзогенна $ГК_3$ збільшувала вміст ендogenous $ГК_3$. Екзогенні 1-НОК і $ГК_3$ збільшували, а 6-БАП зменшувала вміст АБК у листках рослин. 1-НОК збільшувала вміст суми цитокінінів у стеблах і листках, а 6-БАП зменшувала у стеблах та збільшувала у листках. Екзогенна $ГК_3$ на вміст цитокінінів майже не впливала [53].

Застосування стимуляторів росту для поліпшення врожаю культурних рослин. Відомо, що з погляду сучасної фізіології рослина є цілісною, саморегулювальною системою, в основі якої лежать донорно-акцепторні відносини між фотосинтезуючими тканинами, органами, які виступають у ролі тимчасового депо пластичних речовин, та акцепторами асимілятів — органами запасання і швидкорослими органами [115].

Стимулятори росту впливають на характер донорно-акцепторних відносин у рослині. Наслідком цього є анатомо-морфологічні зміни вегетативних органів, перебудова асиміляційного апарату, утворення додаткових атрагувальних центрів вегетативного та генеративного походження. Збільшення атрагувальної здатності акцепторних зон призводить до посилення фотосинтетичної фіксації вуглекислого газу, збільшення продуктивності фотосинтезу, зростання частки транспортних форм (цукрози) та відтоку асимілятів із листків.

Ауксини. У науковій літературі є численні дані про вплив стимуляторів росту ауксинової природи на продукційний процес у сільськогосподарських культур. Зокрема, фоліарна обробка озимої пшениці ауксинами — нативним фітогормоном ІОК та синтетичним ауксином 1-НОК у концентраціях 50, 100 і 150 мг/л збільшували урожайність відповідно до 11 та 4 % [116]. На рослини рису в умовах сольового стресу діяли ІОК, що зумовило підвищення урожайності культури внаслідок збільшення маси 1000 зернин [99]. 1-НОК у концентрації 0,5 мл/л збільшувала урожайність квасолі через зростання кількості бобів на рослині, кількості насінин у бобі та маси 100 насінин [56, 117].

Обробка рослин мандарину сорту *Montenegrina* в умовах південних районів Бразилії 3,5,6-трихлор-2-піридинілоксіоцтовою кислотою зменшувала кількість дрібних плодів на рослині та опадання плодів у процесі дозрівання [118]. Збільшення дози препарату від 10 до 40 мг/л сприяло не лише утворенню великих плодів, а й пришвидшенню їх дозрівання. Препарат у дозі 15 мг/л гальмував процеси накопичення фотоасимілятів у плодах цієї ж культури у перші 3—8 діб після обробки, що знижувало швидкість росту плодів [81]. Після 20-ї доби швидкість росту плодів на рослинах, що зазнали впливу препарату, істотно зросла і перевищила контрольний варіант досліджу.

Застосування синтетичних аналогів ауксинів 1-НОК та 2,4-Д у концентраціях 10 і 20 ppm, зменшувало опадання плодів у мандарина та збільшувало їхню масу [119]. Обробка рослин мандарина 2,4-Д знижувала кислотність плодів, збільшувала частку їхньої сухої речовини [101]. Обприскування рослин апельсинів в умовах Туреччини 2,4-Д зменшувало опадання плодів, збільшувало розміри, масу та урожайність, проте внаслідок цього зростала кислотність плодів [120].

Рослини куркуми обробляли 1-НОК у дозі 20 ppm. Стимулятор росту збільшував кількість пагонів на рослині на 21 % та загальну урожайність на 20 %. Зростали також розміри плодів на 14 % і урожайність на 35 % [121]. 1-НОК у дозі 40 ppm пришвидшувала цвітіння граната [15], а у дозі 50 ppm — полуниці [21]. 1-НОК (100, 150 і 200 ppm) на рослинах гревії азійської пришвидшувала цвітіння на три доби, збільшувала кількість квіток на 17 % та підвищувала урожайність плодів на 52 % порівняно з контролем [122].

1-НОК та 2,4-Д зменшували опадання та збільшували масу плодів манго сорту *Dusehri* на 17,6 й 8,7 % відповідно, а 1-НОК і 2,4-Д кислоти покращували якість плодів та збільшували у них вміст аскорбінової кислоти [100]. 1-НОК у дозі 16,5 мкл/л зменшувала кількість яблук на рослині та збільшувала їхню масу та розміри [123]. 2,4-Д пришвидшувала дозрівання плодів момордики дводомної та зменшувала кількість насінин у плодах, а також підвищувала їхню якість [124].

Широко застосовують ауксин і на овочевих культурах. Проростки огірка у польових умовах обробляли синтетичними ауксинами 1-НОК у дозі 10 та 100 ppm. Препарати покращували або не змінювали елементи продуктивності [125]. Рослини моркви обробляли 1-НОК (100 ppm), що збільшувало діаметр зонтика, кількість насінин у складному зонтику, масу 1000 насінин, довжину квітконосного пагона, але зменшувало висоту зонтика і скорочувало період вегетації на три доби [24]. Обробка 1-НОК підвищувала урожайність гарбузів [126, 127] і батату [31].

1-НОК у концентрації 50 та 100 % підвищувала урожайність насіння соняшника прямо пропорційно з підвищенням дози препарату [67]. Подібні результати на цій культурі в разі застосування цього самого препарату фіксували й інші дослідники [128]. Обробка бавовнику на 80-у добу після посадки 1-НОК у дозі 30 ppm підвищувала насіннєву продуктивність на 37–45 % та збільшувала урожай насіння на 11–17 % [75].

Лагенарію звичайну обробляли 1-НОК у концентраціях 50, 100 і 150 ppm, що пришвидшувало дозрівання плодів на 2–4 доби, але зменшувало довжину й діаметр плодів та їхню масу, а також знижувало кількість плодів на рослині, зменшувало загальну урожайність до 15 і 20 % відповідно [32].

Нативні та синтетичні ауксини також застосовують і на овочевих пасльонових культурах. Зокрема, дві концентрації трьох різних синтетичних аналогів ауксинів 2,4-Д (5 і 10 ppm), 4-хлорфеноксіоцтова кислота (4-CPA) (10 і 20 ppm) та 1-НОК (20 і 40 ppm) застосовували на рослинах томатів триразовою обробкою листків на 30, 45 та 60-у добу після пересаджування у відкритий ґрунт. Усі препарати збільшували кількість плодів на рослині та потовщували шкірку плода, а 2,4-Д і 4-CPA пришвидшували дозрівання плодів, збільшували їхні розміри й кількість камер. 1-НОК підвищувала частку сухої речовини у плоді, 2,4-Д і 4-CPA найістотніше збільшували загальну урожайність [42]. 2,4-Д (2,5, 5,0 та 7,5 ppm) та 4-CPA (20, 30 і 40 ppm) на цій самій культурі в умовах вегетаційного дослідження збільшували кількість плодів в одному суцвітті та кількість плодів на рослині, що підвищувало урожайність з однієї рослини [129]. Застосування на томатах 1-НОК в концентрації 25 ppm збільшувало урожайність плодів на 75 % [129]. Зростання кількості плодів, маси одного плода та урожайності рослин виявлено за обробки двох сортів томатів 4-CPA у концентрації 20 ppm [37].

2,4-Д сприяла збільшенню розмірів плодів томатів і зменшенню їх кількості на рослині. Препарат зменшував кількість насінин у плодах та їхню масу [130]. Водночас ІОК зменшувала урожайність перцю в умовах закритого ґрунту [45].

Проведеними нами дослідженнями встановлено, що 1-НОК у концентрації 0,05 % підвищувала урожайність плодів баклажанів на 47 % [50], томатів на 19 % [48], перцю солодкого на 18 % [51, 52] внаслідок інтенсифікації закладання квіток і збільшення кількості плодів на рослинах. В разі застосування синтетичного ауксину на насадженнях картоплі спостерігалася лише тенденція до збільшення урожайності бульб порівняно з контролем [54].

Гібереліни. Наступною групою стимуляторів росту, що широко застосовують для покращення урожайності культур є гібереліни. Обробка зерна двох сортів ярої пшениці в умовах засолення різними концентраціями ГК₃ (100, 150 і 200 мг/л) збільшувала урожай зерна внаслідок зростання кількості зернин у колосі та маси 100 насінин [86]. Фоліарна обробка рослин озимої пшениці ГК₃ у концентрації 50 мг/л збільшувала урожайність на 7 % [116]. Цей препарат збільшував урожай французької квасолі [56]. Поліпшення продуктивності за обробки ГК₃ зафіксовано також для рослин кукурудзи [130] і соняшника [128].

Застосовують гібереліни також на олійних і технічних культурах. Так, ГК₃ у концентрації 10^{-6} М посилювала галуження рослин маку олійного, внаслідок чого зросла урожайність культури та поліпшилася його якість. Крім цього, за дії стимулятора росту збільшився вміст морфіну у сировині [131]. Обприскування рослин льону ГК₃ у дозі 10^{-6} моль/л збільшувало урожайність насіння на 83 %, вихід олії з насіння на 97 % та вихід волокон на 79 % [77].

Обробка цукрової тростини ГК₃ у дозі 150 ppm збільшувала продуктивність та цукристість, що покращувало економічні показники вирощування [17]. Застосування ГК₃ у концентрації 50 ppm на культурі бавовнику на 80-у добу після посадки підвищувало насінневу продуктивність на 32–33 % та збільшувало урожай насіння на 6–11 % [75]. В інших дослідженнях препарат збільшував кількість квіток на рослині бавовнику в результаті замочування насіння і позакореневого застосування. Одночасно за його дії відбувалося збільшення маси сухої речовини квіток [20].

ГК₃ збільшувала кількість первинних пагонів та розмірів квіток у фіалки триколірної [132]. Обробка рослин китайської айстри цим самим препаратом у дозі 200 ppm збільшувала діаметр квіток, їхню масу та урожайність [133], натомість у дудника даурського препарат збільшував урожай коріння [23]. Застосування різних концентрацій ГК₃ (100, 150 і 200 ppm) на рослинах гревії азіатської пришвидшувало цвітіння на 8 днів, збільшувало кількість квіток на рослині на 21 % та підвищувало урожайність плодів на 60 % порівняно з контролем [122].

Гібереліни часто застосовують на овочевих і плодових культурах. Зокрема, обробка рослин гуави ГК₃ у дозі 50 ppm підвищувала загальну урожайність культури, збільшувала як вміст м'якоті у плодах, так і соку. Якість плодів покращувалася через збільшення вмісту аскорбінової кислоти та зниження кислотності. За дії препарату також підвищувалася насіннева продуктивність культури [134]. Дія ГК₃ на полуницю (100 ppm) [21] і гранат (75 ppm) [15] пришвидшувала цвітіння та збільшувала кількість квіток на рослині.

Насіння огірка замочували у водному розчині ГК₃ у дозах 13, 30, 45 і 60 мкмоль/л. За дії препарату маса одного плоду мала тенденцію до зростання, тоді як кількість плодів на одній рослині істотно збільшувалася, що зумовило зростання урожаю плодів з рослини прямо пропорційно дозі застосовуваного препарату [108]. Обприскування рослин салату у фазу восьмого листка ГК₃ підвищувало урожай насіння та збільшувало площу листків [135]. ГК₃ у низьких концентраціях (10^{-6} М, 10^{-8} М) збільшувала урожай зеленої маси рослин са-

лату [94]. Вищі концентрації ГК₃ (150, 300 та 450 мг/л) також підвищували урожай листків цієї культури [82]. Обприскування рослин редьки у фазу утворення розетки ГК₃ у концентрації 150 мг/л зменшувало масу коренеплоду на 5 %, а його товщину — на 7 % [136]. ГК₃ у дозі 40 ppm збільшувала урожайність плодів лагенарії практично у 2,5 раза [126]. За іншими даними, обробка гарбузів ГК₃ у дозі 50 ppm пришвидшувала ріст плодів та їхню масу [127]. Фоліарна обробка рослин лагенарії ГК₃ у дозі 30 мкмоль збільшувала кількість квіток і плодів на рослині [19]. Рослини момордики обробляли трьома концентраціями ГК₃ (20, 40 і 60 ppm). Найефективнішою щодо підвищення урожайності (до 40 %) була концентрація препарату 20 ppm [137]. ГК₃ збільшувала діаметр зонтика моркви, кількість насінин у ньому, масу 1000 насінин, довжину квітконосного пагона, але зменшувала висоту зонтика та скорочувала період вегетації на десять діб [24]. На рослини батату впливали ГК₃ (200 та 300 ppm), що збільшувало кількість квіток на рослині, підвищувало насінневу продуктивність і урожайність бульб [31].

Разом із тим, за обробки лагенарії звичайної ГК₃ у дозах 50, 100 та 150 ppm відбувалося пришвидшення дозрівання плодів на 2—4 доби, але зменшувалися їхні довжина, діаметр і маса, а також знижувалася кількість плодів на рослині, що зменшувало загальну урожайність на 20 % [32]. Обприскування рослин мандарина ГК₃ знижувало масу сирій речовини плодів та яскравість їхнього забарвлення [101].

Гібереліни застосовують з метою підвищення продуктивності рослин і на овочевих пасльонових культурах. Обробка рослин томатів ГК₃ у дозі 40 ppm пришвидшувала початок цвітіння, скорочувала час цвітіння, збільшувала кількість квіток на рослині. Результатом цього було збільшення кількості плодів на рослині та середньої маси одного плоду більше ніж удвічі, одночасно зростали розміри плодів на 40 %. Такі зміни в елементах продуктивності томатів за дії ГК₃ зумовили підвищення загальної урожайності культури на 15,6 %. Препарат знижував кислотність плодів і підвищував частку сухої речовини [39].

Застосування ГК₃ на культурі перцю у дозі 10, 20, 30 та 40 ppm збільшувала урожайність плодів на 67 % внаслідок збільшення кількості плодів на рослині на 64 %, маси одного плоду на 16 % та розмірів плодів на 10—20 % [138]. У інших дослідженнях на рослинах цієї культури обробка ГК₃ у дозі 100 мкМ збільшувала довжину плодів на 6 % та їхню кількість на рослині на 10 % [83]. Препарат збільшував вміст сухих розчинних речовин у плодах на 5 %, практично не змінював їхню кислотність порівняно з контролем та пришвидшував цвітіння й дозрівання майже на один тиждень. За дії ГК₃ зростав вміст вітаміну С на 14 %. Подібні ефекти за дії цього препарату спостерігали на культурах перців та томатів й інші дослідники [36, 139—141]. Водночас відомо, що обробка рослин ГК₃ зменшувала урожайність перцю солодкого в умовах закритого ґрунту [45].

За результатами наших досліджень встановлено, що ГК₃ у концентрації 0,05 % підвищувала урожайність плодів баклажанів на 49 % [50, 53], а томатів — на 48 % [48] через збільшення кількості плодів на рослинах і маси плода. У перцю солодкого урожайність зростала на 19 % внаслідок інтенсифікації закладання квіток і збільшення кількості плодів на рослинах [51, 52]. В разі застосування синтетич-

ного ГК₃ на насадженнях картоплі спостерігалось вірогідне збільшення урожайності бульб порівняно з контролем на 35 % [54].

Цитокініни. Для підвищення продуктивності і якості аграрної продукції застосовують і цитокінінові стимулятори росту. Зокрема, рослини пшениці обприскували синтетичним цитокініном 6-БАП у дозі 25 мг/л та антицитокініновим препаратом ловастатином — 300 мг/л. Синтетичний цитокінін збільшував урожайність зерна внаслідок зростання маси 1000 насінин. Кількість колосків і насінин у них за дії 6-БАП істотно не змінювалася [95].

Синтетичний цитокінін 6-БАП у концентрації 100 мг/л за умов надмірного забезпечення вологою нівелював негативний вплив чинника середовища на рослини кукурудзи сорту DengHai 605 та підвищував її урожайність [68]. Рослини рису в умовах сольового стресу обробляли ІОК і синтетичним цитокініном — кінетином, що підвищувало урожайність культури через збільшення маси 1000 зернин [99]. Зростання продуктивності в разі застосування 6-БАП зафіксовано також на культурах кукурудзи [130] та квасолі [142].

Застосування синтетичних цитокінінів 6-БАП і форхлорфену-рону збільшувало кількість чоловічих і жіночих квіток у рослин *Jatropha curcas* L., а також кількість плодів та знижувало рівень їх опадання. Обидва препарати знижували масу насіння з плоду, але збільшували вміст олії у них [143]. В інших дослідженнях на цій культурі 6-БПА збільшував кількість квіток і плодів на рослині майже вдвічі, що підвищувало загальну урожайність на 92 % [144]. За даними інших авторів, обробка рослин *Plukenetia volubilis* L. 6-БАП у концентрації 160 мг/л збільшувала кількість жіночих квіток на 24 % [145]. Фоліарне застосування кінетину у концентрації 10⁻⁵ М у фазу цвітіння на рослинах шафрану підвищувало насінневу продуктивність через зростання маси 100 насінин та покращувало якість олії внаслідок зменшення її кислотності, збільшення вмісту олеїнової кислоти та зменшення лінолевої [146]. Підвищення продуктивності при застосуванні даного препарату відбувалося також на посівах соняшника [128].

6-БАП збільшувала насінневу продуктивність бавовнику упродовж дворічних досліджень в умовах Китаю [20]. Препарат збільшував кількість квіток та коробочок на рослині, масу насіння з коробочки та зменшував рівень опадання коробочок. Подібні результати на цій культурі в разі застосування 6-БАП та N,N-диметилпіперидиніумхлоридом були зафіксовані й іншими науковцями [88].

Плодово-ягідні культури також обробляють стимуляторами росту з метою підвищення урожайності та якості продукції. Зокрема, застосовували 6-БАП на яблуні у дозі 100 мг/л з метою хімічного проріджування дрібних плодів. Препарат посилював опадання дрібних плодів і не впливав на розмір й кількість великих. Фоліарна обробка зумовлювала зменшення кількості та розмірів плодів у фазу достигання, однак у фазу технічної стиглості кількість і розміри плодів перевищували контрольний показник [92]. За результатами інших досліджень на цій культурі обробка препаратом в концентрації 300 мг/л до початку цвітіння пришвидшувала цвітіння й стимулювала закладання нових квіток [112].

Застосування синтетичного цитокініну флорхлорфенуруну на насадженнях ківі сорту Хейворд у Центральній Італії підвищувало масу сухої речовини плодів та загальну урожайність [102]. Плоди з рослин, що були оброблені синтетичним цитокініном, краще зберігалися без зміни якості. Обробка рослин амаранту (*Amaranthus caudatus* L.) параамінобензойною кислотою та 6-БАП у концентрації 10^{-6} М підвищувала урожайність культури [65]. 6-БАП у культурі куркуми зменшував кількість пагонів на 13 %, але збільшував урожай плодів на 5 % [121]. За його дії також зменшувалися розміри плодів на 3 %, натомість зростала їхня урожайність на 5 %.

Водночас у дворічних дослідях з обробкою проростків огірка кінетином у концентрації 2 та 20 ppm та тидизауроном у концентрації 1 та 10 ppm у польових умовах не спостерігалось істотного впливу препаратів на елементи продуктивності [125].

Застосовують цитокінін для підвищення продуктивності також овочевих пасльонових культур. Кінетин у концентраціях 25, 50 та 75 ppm в разі застосуванні на рослинах томатів сорту Shivaji на сьому добу після пересаджування рослин із закритого ґрунту у відкритий пришвидшував цвітіння, збільшував кількість квіток на рослині, подовжував та потовщував плоди й збільшував їхню кількість, внаслідок чого збільшувалася загальна урожайність культури на 61 % (25 ppm) [139].

Ми встановили, що 6-БАП у концентрації 0,05 % підвищував урожайність плодів баклажанів на 65 % [50, 53], томатів — 96 % [48], перців — на 93 % [51, 52] внаслідок збільшення кількості плодів на рослинах, маси сухої та сирої речовини плодів. При застосуванні 6-БАП на насадженнях картоплі спостерігалось вірогідне збільшення урожайності бульб порівняно з контролем на 28 % [54].

Підсумок. Отже, застосування екзогенних природних і синтетичних стимуляторів росту з метою підвищення біологічної продуктивності культурних рослин і покращення якості аграрної продукції є перспективним напрямом розвитку сучасних агротехнологій. Їх використання доволі ефективне як для стимулювання морфогенних процесів, активізації фотосинтезу, оптимізації продукційного процесу, поліпшення врожайності та якості аграрної продукції, так і для підвищення стійкості культурних рослин до несприятливих абіотичних і біотичних чинників середовища.

Підвищення швидкості ростових процесів через вплив на фітогормональний статус, різні види меристематичних тканин зумовлює зміни у донорно-акцепторній системі рослин. Загальний стимулювальний ефект в разі застосування активаторів росту пов'язаний із формуванням потужніших як донорних, так і акцепторних органів рослин і, відповідно, поліпшенням реалізації потенційних можливостей синтезу й накопичення асимілятів, а також із закладкою та ростом господарсько-цінних органів.

З огляду на результати наших досліджень, найефективнішим щодо підвищення продуктивності овочевих пасльонових культур було застосування ГК₃ та 6-БАП. Гібереліновий стимулятор росту збільшував розміри й масу вегетативних органів, кількість і площу листків та урожайність господарсько-цінних органів. Синтетичний

цитокінін посилюючи, насамперед, потужність фотосинтетичного апарату рослин (вміст хлорофілу у листках, хлорофільний індекс насаджень, інтенсивність фотосинтезу) підвищував біологічну продуктивність і урожайність культур.

REFERENCES

1. Verma, S., Upadhyay, A., Kumari, M., Kumar, A., Kumar, A., Kumar, S., Sunny & Tandle, S.S. (2024). Role of Plant Growth Regulators in Improving Vegetable Crop Productivity: A Review. *J. Sci. Res. Rep.*, 30(12), 681-697. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i122712>
2. Shamsi, I.H., Sagonda, T., Zhang, X., Zvobgo, G. & Joan, H.I. (2019). The role of growth regulators in senescence. *Senesc. Sign. Contr. Plan.* Elsevier, pp. 99-110. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813187-9.00006-8>
3. Pramanik, K. & Mohapatra, P. (2017). Role of auxin on growth, yield and quality of tomato — A review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6(11), pp. 1624-1636. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.195>
4. Kuriata, V.H. (1999). Physiological and biochemical mechanisms of action of retardants and ethylene producers on berry plants (Unpublished Doctoral thesis). Institute of Plant Physiology and Genetics, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].
5. Terek, O.I. (2007). Plant growth. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU im. Ivana Franka [in Ukrainian].
6. Rocha, T.M., Marcelino, P.R.F., Da Costa, R.A.M., Rubio-Ribeaux, D., Barbosa, F.G. & da Silva, S.S. (2024). Agricultural bioinputs obtained by solid-state fermentation: From production in biorefineries to sustainable agriculture. *Sustainability*, 16(3), 1076. <https://doi.org/10.3390/su16031076>
7. Husen, A. (2021). Plant Performance under Environmental Stress: Hormones, Biostimulants and Sustainable Plant Growth Management. Springer International Publishing AG.
8. Basra, A.S. (2000). Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture: Their Role and Commercial Uses. Haworth Press.
9. Vedenychova, N.P. & Kosakivska, I.V. (2017). Cytokinins as regulators of plant ontogenesis under different growth conditions. Kyiv: Nash format [in Ukrainian].
10. Ponomarenko, S.P. (1999). Plant growth regulators based on N-oxides of pyridine derivatives (Physicochemical properties and biological activity). Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].
11. Khuriwal, K.S., Kumar, M., Pandey, S.K., Kasera, S. & Singh, V.K. (2018). Effect of plant growth regulators on plant growth, flower yield and quality of Dahlia (*Dahlia variabilis* L.) cv. Kenya. *J. Pharmacogn. Phytochem.*, pp. 603-605.
12. Tomar, S., Rajiv, D.P. & Kumari, M. (2020). Effect of GA and NAA on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) — A review. *Plant Archiv.*, 20, pp. 71-72.
13. Hernández Rodríguez, A., Díaz Pacheco, A., Martínez Tolibía, S.E., Melendez Xicohtencatl, Y., Granados Balbuena, S.Y. & López y López, V.E. (2024). Bioprocess of gibberellic acid by *Fusarium fujikuroi*: the challenge of regulation, raw materials, and product yields. *J. Fungi*, 10(6), 418. <https://doi.org/10.3390/jof10060418>
14. Rademacher, W. (2016). Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Ann. Plant Rev.*, 49, pp. 359-404. <https://doi.org/10.1002/9781119210436.ch12>
15. 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. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6(8), pp. 116-121. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.015>
16. Khan, A., Hamayun, M., Kang, S.-M., Kim, Y.-H., Jung, H.-Y., Lee, J.-H. & Lee, I.-J. (2012). Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can improve plant growth under abiotic stress: An example of *Paecilomyces formosus* LHL10. *BMC Microbiol.*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-3>
17. Nguyen, C.T., Dang, L.H., Nguyen, D.T., Tran, K.P., Giang, B.L. & Tran, N.Q. (2019). Effect of GA₃ and gly plant growth regulators on productivity and sugar content of sugarcane. *Agriculture*, 9(7), 136. <https://doi.org/10.3390/agriculture9070136>

18. Abdel Kader, H., El-Boraie, E., Hamza, A. & Badawya, M. (2016). Effect of mineral fertilization with some growth regulators on growth of *Magnolia grandiflora* L. seedling. I. Effect on vegetative growth. *J. Plant Prod.*, 7(4), pp. 401-407. <https://doi.org/10.21608/jpp.2016.45379>
19. Hidayatullah, T.M., Farooq, M., Khokhar, M.A. & Hussain, S.I. (2012). Plant growth regulators affecting sex expression of bottle gourd (*Lagenaria siceraria* Molina) plants. *Pakistan J. Agric. Res.*, 25(1), p. 50.
20. Fang, S., Gao, K., Hu, W., Wang, S., Chen, B. & Zhou, Z. (2019). Foliar and seed application of plant growth regulators affects cotton yield by altering leaf physiology and floral bud carbohydrate accumulation. *Field Crops Res.*, 231, pp. 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.012>
21. 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. *Int. J. Agric. Environ. Biotechnol.*, 11(3), pp. 439-449. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.06.2018.4>
22. 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. *Sug. Tech.*, 21(6), pp. 936-948. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00728-7>
23. Hou, K., Chen, J.W., Li, J.Y., Shen, H., Chen, L. & Wu, W. (2013). Effect of gibberellic acid and chlormequat chloride on growth, coumarin content and root yield of *Angelica dahurica* var. *Formosana*. *J. Agr. Sci. Tech.*, 15, pp. 1415-1423.
24. Mohanta, H.C., Hossain, M.M., Islam, M.S., Salam, M.A. & Saha, S.R. (2015). Effect of plant growth regulators on seed yield of carrot. *Ann. Bangladesh Agric.*, 19, pp. 23-31.
25. Abido, W.A.E., Allem, A., Zsombic, L. & Attila, N. (2018). Effect of gibberellic acid on germination of six wheat cultivars under salinity stress levels. *Asian J. Biol. Sci.*, 12(1), pp. 51-60. <https://doi.org/10.3923/ajbs.2019.51.60>
26. Aldesuquy, H. (2015). Synergistic effect of phytohormones on pigment and fine structure of chloroplasts in flag leaf of wheat plants irrigated by seawater. *Egypt. J. Bas. Appl. Sci.*, 2(4), pp. 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2015.07.002>
27. Saeidi-Sar, S., Abbaspour, H., Afshari, H. & Yaghoobi, S.R. (2012). Effects of ascorbic acid and gibberellin A₃ on alleviation of salt stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Physiol. Plant.*, 35(3), pp. 667-677. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1107-7>
28. Ribeiro, D.M., Araújo, W.L., Fernie, A.R., Schippers, J.H.M. & Mueller-Roeber, B. (2012). Translatome and metabolome effects triggered by gibberellins during rosette growth in *Arabidopsis*. *J. Exp. Bot.*, 63(7), pp. 2769-2786. <https://doi.org/10.1093/jxb/err463>
29. Mehrouachi, J., Tadeo, F.R., Zaragoza, S., Primo-Millo, E. & Talon, M. (1996). Effects of gibberellic acid and paclobutrazol on growth and carbohydrate accumulation in shoots and roots of citrus rootstock seedlings. *J. Horticult. Sci.*, 71(5), pp. 747-754. <https://doi.org/10.1080/14620316.1996.11515455>
30. Song, S.-W., Lei, Y.-L., Huang, X.-M., Su, W., Chen, R.-Y. & Hao, Y.-W. (2019). Crosstalk of cold and gibberellin effects on bolting and flowering in flowering Chinese cabbage. *J. Integr. Agric.*, 18(5), pp. 992-1000. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(18\)62063-5](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(18)62063-5)
31. Rao, G.K., Ashok, P., Swami, D.V. & Sasikala, K. (2017). Influence of plant growth regulators on growth, root tuber yield and quality of orange flesh sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) varieties. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6(6), pp. 2017-2025. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.237>
32. Kumari, K., Kant, K., Kumar, R. & Singh, V.K. (2019). Effect of plant growth regulators on growth and yield of bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Mol.) Standl.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(7), pp. 1881-1885. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.223>
33. Xiang, J., Wu, H., Zhang, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Li, Z., Lin, H., Chen, H., Zhang, J. & Zhu, D. (2017). Transcriptomic analysis of gibberellin- and paclobutrazol-treated rice seedlings under submergence. *Int. J. Mol. Sci.*, 18(10), 2225. <https://doi.org/10.3390/ijms18102225>

34. Surya, M.I., Ismaini, L., Normasiwi, S., Putri, D.M. & Kurniawan, V. (2020). Plant growth regulators affecting leaf traits of loquat seedling. *Ann. Res. Rev. Biol.*, 35(11), pp. 73-85. <https://doi.org/10.9734/arrb/2020/v35i1130301>
35. Kim, S.K., Lee, S.C., Kim, K.U., Choo, Y.S., Kim, H.Y. & Lee, I.J. (2004). Effects of gibberellic acid and gibberellin biosynthesis retardants on ethylene production, batatasins, and free sugars in dormant tubers of Chinese yam. *Kor. J. Crop Sci.*, 49(4), pp. 300-304.
36. Singh, S.K., Kumar, A., Beer, K.P., Singh, V. & Sohan, K. Patel. (2018). Effect of naphthalene acetic acid (NAA) and gibberellic acid (GA₃) on growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(3), pp. 306-311. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.036>
37. Rahman, M., Nahar, M.A., Sahariar, M.S. & Karim, M.R. (2015). Plant growth regulators promote growth and yield of summer tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Progr. Agric.*, 26(1), pp. 32-37.
38. Khalloufi, M., Martínez-Andújar, C., Lachaâl, M., Karray-Bouraoui, N., Pérez-Alfocea, F. & Albacete, A. (2017). The interaction between foliar GA₃ application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. *J. Plant Physiol.*, 214, pp. 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.04.012>
39. Kumar, S., Singh, R., Singh, V., Singh, M.K. & Singh, A.K. (2018). Effect of plant growth regulators on growth, flowering, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Pharmacogn. Phytochem.*, 7(1), pp. 41-44.
40. Kumar, A., Biswas, T.K., Singh, N. & Lal, E.P. (2014). Effect of gibberellic acid on growth, quality and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Agric. Vet. Sci.*, 7(7), pp. 28-30. <https://doi.org/10.9790/2380-07742830>
41. Verma, O., Thakre, B. & Soni, U. (2018). Chemical control of pre harvest fruit drop in Nagpur mandarin (*Citrus reticulata*) of Chhindwara district of Madhya Pradesh, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(1), pp. 2258-2263. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.273>
42. Tiwari, A.K. & Singh, D.K. (2014). Use of plant growth regulators in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under tarai conditions of Uttarkhand. *Ind. J. Hill Farm.*, 27(2), pp. 38-40.
43. Bodlaender, K.B.A. & Waart, M.V.D. (1989). Influence of gibberellic acid (GA₃) applied to the crop on growth, yield and tuber size distribution of seed potatoes. *Netherl. J. Agric. Sci.*, 37(3), pp. 185-196. <https://doi.org/10.18174/njas.v37i3.16630>
44. Abeuova, L.S., Kali, B.R., Rakhimzhanova, A.O., Bekkuzhina, S.S. & Manabayeva, S.A. (2020). High frequency direct shoot regeneration from Kazakh commercial potato cultivars. *PeerJ*, 8, e9447. <https://doi.org/10.7717/peerj.9447>
45. Pérez-Jiménez, M., Pazos-Navarro, M., López-Marín, J., Gálvez, A., Varó, P. & Amor, F.M.D. (2015). Foliar application of plant growth regulators changes the nutrient composition of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scient. Hortic.*, 194, pp. 188-193. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.002>
46. Falcioni, R., Moriwaki, T., de Oliveira, D.M., Andreotti, G.C., de Souza, L.A., dos Santos, W.D., Bonato, C.M. & Antunes, W.C. (2018). Increased gibberellins and light levels promotes cell wall thickness and enhance lignin deposition in xylem fibers. *Front. Plant Sci.*, 9, 1391. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01391>
47. Upreti, K.K., Shivu Prasad, S.R., Reddy, Y.T.N. & Rajeshwara, A.N. (2014). Paclobutrazol induced changes in carbohydrates and some associated enzymes during floral initiation in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Totapuri. *Ind. J. Plant Physiol.*, 19(4), pp. 317-323. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0113-8>
48. Rohach, V.V., Kiriziy, D.A., Stasik, O.O., Mickevicius, S. & Rohach, T.I. (2020). The effect of growth promoters and retardants on the morphogenesis, photosynthesis and productivity of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Fiziol. rast. genet.*, 52(4), pp. 279-294. <https://doi.org/10.15407/frg2020.04.279>
49. Rohach, V.V., Kuryata, V.G., Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Grabyk, I.H., Kaitanyuk, O.V., Rohach, T.I. & Tarasyuk, M.V. (2024). Effect of growth promoters on morphogenesis, photosynthetic apparatus, productivity and residual substances content in sweet pepper (*Capsicum annuum*) fruits. *Reg. Mech. Biosyst.*, 15(2), pp. 189-197. <https://doi.org/10.15421/022428>
50. Rogach, V.V., Kiriziy, D.A., Stasik, O.O. & Rogach, T.I. (2020). Morphogenesis, photosynthesis and productivity of eggplants under the influence of growth regulators with

- various action mechanisms. *Fiziol. rast. genet.*, 52(2), pp. 152-168 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.152>
51. Rogach, V.V., Voytenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M., Kuryata, V.G., Kosakivska, I.V. & Rogach, T.I. (2021a). Effects of exogenous plant growth regulators on morphogenesis, physiological and biochemical characteristics, and productivity of sweet pepper *Capsicum annuum* L. *Fiziol. rast. genet.*, 53(4), pp. 320-335 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.04.320>
 52. Rogach, V.V., Kiriziy, D.A., Kuryata, V.G. & Rogach, T.I. (2022). Morphogenesis, photosynthesis, and productivity of pepper (*Capsicum annuum* L.) under the impact of growth substances with different directions and mechanisms of action. *Fiziol. rast. genet.*, 54(3), pp. 214-232 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2022.03.214>
 53. Rohach, V.V., Voitenko, L.V., Shcherbatiuk, M.M., Rohach, T.I. & Kosakivska, I.V. (2020). The effect of foliar treatment with synthetic growth regulators on morphogenesis, pigment content, phytohormones, and productivity of *Solanum melongena* L. *Visn. Khark. nat. ahrar.univ. Ser. : Biol.*, 50(2), pp. 105-118. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35550/vbio2020.02.105>
 54. Rohach, V.V., Rohach, T.I., Kylyvnyk, A.M., Polyvanyi, S.V., Bayurko, N.V., Nikitchenko, L.O., Tkachuk, O.O., Shevchuk, O.A., Hudzevych, L.S. & Levchuk, N.V. (2020). The influence of synthetic growth promoters on morphophysiological characteristics and biological productivity of potato culture. *Modern Phytomorph.*, 14(1), pp. 111-114.
 55. Schlicht, M., Ludwig-Müller, J., Burbach, C., Volkmann, D. & Baluska, F. (2013). Indole-3-butyric acid induces lateral root formation via peroxisome-derived indole-3-acetic acid and nitric oxide. *New Phytol.*, 200(2), pp. 473-482. <https://doi.org/10.1111/nph.12377>
 56. Yin, B., Zhang, Y. & Zhang, Y. (2011). Effects of plant growth regulators on growth and yields characteristics in adzuki beans (*Phaseolus angularis*). *Front. Agric. China*, 5(4), pp. 519-523. <https://doi.org/10.1007/s11703-011-1150-y>
 57. Xing, X., Jiang, H., Zhou, Q., Xing, H., Jiang, H. & Wang, S. (2016). Improved drought tolerance by early IAA- and ABA-dependent H₂O₂ accumulation induced by α -naphthaleneacetic acid in soybean plants. *Plant Growth Regul.*, 80(3), pp. 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10725-016-0167-x>
 58. 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. *Agr. J.*, 111(2), pp. 612-627. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.06.0363>
 59. Zhou, J., Cheng, K., Huang, G., Chen, G., Zhou, S., Huang, Y., Zhang, J., Duan, H. & Fan, H. (2020). Effects of exogenous 3-indoleacetic acid and cadmium stress on the physiological and biochemical characteristics of *Cinnamomum camphora*. *Ecotoxic. Environ. Safety*, 191, 109998. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109998>
 60. Mao, J.-P., Zhang, D., Zhang, X., Li, K., Liu, Z., Meng, Y., Lei, C. & Han, M.-Y. (2018). Effect of exogenous indole-3-butyric acid (IBA) application on the morphology, hormone status, and gene expression of developing lateral roots in *Malus hupehensis*. *Scient. Hort.*, 232, pp. 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.013>
 61. Hakim, A., Jaganath, S., Honnabyraiah, M.K., Mohan Kumar, S., Anil Kumar, S. & Dayamani, K.J. (2018). Influence of biofertilizer and auxin on growth and rooting of pomegranate (*Punica granatum* L.) cuttings. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(2), pp. 1187-1193. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.702.146>
 62. Kim, J.-H., Kwon, B.-M., Ho, T.-T. & Park, S.-Y. (2020). Phloroglucinol improves direct rooting of in vitro cultured apple rootstocks M9 and M26. *Agronomy*, 10(8), 1079. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081079>
 63. Rogach, V.V., Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Sytnyk, S.K., Kuryata, V.G. & Rogach, T.I. (2023a). The effects of growth regulators on the photosynthetic apparatus of the sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in relation to the productivity. *Fiziol. rast. genet.*, 55(1), pp. 25-45 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.01.025>
 64. Rogach, V.V., Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Sytnyk, S.K., Kuryata, V.G., Rogach, T.I. & Tarasiuk, M.V. (2023b). Effects of growth regulators on morphogenesis, development and function of the photosynthetic apparatus of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Fiziol. rast. genet.*, 55(3), pp. 234-250 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.03.234>

65. Kirilova, L.L., Nazarova, H.N. & Ivanova, E.P. (2016). p-Aminobenzoic acid stimulates seed germination, plant growth, photosynthesis, and nitrogen assimilation in amaranth (*Amaranthus L.*). *Silskohosp. biol.*, 51(5), pp. 688-695 [in Ukrainian].
66. Leliuk, A. & Terek, O. (2007). The use of plant growth regulators as protective compounds in case of heavy metal contamination of soybean and sunflower plants. *Visn. Lviv. univ. Ser. biol.*, 43, pp. 228-232 [in Ukrainian].
67. Ewais, E.E.D. (2013). Effect of ascorbic acid, benzyl adenine and paclobutrazol on growth, yield and some metabolic constituents of sunflower plants. *Al-Azhar J. Pharmaceut. Sci.*, 47(1), pp. 12-21. <https://doi.org/10.21608/ajps.2013.7105>
68. 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 Biol.*, 20, pp. 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2261-5>
69. 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. *J. Plant Growth Reg.*, 36(3), pp. 743-754. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9677-7>
70. Ricci, A., Carra, A., Torelli, A., Maggiali, C.A., Vicini, P., Zani, F. & Branca, C. (2001). Cytokinin-like activity of N'-substituted N-phenylureas. *Plant Growth Reg.*, 34(2), pp. 167-172. <https://doi.org/10.1023/A:1013399927783>
71. Stasik, O.O., Priadkina, H.O., Kirizii, D.A., Sokolovska-Serhiienko, O.H., Sytnyk, S.K., Kapitanska, O.S. & Zborivska, O.V. (2021). Photosynthesis and production process of high-intensity winter wheat varieties in relation to mineral nutrition conditions. *Kyiv: Interservis* [in Ukrainian].
72. Wen, Y., Su, S., Ma, L. & Wang, X. (2018). Effects of gibberellic acid on photosynthesis and endogenous hormones of *Camellia oleifera* Abel. in 1st and 6th leaves. *J. Forest Res.*, 23(5), pp. 309-317. <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1512394>
73. Kang, S.-M., Radhakrishnan, R., Khan, A.L., Kim, M.-J., Park, J.-M., Kim, B.-R., Shin, D.-H. & Lee, I.-J. (2014). Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. *Plant Physiol. Biochem.*, 84, pp. 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.09.001>
74. El-Sayed, M. (2014). Effect of gibberellic acid and paclobutrazol on growth and chemical composition of *Schefflera arboricola* plants. *Middle East J.*, 3(4), pp. 782-792.
75. Sable, S.S., Lahane, G.R. & Dhakulkar, S.J. (2017). Effect of various plant growth regulators on growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum*). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6(11), pp. 978-989. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.115>
76. Hossain, M.E., Amin, R., Sani, M.N.H., Ahamed, K.U., Hosain, M.T. & Nizam, R. (2018). Impact of exogenous application of plant growth regulators on growth and yield contributing attributes of summer tomato. *Int. J. Plant Soil Sci.*, 24, pp. 1-14. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2018/43935>
77. Khan, M.N. & Mohammad, F. (2013). Interactive effect of GA₃, N and P ameliorate growth, seed and fibre yield by enhancing photosynthetic capacity and carbonic anhydrase activity of linseed: A dual purpose crop. *J. Integr. Agric.*, 12(7), pp. 1183-1194. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(13\)60443-8](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(13)60443-8)
78. Chen, J., Wu, X., Yao, X., Zhu, Z., Xu, S. & Zha, D. (2015). Exogenous 6-benzylaminopurine confers tolerance to low temperature by amelioration of oxidative damage in eggplant (*Solanum melongena L.*) seedlings. *Braz. J. Bot.*, 39(2), pp. 409-416. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0241-z>
79. 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. *Scient. Hortic.*, 176, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.022>
80. Ahanger, M.A., Alyemeni, 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(9), e0202175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202175>
81. Mesejo, C., Rosito, S., Reig, C., Martínez-Fuentes, A. & Agustí, M. (2011). Synthetic auxin 3,5,6-TPA provokes citrus clementina (*Hort. ex Tan*) fruitlet abscission by reduc-

- ing photosynthate availability. *J. Plant Growth Reg.*, 31(2), pp. 186-194. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9230-z>
82. Tsiakaras, G., Petropoulos, S.A. & Khah, E.M. (2014). Effect of GA₃ and nitrogen on yield and marketability of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Aust. J. Crop Sci.*, 8 (1), pp. 127-132.
83. Ouzounidou, G., Ilias, I., Giannakoula, A. & Papadopoulou, P. (2010). Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum annuum* L. *Pak. J. Bot.*, 42(2), pp. 805-814.
84. Mobli, M. & Baninasab, B. (2008). Effects of plant growth regulators on growth and carbohydrate accumulation in shoots and roots of two almond rootstock seedlings. *Fruits*, 63(6), pp. 363-370. <https://doi.org/10.1051/fruits:2008032>
85. 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. *J. Appl. Ecol.*, 29(1), pp. 149-157. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201801.021>
86. Iqbal, M. & Ashraf, M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environ. Exp. Bot.*, 86, pp. 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.06.002>
87. 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. *J. Plant Growth Reg.*, 36(2), pp. 472-486. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9655-5>
88. Ferrari, J.V., Furlani Júnior, E., Ferrari, S. & Luques, A.P.P.G. (2015). Vegetative growth response of cotton plants due to growth regulator supply via seeds. *Acta Scient. Agr.*, 37(3), pp. 361-366. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19664>
89. Sugiura, D., Sawakami, K., Kojima, M., Sakakibara, H., Terashima, I. & Tateno, M. (2015). Roles of gibberellins and cytokinins in regulation of morphological and physiological traits in *Polygonum cuspidatum* responding to light and nitrogen availabilities. *Funct. Plant Biol.*, 42(4), pp. 397-409. <https://doi.org/10.1071/fp14212>
90. Kumari, S. (2017). Effect of kinetin (6-FAP) and cycocel (CCC) on growth, metabolism and cellular organelles in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under water stress. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6(8), pp. 2711-2719. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.325>
91. Xiaotao, D., Yuping, J., Hong, W., Haijun, J., Hongmei, Z., Chunhong, C. & Jizhu, Y. (2012). Effects of cytokinin on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters, antioxidative system and carbohydrate accumulation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) under low light. *Acta Physiol. Plant.*, 35(5), pp. 1427-1438.
92. Schröder, M., Link, H. & Bangerth, K.F. (2013). Correlative polar auxin transport to explain the thinning mode of action of benzyladenine on apple. *Scient. Hortic.*, 153, pp. 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.001>
93. Matthews, J.S.A. & Lawson, T. (2019). Climate change and stomatal physiology. *Ann. Plant Rev.*, 2(3), pp. 713-751. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0667>
94. Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L. & Vetrano, F. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. *Agronomy*, 9(7), 382. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070382>
95. 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. *Sci. Agr. Sinica*, 49(6), pp. 1060-1083.
96. Wang, H., Atkin, O.K., Keenan, T.F., Smith, N.G., Wright, I.J., Bloomfield, K.J., Kattge J., Reich, P.B. & Prentice, I.C. (2020). Acclimation of leaf respiration consistent with optimal photosynthetic capacity. *Glob. Change Biol.*, 26, pp. 2573-2583. <https://doi.org/10.1111/gcb.14980>
97. Cui, C., Shang, M., Li, Z. & Xiao, J. (2025). Synthetic biology approaches to improve Rubisco carboxylation efficiency in C₃ Plants: Direct and Indirect Strategies. *J. Plant Physiol.*, 307, 154470. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2025.154470>
98. Alexopoulos, A.A., Karapanos, I.C., Akoumianakis, K.A. & Passam, H.C. (2016). Effect of gibberellic acid on the growth rate and physiological age of tubers cultivated from true potato seed. *J. Plant Growth Reg.*, 36(1), pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9616-z>

99. Ghorbani Javid, M., Sorooshzadeh, A., Modarres Sanavy, S.A.M., Allahdadi, I. & Moradi, F. (2011). Effects of the exogenous application of auxin and cytokinin on carbohydrate accumulation in grains of rice under salt stress. *Plant Growth Reg.*, 65(2), pp. 305-313. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9602-1>
100. Ahmed, W., Tahir, F.M., Rajwana, I.A., Raza, S.A. & Asad, H.U. (2012). Comparative evaluation of plant growth regulators for preventing premature fruit drop and improving fruit quality parameters in 'Dusehri' mango. *Int. J. Fruit Sci.*, 12(4), pp. 372-389. <https://doi.org/10.1080/15538362.2012.679175>
101. Khalid, S., Malik, A.U., Khan, A.S., Razzaq, K. & Naseer, M. (2016). Plant growth regulators application time influences fruit quality and storage potential of young kinnow mandarin trees. *Int. J. Agric. Biol.*, 18(3), pp. 623-629. <https://doi.org/10.17957/ijab/15.0136>
102. Cruz-Castillo, J.G., Baldicchi, A., Frioni, T., Marocchi, F., Moscatello, S., Proietti, S., Battistelli, A. & Famiani, F. (2014). Pre-anthesis CPPU low dosage application increases 'Hayward' kiwifruit weight without affecting the other qualitative and nutritional characteristics. *Food Chem.*, 158, pp. 224-228. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.131>
103. Rohach, V.V. (2019). Dynamics of accumulation and reverse of different forms of carbohydrates in eggplants organs under the effects of growth stimulators. *Scient. Iss. TNPU. Series: Biology*, 76(2), pp. 97-103 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.19.2.16>
104. Macedo, W.R., Araújo, D.K., Santos, V.M., Castro, P.R.d.C.e. & Fernandes, G.M. (2017). Plant growth regulators on sweet sorghum: Physiological and nutritional value analysis. *Com. Sci.*, 8(1), p. 170. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i1.1315>
105. Vedenychova, N.P. & Kosakivska, I.V. (2016). Recent aspects of cytokinin research: evolution and interaction with other phytohormones. *Fiziol. rast. genet.*, 48(1), pp. 3-19 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2016.01.003>
106. Li, J., Yang, Y., Chai, M., Ren, M., Yuan, J., Yang, W., Dong, Y., Liu, B., Jian, Q., Wang, S., Peng, B., Yuan, H. & Fan, H. (2020). Gibberellins modulate local auxin biosynthesis and polar auxin transport by negatively affecting flavonoid biosynthesis in the root tips of rice. *Plant Sci.*, 298, 110545. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110545>
107. 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. *Sug. Tech*, 21(6), pp. 936-948. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00728-7>
108. Hidayat, U. & Asghari, B. (2011). Effect of seed soaking treatment with growth regulators on phytohormone level and sex modification in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Afr. J. Plant Sci.*, 5(10), pp. 599-608.
109. Zhang, Y.-L. & Zhang, R.-G. (2009). Effects of ABA content on the development of abscission zone and berry falling after harvesting of grapes. *Agric. Sci. China*, 8(1), pp. 59-67. [https://doi.org/10.1016/s1671-2927\(09\)60009-2](https://doi.org/10.1016/s1671-2927(09)60009-2)
110. Aremu, A.O., Plačková, L., Masondo, N.A., Amoo, S.O., Moyo, M., Novák, O., Doležal, K. & Van Staden, J. (2017). Regulating the regulators: Responses of four plant growth regulators during clonal propagation of *Lachenalia montana*. *Plant Growth Reg.*, 82(2), pp. 305-315. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0260-9>
111. Hikosaka, S. & Sugiyama, N. (2015). Effects of exogenous plant growth regulators on yield, fruit growth, and concentration of endogenous hormones in gynocarpic parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Hort. J.*, 84(4), pp. 342-349. <https://doi.org/10.2503/hortj.mi-051>
112. Li, Y., Zhang, D., Xing, L., Zhang, S., Zhao, C. & Han, M. (2015). Effect of exogenous 6-benzylaminopurine (6-BA) on branch type, floral induction and initiation, and related gene expression in 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh). *Plant Growth Reg.*, 79(1), pp. 65-70. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0111-5>
113. Wang, X., Han, F., Yang, M., Yang, P. & Shen, S. (2013). Exploring the response of rice (*Oryza sativa*) leaf to gibberellins: A proteomic strategy. *Rice*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-6-17>
114. Honda, I., Matsunaga, H., Kikuchi, K., Matuo, S., Fukuda, M. & Imanishi, S. (2017). Involvement of cytokinins, 3-indoleacetic acid, and gibberellins in early fruit growth in

- pepper (*Capsicum annuum* L.). Hort. J., 86(1), pp. 52-60. <https://doi.org/10.2503/hortj.mi-120>
115. Stasik, O.O., Kiriziy, D.A. & Priadkina, G.O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. Fiziol. rast. genet., 53(2), pp. 160-184 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>
116. Zhao, H., Cao, H.H., Pan, M.Z., Sun, Y.X. & Liu, T.X. (2017). The role of plant growth regulators in a plant—aphid—parasitoid tritrophic system. J. Plant Growth Reg., 36(4), pp. 868-876.
117. Mohtashami, M., Naderi, A., Ghanbari, A.A., Alavifazel, M. & Lak, S. (2016). Effect of seed pre-treatment with growth regulators on seed yield and yield components of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Turk. J. Field Crops, 21(2), pp. 313-317. <https://doi.org/10.17557/tjfc.57207>
118. Gonzatto, M.P., Böettcher, G.N., Schneider, L.A., Lopes, Â.A., Silveira Júnior, J.C., Petry, H.B., Oliveira, R.P.D. & Schwarz, S.F. (2016). 3,5,6-trichloro-2-pyridinyloxy-acetic acid as effective thinning agent for fruit of 'Montenegrina' mandarin. Ciên. Rural, 46(12), pp. 2078-2083. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140057>
119. Verma, P.P.S., Meena, M.L. & Meena, S.K. (2014). Influence of plant growth regulators on growth, flowering and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill), cv. H-86. Ind. J. Hill Farm., 27(2), pp. 19-22.
120. Yıldırım, B., Yeşilöglü, T., İncesu, M., Kamiloğlu, M., Zimen, B. & Tamer, Ş. (2012). Effects of 2,4-DP (2,4-dichlorophenoxypropionic acid) plant growth regulator on fruit size and yield of Valencia oranges (*Citrus sinensis* Osb). New Zealand J. Crop Hort. Sci., 40(1), pp. 55-64. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.604091>
121. Pujari, R., Patil, S., S, A., Anda, S., Babaleshwar, B., Dhar, S., Dodamani, M. & Shivanand, M.R. (2018). Effect of growth regulators on growth and yield of turmeric var. Suroma. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 7(1), pp. 3156-3158. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.374>
122. Lamo, K., Bhat, D.J., Wali, V.K., Bakshi, P., Jasrotia, A. & Mehta, G. (2017). Influence of Pre Harvest and Pre Flower Sprays of Gibberellic acid, Napthalene acetic acid and Ethrel on Flowering Behaviour, Fruit Yield of Phalsa Cultivar Purple Round under Jammu- Sub Tropics. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 6 (10), pp. 3504-3508. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.413>
123. Milić, B., Tarlanović, J., Keserović, Z., Zorić, L., Blagojević, B. & Magazin, N. (2016). The growth of apple central fruits as affected by thinning with NAA, BA and naphthenic acids. Erwerbs-Obstbau, 59(3), pp. 185-193. <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0310-x>
124. Prajapati, S., Jamkar, T., Singh, O.P., Raypuriya, N., Mandloi, R. & Jain, P.K. (2015). Plant growth regulators in vegetable production: An overview. Plant Archiv., 15(2), pp. 619-626.
125. 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. HortSci., 50(3), pp. 374-382. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.3.374>
126. Wamiq, M. (2020). Effect of GA₃ and NAA on yield of Bottle Gourd (*Lagenaria siceraria*) cv (MGH-4). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 9(10), pp. 2217-2221. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.268>
127. Acharya, S.K., Thakar, C., Brahmbhatt, J.H. & Joshi, N. (2020). Effect of plant growth regulators on cucurbits: A review. J. Pharmacogn. Phytochem., 9(4), pp. 540-544.
128. Ransing, S.K., Kengare, R.A., Chavan, C.K. & Totre, A.S. (2018). Effect of growth regulators on yield and yield contributing characters of sunflower (*Helianthus annuus* L.) variety Phule Bhaskar during kharif season. Int. J. Chem. Stud., 6(6), pp. 967-968.
129. Jasmin, B.L., Kumar, S. & Modi, S. (2018). Influence of plant growth regulators on growth and yield of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 7(8), pp. 1603-1609. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.183>
130. Akter, N., Rafiqul Islam, M., Abdul Karim, M. & Hossain, T. (2014). Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. J. Crop Sci. Biotechnol., 17(1), pp. 41-48.
131. Khan, M.M.A., Khan, R., Singh, M., Nasir, S., Naeem, M., Siddiqui, M.H. & Mohammad, F. (2007). Gibberellic acid and triacontanol can ameliorate the opium yield and morphine production in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). Acta Hort., 756, pp. 289-298. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.756.30>

132. Biswas, A., Mandal, T., Das, S. & Thakur, B. (2018). Effect of plant growth regulators on growth and flowering of pansy (*Viola × wittrockiana* Gams.) under west bengal condition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(1), pp. 2125-2130. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2018.701.256>
133. Sindhuja, M. & Prasad, V.M. (2018). Effect of different plant growth regulators and their levels on floral yield and economics of china aster [*Callistephus chinensis* (L.) Nees] cv. Shashank. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(12), pp. 1208-1212. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2018.712.150>
134. Singh, K., Sharma, M. & Singh, S. (2017). Effect of plant growth regulators on fruit yield and quality of guava (*Psidium guajava*) cv. Allahabad Safeda. *J. Pure Appl. Microbiol.*, 11(2), pp. 1149-1154. <https://doi.org/10.22207/jpam.11.2.61>
135. Passam, H.C., Koutri, A.C. & Karapanos, I.C. (2008). The effect of chlormequat chloride (CCC) application at the bolting stage on the flowering and seed production of lettuce plants previously treated with water or gibberellic acid (GA₃). *Scient. Hortic.*, 116(2), pp. 117-121. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.004>
136. Jabir, B.M.O., Kinuthia, K.B., Faroug, M.A., NureldinAwad, F., Muleke, E.M., Ahmadzai, Z. & Liu, L. (2017). Effects of gibberellin and gibberellin biosynthesis inhibitor (paclobutrazol) applications on radish (*Raphanus sativus*) taproot expansion and the presence of authentic hormones. *Int. J. Agric. Biol.*, 19(4), pp. 779-786. <https://doi.org/10.17957/ijab/15.0359>
137. Geeta, B., Chetti, M.B. & Navalgatti, C.M. (2014). Effect of plant growth regulators on leaf biochemical characters and fruit yield components of bittergourd (*Momordica charantia* L.) cvs. MHBI-15 and Chaman Plus. *J. Hortl. Sci.*, 9(1), pp. 43-47. <https://doi.org/10.24154/jhs.v9i1.217>
138. Sreenivas, M., Sharangi, A.B. & Raj, A.C. (2017). Evaluation of bio-efficacy and phytotoxicity of gibberellic acid on chilli. *J. Crop Weed*, 13(3), pp. 174-177.
139. Jakhar, D., Eshwari, T., Nain, S. & Jakhar, N. (2018). Effect of plant growth regulator on growth, yield & quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivar 'Shivaji' under Punjab condition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(6), pp. 2630-2636. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2018.706.311>
140. Pichardo-Gonzalez, J.M., Guevara-Olvera, L., Couoh-Uicab, Y.L., Gonzarlez-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Medina, H.R., Gonzarlez-Chavira, M.M. & Acosta-Garcira, G. (2018). Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *R. Mex. Cien. Agr.*, 9(5), pp. 925-934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1502>
141. Gelmese, D., Abebie, B. & Desalegn, L. (2013). Effects of gibberellic acid and 2,4-dichlorophenoxy acetic acid spray on vegetative growth, fruit anatomy and seed setting of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Sci. Technol. Arts Res. J.*, 2(3), pp. 25-34. <https://doi.org/10.4314/star.v2i3.98720>
142. Kamran, M., Ahmad, I., Wu, X., Liu, T., Ding, R. & Han, Q. (2018). Application of paclobutrazol: A strategy for inducing lodging resistance of wheat through mediation of plant height, stem physical strength, and lignin biosynthesis. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25(29), pp. 29366-29378. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2965-3>
143. Fröschle, M., Horn, H. & Spring, O. (2016). Effects of the cytokinins 6-benzyladenine and forchlorfenuron on fruit-, seed- and yield parameters according to developmental stages of flowers of the biofuel plant *Jatropha curcas* L. (*Euphorbiaceae*). *Plant Growth Reg.*, 81(2), pp. 293-303. <https://doi.org/10.1007/s10725-016-0206-7>
144. Gouveia, E.J., Rocha, R.B., Laviola, B.G., Ramalho, A.R., Ferreira, M.D.G.R. & Dias, L.A.D.S. (2012). Grain yield increase of physic nut by field-application of benzyladenine. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 47, pp. 1541-1545.
145. Fu, Q., Niu, L., Zhang, Q., Pan, B.-Z., He, H. & Xu, Z.-F. (2014). Benzyladenine treatment promotes floral feminization and fruiting in a promising oilseed crop *Plukenetia volubilis*. *Ind. Crops Prod.*, 59, pp. 295-298. <https://doi.org/10.1016/j.ind-crop.2014.05.028>
146. Ullah, F. & Bano, A. (2011). Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Braz. J. Plant Physiol.*, 23(1), pp. 27-31. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202011000100005>

Received 12.05.2025

USE OF GROWTH STIMULATORS FOR REGULATION OF MORPHOGENESIS,
OPTIMIZATION OF TROPHIC SUPPLY AND INCREASING THE
PRODUCTIVITY OF CULTIVATED PLANTS

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

¹Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: rogachv@ukr.net

²Mykhailo Kotsiubynskyi Vinnytsia State Pedagogical University
32 Ostrozhsky St., Vinnytsia, 21100, Ukraine

An important factor of the crop productivity improvement is the enhancement of the realization of their genetic potential through the use of natural and synthetic growth stimulators. This review examines literature data and the authors' own research results regarding the effects of exogenous native phytohormones and their synthetic analogs on a wide range of physiological processes in plants, the production process, and crop formation in cultivated plants. It is noted that the action of growth-stimulating preparations is associated with accelerated growth, increased plant size, expanded assimilating surface area, higher chlorophyll concentration, activation of photosynthetic processes, and optimized accumulation and distribution of assimilates within the plant's source-sink system, and, as a result, increased productivity. Growth stimulators enhance the growth of axial vegetative organs and intensify their branching, increase the mass and area of leaves, and raise the leaf area index of crops. It is shown that growth stimulators thicken leaf blades by expanding chlorenchyma, increase the volume of palisade parenchyma cells, and enlarge spongy mesophyll cells. The review highlights the specific effects of natural and synthetic growth stimulators on the activity of the photosynthetic apparatus, particularly on the quantum efficiency of photochemical processes in Photosystem II, optimization of light energy use, and the rate of electron transport in chloroplasts. It is demonstrated that the general stimulatory effect of growth regulators is linked to the development of more powerful source and more potent sink organs in plants, thereby improving the realization of their potential for assimilate synthesis and accumulation, as well as the formation and growth of economically valuable organs.

Key words: growth activators, cultivated plants, morphometry, mesostructure, leaf apparatus, chlorophyll, photosynthesis, trophic supply, hormonal status, yield.

ORCID

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

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

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>

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