

Agriculture.
Plant growingBULLETIN OF POLTAVA
STATE AGRARIAN
ACADEMYISSN: 2415-3354 (Print)
2415-3362 (Online)<https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk>

original article | UDC 633.16:631.8:631.526.3 | doi: 10.31210/visnyk2021.02.02

INFLUENCE OF GROWTH STIMULANTS ON PRODUCTIVITY OF SPRING
BARLEY VARIETIES

I. V. Korotkova

M. V. Gorobets*

T. O. Chaika

ORCID  [0000-0003-0577-9634](https://orcid.org/0000-0003-0577-9634)ORCID  [0000-0003-1287-7857](https://orcid.org/0000-0003-1287-7857)ORCID  [0000-0002-5980-7517](https://orcid.org/0000-0002-5980-7517)

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: gorobecmaks995@gmail.com

How to Cite

Korotkova, I. V., Gorobets, M. V., & Chaika, T. O. (2021). Influence of growth stimulants on productivity of spring barley varieties. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 20–30. doi: 10.31210/visnyk2021.02.02

Timely and reliable forecasting of grain yields is the main condition for effective crop management. In this study, we evaluated the effect of Epin-extra, Zircon and Bischofite natural growth stimulants on the duration of the main vegetation phases of Helios, Vakula and Parnas spring barley varieties of Ukrainian selection. In regard with this purpose, during three years (2017–2019) field studies were conducted aimed at revealing the most effective growth stimulant for cultivating different varieties of spring barley under unstable moistening. It has been found that pre-sowing seed treatment and spraying of crops in the tillering phase with these stimulants lead to reducing vegetation phases and increasing the crop's photosynthetic activity. The research was conducted in the production conditions of the farm "Gorobets S. G." of Reshetylivka district, Poltava region. We evaluated the factors of affecting growth stimulants and bischofite natural mineral on the net productivity of photosynthesis, photosynthetic potential of spring barley crops and leaf-area duration of barley plants. The treatment with growth stimulants was conducted before sowing directly on the seeds and spraying the crops – in the tillering phase. Epin-extra and Zircon stimulants were used at a rate of 50 g/ha, and Bischofite – 2 l/ha. The area of the experimental field was 100 hectares. When treating spring barley crops with growth stimulants on typical black soils, the best indicators of net photosynthesis productivity were in spring barley varieties after their treatment with 1 % bischofite solution. In comparison with the control in the variants with the use of stimulants, the duration of the vegetation period was reduced as well as the beginning of the corresponding phases of development. The maximum effect was observed at using 1 % water solution of Bischofite. Crop treatment with this preparation favored the increase in the plants' assimilation leaf-area duration by 11.1 %, the value of photosynthetic potential – by 5.7 % and the crops' photosynthesis productivity – by 10 %. When spraying spring barley crops in the tillering phase with Epin-extra, Zircon and Bischofite growth regulators on sod-podzolic soil, the duration of plant development phases was reduced, therefore, the growing period decreased by 2–4 days, which allows start harvesting spring barley grain earlier than usual.

Key words: spring barley, growth stimulants, photosynthesis, net productivity, photosynthetic potential, variety.

ВПЛИВ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО

І. В. Короткова, М. В. Горобець, Т. О. Чайка

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Своєчасне та надійне прогнозування врожайності зернових культур є головною умовою ефективного управління врожаєм. У цьому дослідженні оцінено вплив природних стимуляторів росту Епін-екстра, Циркон та Бішофіт на тривалість основних фаз вегетації ячменю ярого сортів Геліос, Вакула та Парнас української селекції. Зважаючи на поставлену мету, протягом трьох років (2017–2019 рр.) були проведені польові дослідження, орієнтовані на з'ясування найбільш ефективного стимулятора росту для вирощування різних сортів ячменю ярого в умовах нестійкого зволоження. Встановлено, що передпосівна обробка насіння та обприскування посівів у фазі кущення цими стимуляторами призводить до скорочення фаз вегетації та посилення фотосинтетичної активності посівів культури. Дослідження проводили у виробничих умовах ФГ «Горобець С. Г.» Решетилівського району Полтавської області. Оцінювалися фактори впливу стимуляторів росту та природного мінералу бішофіт на чисту продуктивність фотосинтезу, фотосинтетичний потенціал посівів ячменю ярого та площу листової поверхні рослин ячменю. Обробку стимуляторами росту проводили перед посівом безпосередньо на насіння та обприскування посівів у фазі кущення. Стимулятори Епін-екстра та Циркон використовували в нормі 50 г/га, а Бішофіт – 2 л/га. При обробці стимуляторами росту посівів ячменю ярого на чорноземах типових найкращі показники чистої продуктивності фотосинтезу були в сортів ячменю ярого після обробки їх 1 % розчином бішофіту. Порівняно з контролем у варіантах з використанням стимуляторів скорочувалися тривалість вегетаційного періоду та настання відповідних фаз розвитку. Максимальний ефект спостерігали при використанні 1 % водного розчину Бішофіту. Обробка посівів цим препаратом сприяла збільшенню площі асиміляційної площі листової поверхні рослин на 11,1 %, величини фотосинтетичного потенціалу – на 5,7 % та продуктивності фотосинтезу посівів – на 10 %. При обприскуванні посівів ячменю ярого на дерново-підзолистому ґрунті у фазі кущіння регуляторами росту Епін-екстра, Циркон і Бішофіт скорочувалась тривалість фаз розвитку рослин і вегетаційний період на 2–4 дні, що дає змогу раніше звичайного терміну почати збирання ячменю ярого на зерно.

Ключові слова: ячмінь ярий, стимулятори росту, фотосинтез, чиста продуктивність, фотосинтетичний потенціал, сорт.

Вступ

У сучасних технологіях вирощування ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) з метою підвищення врожайності впроваджують різні методи обробки як насіння, так і рослин, особливо з використанням екологічно безпечних препаратів. Серед найбільш перспективних напрямів новітньої технології в рослинництві є застосування чисельних стимуляторів росту рослин. Позитивний ефект від використання стимуляторів росту був встановлений при вирощуванні різних сільськогосподарських культур. Їхня дія призводить до збільшення біомаси та врожайності культур, вони можуть виконувати захисну функцію відносно хвороб та шкідників рослин [17, 39].

Активні інгредієнти стимуляторів росту також можуть полегшувати реакцію рослин на біотичний і водний стрес, який впливає не тільки на проростання насіння, але і додатково збільшує середній час дозрівання сільськогосподарських культур. Вони дозволяють зменшити вплив негативних обмежувальних факторів щодо отримання потенційних урожаїв, забезпечити за високих або низьких температур навколишнього середовища стійкість до посух або надлишку вологи. Кліматичні фактори, що можуть негативно впливати на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, включають пізні весняні заморозки, сильні опади, снігопади та вітри, що призводять до снігопоривів та вітрозахистів [2, 6].

Однак, як свідчать чисельні дослідження, саме рослини, оброблені стимуляторами росту менше страждають від негативних факторів природного середовища та нестабільності погодних умов. Стимулятори росту відновлюють дефіцит корисних речовин, які активізують ферментативну активність усіх клітин рослин та утворення стимулюючих зв'язків самою рослиною. Як наслідок – збільшення проникності клітинної мембрани коренів, покращення проникнення до рослин мінеральних елементів живлення ґрунтового розчину. Крім того, завдяки використанню стимуляторів росту прискорюється

поглинання кисню рослинами, що своєю чергою посилює фотосинтез та фотосинтетичну активність агроценозів зернових культур, що в результаті призводить до підвищення їхньої врожайності [1, 19].

Ефект від використання стимуляторів росту відносно зернових культур пов'язують зі здатністю рослин до підвищеного накопичення макро- і мікроелементів, зі збільшенням площі асиміляційної поверхні рослин, підвищенням концентрації хлорофілу і, як наслідок, активізацією фотосинтетичних процесів, збільшенням продуктивності культур. Завдяки цьому стимулятори росту здатні покращувати якість і врожайність зерна. Окрім того, стимулятори росту рослин дають змогу прискорити або уповільнити дозрівання рослин, скорочують вегетаційний період, здатні оптимізувати зростання рослин, а також допомагають виправити стан посівів через несприятливі екологічні умови [4, 38].

Застосування стимуляторів росту дозволяє зменшити кількість застосовуваних мінеральних добрив, пестицидів, які впливають на безпечність продукції та негативно впливають на природне навколишнє середовище. Стимулятори росту в основному використовуються у вигляді позакореневого підживлення та можуть використовуватися декілька разів протягом вегетаційного періоду. Багато в чому ефект цих препаратів також залежить від часу їхнього використання [16, 42].

На сьогодні відома велика кількість різноманітних стимуляторів росту, які широко використовуються в агрономічній практиці, але їхня роль у формуванні урожайності зернових культур усе ще вимагає детального вивчення. З метою раціонального використання необхідно здійснити їх вивчення відносно окремих фаз вегетації культур, періоду застосування, форм і норм внесення тощо [12, 31].

Метою дослідження є вивчення закономірностей впливу стимуляторів росту на продуктивність фотосинтезу посівів сортів ячменю ярого.

Завдання дослідження. Дослідити вплив таких стимуляторів росту як Епін-екстра, Циркон та природний мінерал Бішофіт на тривалість вегетаційного періоду, чисту продуктивність фотосинтезу, фотосинтетичний потенціал посівів, площу листової поверхні посівів у сортів ячменю ярого Геліос, Вакула та Парнас, а також урожайність насіння.

Матеріали і методи досліджень

Польовий експеримент проводили протягом 2017–2019 рр. на дослідному полі Полтавської державної аграрної академії (Україна), а сорти ячменю ярого Геліос, Вакула та Парнас використовувались як дослідні культури. Усі сорти української селекції та рекомендовані для вирощування в зоні Лісостепу України. Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України є автором сортів ячменю. Ґрунт дослідних ділянок дерново-підзолистий середньо-суглинковий з рН 6,0 та вмістом P_2O_5 205 мг/кг, K_2O 117 мг/кг та легко гідрогенізованого азоту 81 мг/кг. Орний горизонт 0–20 см містить до 5 % гумусу, 0,15 % азоту та 0,10 % фосфору. Експеримент проводили у вигляді розділеного сюжету, розміщеного у рандомізованому повному проєкті блоку з трьома повторностями. Площа посівних ділянок становить 100 м², а облікова – 50 м². Попередником ячменю був соняшник. Після збирання соняшнику проводили розбивання стерні дисковою бороною на глибині до 22–25 см для знищення бур'янів та зменшення випаровування вологи. Весняний обробіток ґрунту складався з боронування ґрунту та передпосівного обробітку, під час якого було внесено мінеральне добриво Нітроамофос ($N_{30}P_{30}K_{30}$) з розрахунку 150 кг на гектар.

Основною технікою підготовки ґрунту був глибокий обробіток ґрунту до 20–22 см. Після оранки сівбу проводили з обов'язковим загортанням насіння у вологий шар ґрунту на глибину 3–4 см. Посів ячменю проводився у першій декаді травня сівалкою John Deere 730 з міжряддям 15 см. Норма висіву становила 4,5 млн життєздатних насінин на гектар. Насіння ячменю перед посівом не обробляли фунгіцидними препаратами, а лише природними регуляторами росту: Епін-екстра (активна речовина епі-брасінолід, 0,025 г/л), Циркон (0,1 г/л суміси хлорогенної та цикорієвої кислот) та Бішофіт, який є природним хлормагнієвим комплексом, що містить мікроелементи: калію, кальцію, натрію, міді, заліза, кремнію, титану, молібдену, літію, бору, бром, йоду й ін. Діючою речовиною Бішофіту є хлорид магнію $MgCl_2 \times 6H_2O$ (до 99 г/дм³). Інокуляцію препаратами Епін-екстра та Циркон проводили із розрахунку 20 мл на 200 кг насіння, а 1 % розчином Бішофіту із розрахунку 2 літри на 200 кг насіння. Крім того, ячмінь ярий обприскували у фазі кущіння за допомогою обприскувача STS12 Hagie стимуляторами Епін-екстра та Циркон у нормі 50 г препарату на 300 л води на 1 га, розчин Бішофіту застосовувався в нормі 2 л на 1 га. Вегетаційні періоди 2017–2019 рр. варіювались за інтенсивністю та розподілом опадів, а також за температурою порівняно із середньою тривалістю, але загалом для вирощування ячменю ярого були сприятливими [14].

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

Перший сезон (2017 р.) був досить теплим і вологим. Середньомісячна температура повітря була на рівні багаторічної середньої (6,6 °C). Кількість опадів у квітні була найвищою за весь рік і становила 76,8 мм, що більш ніж удвічі перевищує середній багаторічний показник.

У другому сезоні (2018 р.) на момент сівби переважали несприятливі умови вологості ґрунту (22,3 мм), але температура повітря становила 7,6 °C при середньому багаторічному значенні 6,6 °C.

Останній рік дослідження (2019 р.) характеризувався достатньою кількістю опадів. Порівняно із середньорічним показником він був вищим на 17,7 мм. З іншого боку, і середня температура за весь вегетаційний період була на 1,2 °C вищою (рис. 1).

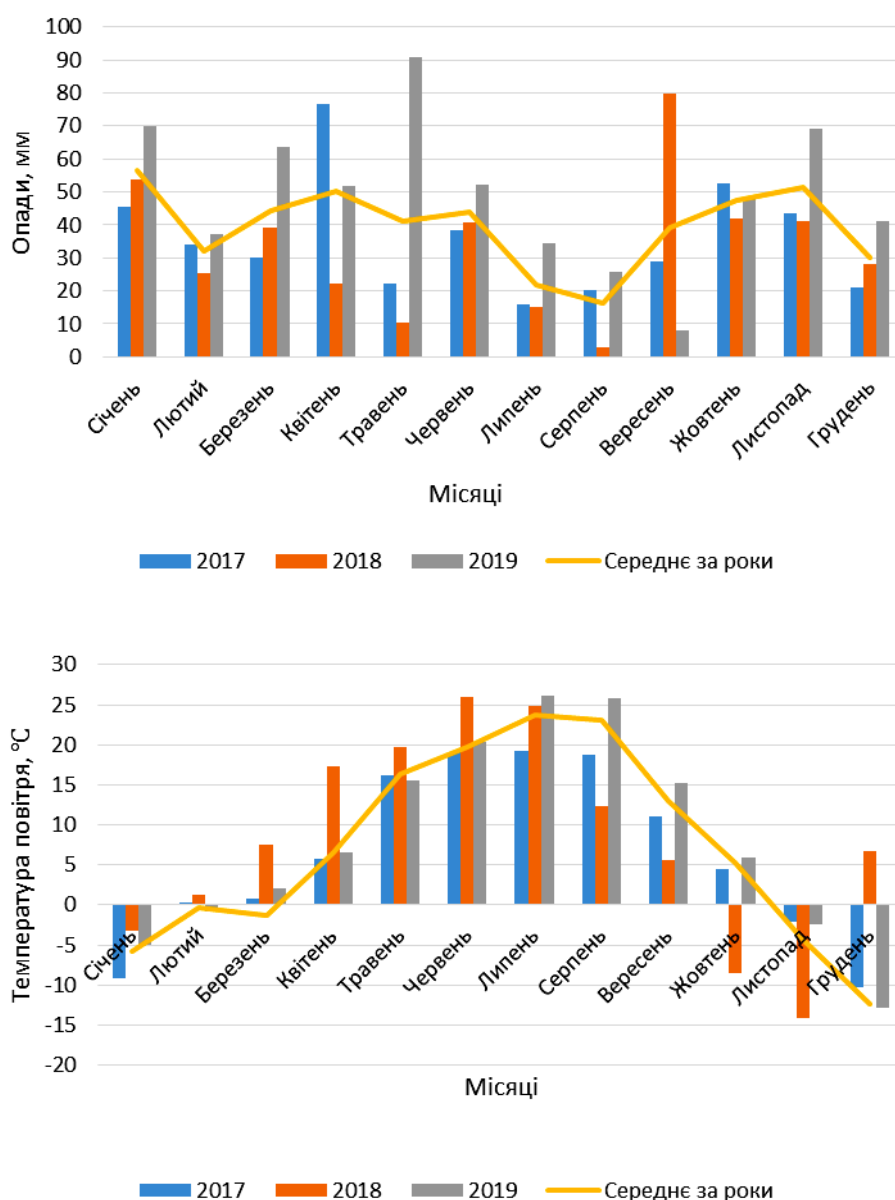


Рис. 1. Кількість опадів та температура повітря, середнє за 2017–2019 рр.

Аналіз ефективності дії стимуляторів росту проводили за такими показниками: площа листової поверхні, фотосинтетичний потенціал посівів, продуктивність фотосинтезу посівів.

Отримані експериментальні дані були проаналізовані за допомогою програмного забезпечення Statistica 10.0, щоб визначити, чи існує достовірна різниця між способами використання.

Результати досліджень та їх обговорення

Стрімка зміна погодних умов та часта повторюваність весняно-літніх посух, що мають місце в умовах Лісостепу України, вимагають розробки ефективних технологічних заходів послаблення негативного впливу несприятливих кліматичних умов з метою стабілізації рівня врожаїв зерна ячменю ярого. Саме тому застосування агротехнічних заходів з метою скорочення основних фаз вегетації культури мають важливе значення [26, 32].

У наших дослідженнях вивчення впливу стимуляторів росту Епін-екстра, Циркон та Бішофіт на основні фази вегетації ячменю ярого передбачало передпосівну обробку насіння та обприскування листово-стеблової маси культури у фазі кущення.

Отримані результати представлені на рис. 2–4 для сортів ячменю Геліос, Парнас та Вакула, відповідно.

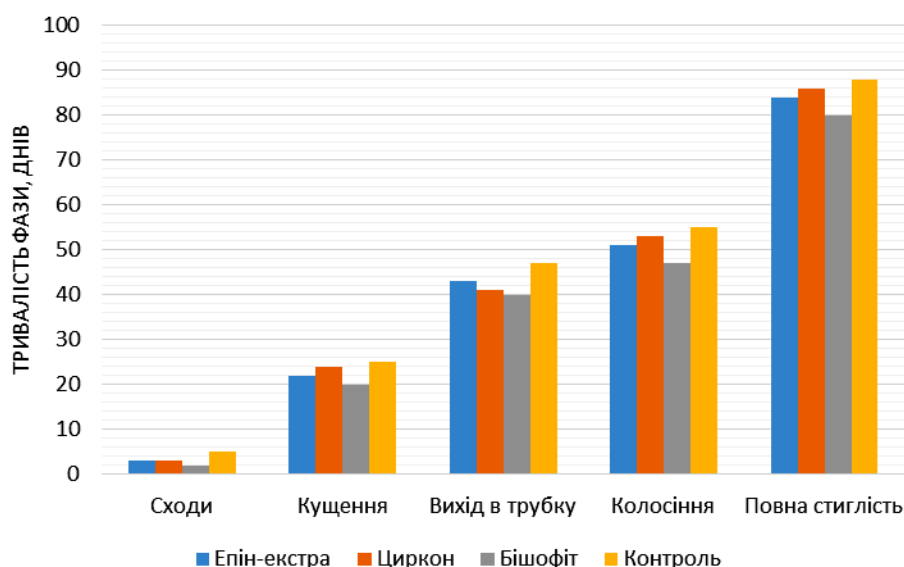


Рис. 2. Вплив стимуляторів росту на настання фенологічних фаз розвитку у ячменю ярого сорту Геліос

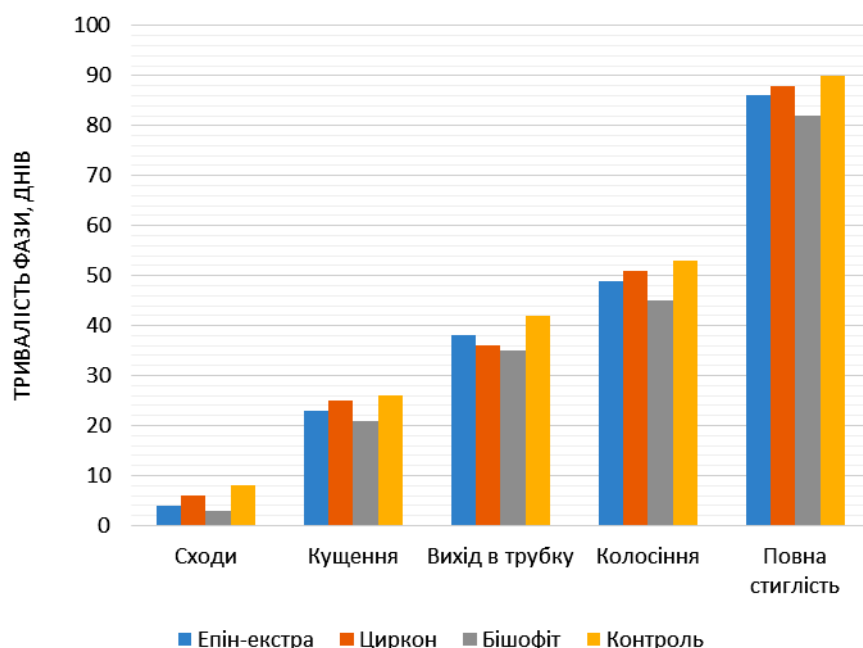


Рис. 3. Вплив стимуляторів росту на настання фенологічних фаз розвитку у ячменю ярого сорту Парнас

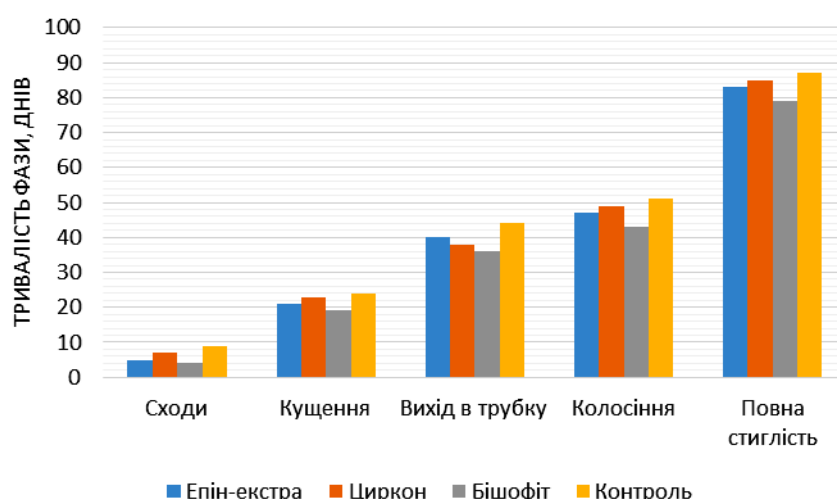


Рис. 4. Вплив стимуляторів росту на настання фенологічних фаз розвитку у ячменю ярого сорту Вакула

Важливим етапом вирощування ячменю ярого в умовах Лісостепової зони України є отримання високої польової схожості культури, оскільки від неї залежить подальший догляд за посівами і рівнем майбутнього врожаю. Тому сприятливі кліматичні умови і використання стимуляторів росту рослин відіграють найважливішу роль.

Через достатню вологість ґрунту та оптимальні кліматичні умови (18 °C) фаза сходів у ячменю сорту Геліос розпочалась через 3 дні після висівання насіння, обробленого стимуляторами Епін-екстра і Циркон. Обробка насіння розчином Бішофіту сприяла появі сходів ячменю цього сорту на 3 дні раніше порівняно з контролем (через 5 днів) (рис. 2).

Сходи ячменю сорту Парнас на контрольній ділянці спостерігали через 8 днів після висівання, тоді як на ділянках, де насіння обробляли розчином Бішофіту, сходи з'явилися через 3 дні, а стимуляторами Епін-екстра і Циркон через 4 і 6 днів, відповідно (рис. 3).

Найтривалішою виявилась фаза сходів у ячменю сорту Вакула. Так, на контрольній ділянці сходи з'явилися через 9 днів, на ділянці, де насіння обробляли розчином Бішофіту через 4 дні після висівання, а насіння, оброблене стимуляторами Епін-екстра і Циркон, дало сходи на 2 та 3 дні пізніше порівняно з обробкою Бішофітом (рис. 4).

Характерною біологічною особливістю ячменя ярого, як і інших зернових, є здатність до кущення. Здатність рослин утворювати пагони кущіння дає можливість їм у посівах ефективніше використовувати фактори вегетації у формуванні максимального врожаю зерна. Суттєво на дану фазу розвитку впливає температурний режим. Як відомо, найбільш оптимальна температура для кушіння ячменю ярого +12–15 °C [11, 24].

У нашому експерименті температура початку фази кущення складала 15 °C. Тому сприятливий температурний режим і передпосівна обробка насіння призвели до прискорення часу настання фази кущення у всіх дослідних сортів. Встановлено, що внаслідок обробки насіння Епін-екстра і Циркон час настання фази кущення скоротився відносно контролю на 3 та 1 день, відповідно. Найкращий результат спостерігали на ділянках, де насіння було оброблене Бішофітом, на яких початок фази кущення скоротився на 5 днів порівняно з контролем (24 дні).

Повторна обробка культури ячменю у фазі кущення шляхом обприскування посівів стимуляторами росту Епін-екстра, Циркон і Бішофіт призвела до початку фази «вихід у трубку» на 4, 6 та 7–8 днів раніше відносно контрольної ділянки, відповідно. На контрольній ділянці початок фази «вихід у трубку» розпочався лише на 41 день.

Суттєвий ефект від обробки посівів ячменю цими стимуляторами спостерігали відносно строків початку фаз розвитку «колосіння» та «повна стиглість». Так, на ділянках, оброблених розчином Бішофіту, початок цих фаз спостерігали на 8 днів раніше, чим на контрольних, а оброблених розчинами Епін-екстра та Циркон, на 4 та 2 дні, відповідно.

Загалом застосування стимуляторів Епін-екстра зумовило скорочення тривалості вегетаційного періоду на 4 дні, Циркону на 2 дні, а Бішофіту на 8 днів порівняно з контролем, але зберігалась незначна різниця за тривалістю вегетаційного періоду між сортами.

Отже, хоча строки настання фенологічних фаз та тривалість вегетаційного періоду значною мірою залежать від погодно-кліматичних умов та генетичних особливостей сортів, їх можна регулювати шляхом використання цих стимуляторів росту.

Стимулятори росту є також одними із чинників, що позитивно впливають на формування листкового апарату рослин. Зважаючи на їхню дію, інтенсивніше відбувається формування листкової поверхні, активізуються основні процеси фотосинтезу, поліпшуються умови росту і розвитку рослин та посилюється стійкість до фітопатогенів [34, 43].

Для оцінки ефективності впливу стимуляторів росту на роботу фотосинтетичного апарату рослини ячменя ми використали такі показники: площа листової поверхні, фотосинтетичний потенціал посівів, продуктивність фотосинтезу посівів, оскільки площа та тривалість роботи асиміляційної поверхні листя культури мають вирішальне значення для формування врожайності, отримані результати представлені у таблиці 1. Максимальну площу асиміляційної листкової поверхні сортів ячменю Геліос, Парнас та Вакула було відзначено у фазі колосіння, тому спостереження за асиміляційною поверхнею листя представлено на цій фазі.

1. Основні показники фотосинтетичної активності рослин ячменя сортів Геліос, Вакула і Парнас

Стимулятор	Площа листової поверхні, тис. м ² /га			Фотосинтетичний потенціал посівів, млн м ² × добу/га			Продуктивність фотосинтезу посівів, г/м ² × добу		
	Геліос	Вакула	Парнас	Геліос	Вакула	Парнас	Геліос	Вакула	Парнас
Контроль	35,1	36,5	36,2	1,62	1,86	1,56	2,27	2,59	2,74
Епін-екстра	36,8	36,7	37,1	1,65	1,95	1,59	2,32	2,64	2,80
Циркон	35,4	36,9	37,5	1,71	1,77	1,72	2,29	2,66	2,82
Бішофіт	39,4	39,1	38,3	1,70	1,74	1,69	2,33	2,75	2,86
НІР ₀₅	0,8	0,8	0,8	0,08	0,08	0,13	0,07	0,08	0,07

Як видно з даних таблиці 1, комплексне використання стимуляторів Епін-екстра, Циркон та Бішофіт (передпосівна обробка насіння та обприскування посівів) призвели до збільшення площі листової поверхні рослин ячменю сорту Геліос на 1,7; 0,3 та 4,3 тис. м²/га, що на 4,6; 0,8 та 10,9 % більше порівняно з контролем. Сорт ячменю ярого Вакула показав дещо інші результати. Передпосівна обробка насіння та обприскування посівів у фазі кушіння сприяли збільшенню площі листової поверхні рослин порівняно з контролем на 0,2; 0,4 та 2,6 тис. м²/га або на 0,5; 1,0 та 6,6 %. Аналогічні результати були отримані і для рослин ячменю сорту Парнас. Двократне застосування вказаних стимуляторів та Бішофіту також призвело до збільшення площі листової поверхні порівняно з контролем на 0,9; 1,3 та 2,1 тис. м²/га або на 2,4; 3,4 та 5,4 %. Варто відмітити, що серед усіх варіантів обробки найінтенсивніше асиміляційна поверхня рослин працює під впливом розчину Бішофіту. Саме при його застосуванні було зафіксовано максимальне збільшення площі листової поверхні в рослин сорту Геліос на 10,9 %, сорту Вакула на 6,6 %, сорту Парнас на 5,4 %.

Оскільки стимулятори росту також впливають на величину фотосинтетичного потенціалу посівів, який характеризує роботу листової поверхні рослин ячменю ярого протягом вегетації, ми проаналізували дію розчинів Епін-екстра, Циркон та Бішофіт на всіх сортах, які вивчаються. Встановлено, що фотосинтетичний потенціал посівів ячменю ярого в середньому за три роки досліджень змінювався аналогічно динаміці формування листкової поверхні. Так, застосування розчинів Епін-екстра, Циркон та Бішофіт на сорті Геліос сприяло збільшенню показників фотосинтетичного потенціалу відповідно на 0,03; 0,09 та 0,08 млн м² × добу/га або на 1,8; 5,2 та 4,7 % порівняно з контролем.

Показники фотосинтетичного потенціалу рослин сорту Вакула також перевищували контроль на 0,09 млн м² × добу/га або на 4,6 % при обробці стимулятором Епін-екстра. Однак обробка Цирконом та Бішофітом виявилась менш ефективною і, як результат, зменшення фотосинтетичного потенціалу відносно контролю на 0,09 та 0,12 млн м² × добу/га або на 5,0 та 6,8 %, відповідно.

У сорту Парнас встановлено збільшення показників фотосинтетичного потенціалу посівів при застосування стимуляторів росту Епін-екстра, Циркон та Бішофіт порівняно з контролем на 0,03; 0,16 та 0,13 млн м² × добу/га або на 1,8; 9,3 та 7,6 %, відповідно.

Але фотосинтетична діяльність рослин ячменю залежить не тільки від величини листової поверхні, але і від її працездатності, тобто продуктивності фотосинтезу [28, 41].

Порівняльне вивчення продуктивності фотосинтезу посівів ячменю ярого показало, що інтенсивність накопичення сухої речовини на одиницю листової поверхні внаслідок застосування стимуляторів росту Епін-екстра, Циркон та Бішофіт значно змінюється. Так, показник продуктивності фотосинтезу в рослин ячменю сорту Геліос при застосуванні Епін-екстра та Бішофіт збільшився порівняно з контролем на 2,1 та 2,5 %, відповідно. Незначне збільшення цього показника (0,8 %) спостерігали і при застосуванні Циркону.

Значно відрізняються показники продуктивності фотосинтезу в рослин сортів Вакула і Парнас, які було оброблено розчином Бішофіту. Збільшення цих показників становить 5,8 % у сорту Вакула та 4,1 % у сорту Парнас.

Статистична обробка отриманих результатів свідчить, що на продуктивність фотосинтезу посівів ячменю найбільший вплив здійснюють такі чинники, як умови років дослідження, варіант обробки, а також взаємодія сорту та року, сорту та варіанту обробки [19].

Дані розрахунків представлені в таблиці 2. Як видно з наведених даних, найбільший вплив здійснили умови року та варіант обробки розчином Бішофіту, який передбачав передпосівну обробку насіння та обробку посівів у фазі кушення.

2. Оцінка залежності чистої продуктивності фотосинтезу від сорту, року, варіанту обробки та їхньої взаємодії за результатами Загальної лінійної моделі ($R_{adj}^2 = 0,48$, $F = 3,83$, $p < 0,001$)

Предиктори	Сума квадратів	Ступені волі	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Константа	297064,90	1	297064,90	16115,00	<0,001
Рік	356,90	2	178,40	9,68	<0,001
Сорт	2,10	2	1,05	0,06	0,940
Варіант обробки*	513,72	3	171,24	9,29	<0,001
Сорт×Рік	231,85	4	57,96	3,14	0,020
Сорт×Обробка	338,94	6	56,49	3,06	0,010
Рік×Обробка	182,39	6	30,40	1,65	0,150
Помилка	884,83	48	18,43	—	—

Примітки: * – варіант обробітку представлений контролем, передпосівна обробка насіння 1 % розчином бішофіту, обробка посівів у фазі кушення 1 % розчином бішофіту, комплексна обробка (передпосівна+у фазі кушення).

Допосівна обробка насіння стимуляторами росту та обприскування посівів у фазі кушення позитивно впливали на формування рівня врожайності насіння сортів ячменю ярого Геліос, Вакула та Парнас порівняно з контролем (табл. 3).

3. Вплив стимуляторів росту на урожайність насіння сортів ячменю ярого, середнє за 2017–2019 рр., ц/га

Стимулятори	Сорти		
	Геліос	Вакула	Парнас
Епін-екстра	48,4	49,6	46,9
Циркон	46,9	50,4	47,3
Бішофіт	50,1	53,8	52,6
Контроль	44,7	45,1	44,0
НІР ₀₅	0,07	0,08	0,07

Так, при обробці ячменю стимуляторами Епін-екстра та Циркон показники врожайності збільшилися порівняно з контролем на 3,7 та 2,2 ц у сорту Геліос, 4,4 і 5,3 ц у сорту Вакула та 2,9 і 3,3 ц у сорту Парнас. Найкращі показники збільшення врожайності насіння в сортів ячменю ярого спостерігалися після обробки насіння та посівів ячменю у фазі кушення 1 % Бішофітом. Порівняно з контролем урожайність збільшилася на 5,4 ц у сорту Геліос; 8,7 ц у сорту Вакула та на 8,6 ц у сорту Парнас. Отже, стимулятори росту Епін-екстра та Циркон, а також природний мінерал Бішофіт збільшують урожайність насіння в сортів ячменю ярого незалежно від погодно-кліматичних умов.

Висновки

Передпосівна обробка насіння та обприскування посівів ячменю ярого у фазі кушення стимуляторами Епін-екстра та Циркон у дозах 50 г/га та 1 % розчином Бішофіту в дозі 2 л/га сприяли прискоренню настання фенологічних фаз, а також загальному скороченню тривалості вегетаційного періоду порівняно з контролем. Застосування цих препаратів на стадії кушення рослин ячменя сприяло збільшенню площі листової поверхні рослин, що своєю чергою призвело до підвищення фотосинтетичного потенціалу посівів культури ячменю та продуктивності фотосинтезу. Найбільший ефект спостерігали при використанні розчину Бішофіту.

У перспективі подальших досліджень є зменшення хімічного навантаження на ґрунтову біоту шляхом заміни синтетичних стимуляторів росту на природний мінерал Бішофіт.

References

1. Alexopoulos, A. A., Karapanos, I. C., Akoumianakis, K. A., & Passam, H. C. (2017). Effect of gibberellic acid on the growth rate and physiological age of tubers cultivated from true potato seed. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36 (1), 1–10.
2. Asami, T., & Nakagawa, Y. (2018). Preface to the special Issue: brief review of plant hormones and their utilization in agriculture. *Journal of Pesticide Science*, 43 (3), 154–158. doi: 10.1584/jpestics.M18-02
3. Bakhmat, M. I., Sendetsky, I. V., Kozina, T. V., & Sendetsky, V. M. (2019). The influence of growth regulator and seeding rates on the formation of winter rape production in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Agrology*, 2 (3), 189–193 doi: 10.32819/019027
4. Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383, 3–4.
5. Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23, 371–393.
6. Dockter, C., & Hansson, M. (2015). Improving barley culm robustness for secured crop yield in a changing climate. *Journal of Experimental Botany*, 66 (12), 3499–3509. doi: 10.1093/jxb/eru521
7. Gianfagna, T. (1995). Natural and synthetic growth regulators and their use in horticultural and agronomic crops. *Plant Hormones*, 751–773. doi: 10.1007/978-94-011-0473-9_34
8. Gonzatto, M. P., Boettcher, G. N., Schneider, L. A., Lopes, A. A., Junior, J. C. S., Petry, H. B., Oliveira, R. P., & Schwarz, S. F. (2016). 3,5,6-trichloro-2-pyridinyloxyacetic acid as effective thinning agent for fruit of *Montenegrina mandarin*. *Ciencia Rural*, 46 (12), 2078–2083.
9. Gorobets, M. V., & Mishchenko O. V. (2020). Vplyv bishofitu na ontogenez sortiv yachmeniu yaroho. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 1, 25–32. doi: 10.31210/visnyk2020.01.02 [In Ukrainian].
10. Gorobets, M. V., Pysarenko, P. V., Chaika, T. O., & Mishchenko, O. V. (2020). Naukovi pidkhody shchodo ekolohizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 4, 142–149. doi: 10.31210/visnyk2020.04.17 [In Ukrainian].
11. Gozdowski, D., Kozak, M., Kang, M. S., & Wyszynski, Z. (2007). Dependence of grain weight of spring barley genotypes on traits of individual stems. *Journal of Crop Improvement*, 20 (1–2), 223–233. doi: 10.1300/J411v20n01_13
12. Heřmanská, A., Štředa, T., & Chloupek, O. (2015). Improved wheat grain yield by a new method of root selection. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (1), 195–202. doi: 10.1007/s13593-014-0227-4
13. Horobets, M., Chaika, T., & Krykunova, V. (2021). Influence of growth stimulants on the ontogenesis of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Colloquium-journal*, 7 (94), 41–42.
14. Horobets, M., Chaika, T., Korotkova, I., Pysarenko, P., Mishchenko, O., Shevnikov, M., & Lotysh I. (2021). Influence of growth stimulants on photosynthetic activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) crops. *International Journal of Botany Studies*, 6 (2), 340–345.

15. Jiang, K., & Asami, T. (2018). Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agriculture. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82 (8), 1265–1300. doi: 10.1080/09168451.2018.1462693
16. Khafagy, M. A-M., Zain, Al-A. A. H. M., Farouk, S., Amrajaa, H. K. (2017). Effect of pre-treatment of barley Grain on germination and seedling growth under drought stress. *Advances in Applied Sciences*, 2 (3), 33–42. doi: 10.11648/j.aas.20170203.12
17. 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. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18, 623–629.
18. Khan, W., Rayireth, U., Subramanian, S., Jithesh, M., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 386–399.
19. Kumar, G., & Sahoo, D. (2011). Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of Triticum aestivum var. Pusa Gold. *Journal of Applied Phycology*, 23, 251–255.
20. Kunah, O. M., Pakhomov, O. Y., Zymarioieva, A. A., Demchuk, N. I., Skupskyi, R. M., Bezuhla, L. S., & Vladyka, Y. P. (2018). Agroecologic and agroecological aspects of spatial variation of rye (*Secale cereale*) yields within Polesia and the Forest-Steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*, 26 (4), 276–285. doi: 10.15421/011842
21. Kunah, O. M., Zelenko, Y. V., Fedushko, M. P., Babchenko, A. V., Sirovatko, V. O., & Zhukov, O. V. (2019). The temporal dynamics of readily available soil moisture for plants in the technosols of the Nikopol Manganese Ore Basin. *Biosystems Diversity*, 27 (2), 156–162. doi: 10.15421/011921
22. Kurepin, L., Zaman, M., & Phari, R. P. (2014). Phytohormonal basis for the plant growth promoting action of naturally occurring biostimulators. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1715–1722.
23. Luo, Y., Yang, D., Yin, Y., Cui, Z., Li, Y., Chen, J., Zheng, M., Wang, Y., Pang, D., Li, Y., & Wang, Z. (2016). Effects of exogenous 6-BA and nitrogen fertilizers with varied rates on function and fluorescence characteristics of wheat leaves post anthesis. *Scientia Agricultura Sinica*, 49 (6), 1060–1083.
24. Matysiak, K., & Adamczewski, K. (2006). Influence of bioregulator Kelpak on yield of cereals and other crops. *Progress in Plant Protection*, 46 (2), 102–10.
25. Mohammad, N. K., & Mohammad, F. (2013). Effect of GA₃, N and P ameliorate growth, seed and fibre yield by enhancing photosynthetic capacity and carbonic anhydrase activity of linseed. *Integrative Agriculture*, 12 (7), 1183–1194.
26. Mokhberdoran, F., Nabavi Kalat, S. M., & Sadrabadi Haghighi, R. (2009). Effect of temperature, iso-osmotic concentration of NaCl and PEG agents on germination and some seedling growth yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 8, 409–416.
27. Papenfus, H. B., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A., Finnie, J. F., & van Staden, J. (2013). Effect of a commercial seaweed extract (Kelpak®) and polyamines on nutrient-deprived (N, P and K) okra seedlings. *Scientia Horticulturae*, 151, 142–146.
28. Piotrowska-Niczyporuk, A., & Bajguz, A. (2014). The effect of natural and synthetic auxins on the growth, metabolite content and antioxidant response of green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae). *Journal of Plant Growth Regulation*, 73 (1), 57–66.
29. Polyvanyj, S. V., & Kuryata, V. G. (2015). Dija treptolemu na morfogenezu, produktyvnist' ta jakisni harakterystyky maku olijnogo. *Agrobiologija*, 117 (1), 65–72 [In Ukrainian].
30. Rai, R. K., Tripathi, N., Gautam, D., Singh, P. (2017). Exogenous application of ethrel and gibberellic acid stimulates physiological growth of late planted sugarcane with short growth period in sub-tropical India. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 472–486 doi: 10.1007/s00344-016-9655-5
31. Ren, B., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., Zhao, B. (2017). Regulations of 6-benzyladenine (6-BA) on leaf ultrastructure and photosynthetic characteristics of waterlogged summer maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 743–754. doi: 10.1007/s00344-017-9677-7
32. Rohach, V. V. (2017). Influence of growth stimulants on photosynthetic apparatus, morphogenesis and production process of eggplant (*Solanum melongena*). *Biosystem Diversity*, 25 (4). doi: 10.15421/011745
33. Shah, M. T., Zodape, S. T., Chaudhary, D. R., Eswaran, K., & Chikara, J. (2013). Seaweed SAP as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 36 (2), 192–200.

34. Sharma, S. H., Fleming, C., Selby, Ch., Rao, J. R., & Trevor, M. (2014). Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26, 465–490.
35. Soltani, A., Gholipour, M., & Zeinali, E. (2006). Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Journal Environmental and Experimental Botany*, 55, 195–200.
36. Stadnik, M. J., & de Freitas, M. B. (2014). Algal polysaccharides as source of plant resistance inducers. *Tropical Plant Pathology*, 39 (2), 111–118.
37. Szczepanek, M. (2017). Effect of biostimulant application in cultivation of spring barley. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 16(2), 77–85
38. Szczepanek, M. (2018). Technology of maize with growth stimulants application. *17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, 483–490. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N074
39. Tubic, L., Savic, J., Mitic, N., Milojevic, J., Janosevi, D., Budimir, S., & Zdrav-kovic-Korac, S. (2016). Cytokinins differentially affect regeneration, plant growth and antioxidative enzymes activity in chive (*Allium schoenoprasum*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture January*, 124 (1), 1–14.
40. Verma, A., Singh, J., Kumar, V., Kharab, A. S., & Singh, G. P. (2017). Non parametric analysis in multi environmental trials of feed barley genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (6), 1201–1210. doi: 10.20546/ijcmas.2017.606.139
41. Xiaotao, D., Yuping, J., Hong, W., Haijun, J., Hongmei, Z., Chunhong, C., & Jizhu, Y. (2013). Effects of cytokinin on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters, antioxidative system and carbohydrate accumulation in cucumber (*Cucumis sativus*) under low light. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35 (5) 1427–1438.
42. Yakhin, O. I., Lubyantov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.02049
43. Zymaroieva, A., Zhukov, O., Romanchuck, L., & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1107–1113.

Стаття надійшла до редакції: 31.03.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Короткова І. В., Горобець М. В., Чайка Т. О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярого. *Вісник ПДАА*. 2021. № 2. С. 20–30.

*© Короткова Ірина Валентинівна, Горобець Максим Вікторович,
Чайка Тетяна Олександрівна, 2021*