УДК 633.16:631.526.32:631.53.04:631.811.98

Динаміка вмісту елементів живлення в рослинах ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби та регуляторів росту рослин

Анотація. Проблему зі збільшення виробництва зерна ячменю озимого на зрошуваних землях можна вирішити завдяки покращенню сортового складу, оптимізації строків сівби та поліпшенню системи живлення, зокрема через застосування препаратів із росторегулюючими властивостями. Враховуючи важливу біологічну роль регуляторів росту в системі живлення рослин, ставилось за мету визначити вплив Гуміфілд Форте брікс, МИР і PROLIS на вміст азоту, фосфору й калію в основні фази розвитку рослин різних сортів ячменю озимого за оптимального та пізнього строків сівби. Дослідження проводилися в Інституті зрошуваного землеробства (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства) НААН за методичними рекомендаціями щодо проведення польових випробувань в умовах зрошення. У надземній масі рослин, соломі і зерні визначали вміст загальний: азоту – за К'єльдалем, фосфору – за Мерфі-Рейлі, калію – на полум'яному фотометрі. Визначено, що на зрошуваних землях Півдня України застосування регуляторів росту Гуміфілд Форте брікс, МИР і PROLIS істотно впливало на акумуляцію основних елементів живлення (особливо азоту) рослинами та зерном ячменю озимого. Найбільший вміст основних елементів живлення в рослинах був на ранніх етапах розвитку (весняне кущення), після чого їх кількість зменшувалась до кінця вегетації культури. Максимальний вміст азоту 2,02 % на суху речовину на сорті Дев'ятий вал та 1,85 % на сорті Академічний забезпечило використання препарату Гуміфілд Форте Брікс. Серед сортів Дев'ятий вал у середньому за фактором регулятора росту рослин акумулював азоту в зерні за сівби 1 і 20 жовтня на 9,1 та 9,5 відсоткових пункти більше, ніж Академічний. Завдяки обробці насіння ячменю озимого регуляторами росту рослин Гуміфілд Форте Брікс і PROLIS та сівби культури в оптимальні терміни можна підвищити вміст азоту в рослинах і зерні відповідно на 6,0-15,1 та 9,3-22,5 відсоткових пункти, що позитивно позначиться на формуванні зерна та його якості. У подальших дослідженнях необхідно оптимізувати дози внесення мінеральних добрив за використання нових багатокомпонентних регуляторів росту рослин ячменю озимого в умовах зрошення Півдня України

Ключові слова: вміст азоту, фосфору і калію, біомаса, терміни висіву, багатокомпонентні препарати, зрошення

Вступ

Останні прогнози Організації Об'єднаних Націй припускають, що населення світу може зрости приблизно до 8,5 мільярдів у 2030 році та 9,7 мільярдів у 2050 році. досягти піку в 10,4 млрд людей у 2080-х роках [1-3]. Враховуючи, що до 2050 року лави населення поповняться на 1,7 мільярди людей, а до 2080 року − ще на 0,7 мільярди, виникає серйозна проблема забезпечення їх продуктами харчування, проблема, яка з часом тільки загострюватиметься. Таке зростання населення планети буде відбуватись за глобальної зміни клімату [4-6], від несприятливих наслідків якої найбільш страждатимуть незахищені групи населення [7; 8], що вимагатиме нових методів стабілізації та збільшення виробництва сільськогосподарської продукції. Важливо це робите екологічно безпечним чином, переглянувши багато існуючих підходів до сільського господарства, зокрема систему живлення рослин, сортову політику та терміни сівби.

Однією із найбільш поширених у світі зернових культур є ячмінь [9-11]. Зерно його широко використовується на кормові, харчові та технічні цілі [12-14]. Враховуючи народногосподарське значення цієї культури, ячмінь вимагає до себе значної уваги та ретельного технологічного підходу.

В останні роки значно розширились площі посіву ячменю озимого, як у країнах ЄС, так і в Україні. Якщо на початку XXI століття його висівали в Україні на площі 300-500 тис. га, то в останні десять років – 0,9-1,5 млн га [15; 16]. Переважно його площі збільшуються за рахунок зменшення посівів ячменю ярого. Головними чинниками, що надають йому перевагу над ячменем ярим, є висока потенційна продуктивність, більш ефективне використання вологи й опадів осінньо-зимового періоду та раннє дозрівання [17], що дозволяє при зрошенні вирощувати сільськогосподарські культури в повторних посівах.

За останні роки врожайність ячменю озимого в Україні збільшилася з 2,0 т/га до 3,4 т/га, або в 1,7 рази, але вона, на жаль, у два рази нижча за показник в країнах ЄС – 7,0 т/га [18; 19]. Тобто, перед вітчизняними сільгоспвиробниками ставиться завдання про подальше підвищення його врожайності.

Збільшення та стабілізація виробництва зерна ячменю озимого можливі лише за чіткого і максимально ефективного виконання всіх елементів технології вирощування. Серед найважливіших і надійних чинників підвищення врожайності та якості зерна ячменю є використання високопродуктивних сортів, сівба їх в оптимальні строки та застосування біологічних регуляторів росту.

Сорти та гібриди іноземної селекції можуть забезпечувати врожайність ячменю озимого на рівні 9-10 т/га [20]. Нині вітчизняними селекціонерами також створено нові сорти ячменю озимого, потенціал урожайності яких сягає 8-9 т/га і більше [21]. Використання цих сортів може суттєво підвищити рівень конкурентоспроможності виробництва зерна цієї цінної культури.

Глобальні зміни кліматичних умов, що відбуваються останніми десятиліттями, вимагають певної корекції в технології вирощування більшості сільськогосподарських культур, адаптації її до несприятливих абіотичних чинників. Вже зроблені перші зміни у строках сівби озимих зернових культур у бік більш пізніх термінів [22-24].

Відомо, що застосування в рослинництві метаболітів та фітогормонів, сприяло розвитку галузі, стимулюючи ростові процеси та оптимізуючи дозрівання сільськогосподарських культур [25-27], а також впливаючи на формування кореневої меристеми [28; 29].

У найближчі роки серед найбільш пріоритетних напрямків є збільшення обсягів виробництва високоякісного зерна, де важливу роль можуть відіграти регулятори росту рослин та мікробіологічні препарати із росторегулюючими властивостями [30-32]. Відомі типи біостимуляторів, що включають амінокислоти, гумінові речовини, екстракти водоростей, препарати на основі мікробів та інші [33-35]. Проте, як регулятори росту рослин змінюють поглинання біомасою ячменю озимого основних елементів живлення: азоту, фосфору і калію при зрошенні не достатньо досліджене.

Тому мета досліджень полягала у визначені параметрів акумуляції елементів живлення рослинами в основні фази розвитку ячменю озимого залежно від сортів, строків сівби і багатокомпонентних регуляторів росту в умовах зрошення півдня України.

Огляд літератури

Під час активного фізіологічного процесу відбувається поглинання рослиною елементів живлення, вміст яких залежить як від прямих, так і опосередкованих чинників [36; 37]. Вважається, що для отримання більш високого врожаю польові культури повинні поглинати велику кількість поживних речовин із ґрунту [38; 39]. Проте, реакція рослин на умови живлення в різні періоди вегетації буває різною, а поглинання елементів, через зміну характеру та спрямованості біохімічних процесів, − нерівномірним.

За даними досліджень В.В. Церлинга у фазу кущення рослин оптимальний вміст елементів мінерального живлення в надземній біомасі повинен становити 4,7-5,3 % азоту, 0,55-0,65 % фосфору та 4,2-4,2 % калію [40]. Внаслідок покращення мінерального живлення збільшується вміст цих елементів у рослині [41; 42].

Ряд дослідників також вважають, що максимальну кількість основних елементів живлення рослини ячменю озимого акумулюють на початку весняного кущення, а потім їх

вміст поступово знижується і досягає найменших значень в кінці вегетації культури [43-45]. Маючи дані про фактичний вміст поживних речовин на початку весняного кущення можна коригувати дози застосування добрив у подальших фазах розвитку рослин.

Серед основних елементів живлення рослин, що необхідних для формування врожаю зерна, азот займає найголовніше значення, оскільки відіграє вирішальну роль у майже всіх метаболічних процесах рослин, а його дефіцит призводить до зниження виробництва зерна [46, 47]. Майже в усіх сільськогосподарських ґрунтах, у тому числі й в Україні, азот знаходиться в мінімумі, або є універсальним дефіцитом [48]. Тому при вирощуванні сільськогосподарських культур у першу чергу слід використовувати азотні добрива. На темно-каштанових ґрунтах півдня України за умови вирощування ячменю озимого на зрошуваних землях оптимальна норма внесення повинна складати N_{90} [49].

Вчені ЄС, США та інших країн світу вважають, що, поряд з добривами і пестицидами, регулятори росту рослин мають зайняти важливе місце в технології виробництва рослинної продукції. Застосування у виробництві біопрепаратів поліпшує використання елементів живлення рослинами, сприяє розвитку кореневої системи та стійкості культури до несприятливих кліматичних умов, внаслідок чого покращується стан рослин та збільшується їх продуктивність [50-52]. Дослідженнями, що проводились в країнах ЄС [53; 54], Японії [55] та України [56] на зернових культурах, документально також підтверджено вплив їх на зростання та розвиток рослин. Отже, широке використання у виробництві регуляторів росту, що містять збалансований комплекс фіторегуляторів, біологічно активних речовин і мікроелементів, є одним із можливих чинників регулювання ростовими процесами рослин та формування врожаю.

Ряд дослідників показали механізми позитивної дії фітогормонів на поділ клітин, процеси фотосинтезу та дихання, засвоєння елементів живлення зерновими культурами [57-59]. Також встановлено, що застосування регуляторів росту сприяє підвищенню поглинання азоту озимими культурами [60]. При цьому накопичення азоту і фосфору в рослинах було нижчим за пізнішого строку сівби [61]. Тобто, через пізні терміни сівби, неправильно сформовані параметри посіву негативно впливають на ріст і розвиток рослин [62, 63], а отже й на поглинання елементів живлення.

Окрім того фон живлення рослин визначається сортовими особливостями, так як сорти по-різному реагують на основні елементи технології [64, 65].

Тобто збільшення врожаю сільськогосподарських культур при застосуванні регуляторів росту багато в чому залежить від достатнього забезпечення фону живлення у поєднанні з оптимальними строками сівби, а також від біологічних властивостей сорту.

Проте вплив нових багатокомпонентних регуляторів росту рослин на акумуляцію основних макроелементів у період вегетації ячменю озимого, що висівався в різні строки на зрошуваних землях, раніше не досліджувався.

Актуальність проведення даного дослідження та узагальнення експериментального матеріалу обумовлена важливістю біологічної ролі регуляторів росту та обмеженістю наукових даних щодо їх впливу на вміст азоту, фосфору і калію в рослинах сучасних сортів ячменю озимого за вирощування в умовах зрошення.

Матеріали та методи

Для оцінки потенційних можливостей ячменю озимого накопичувати азот, фосфор і калій та витрати їх в період вегетації рослин використовували результати польових і лабораторних досліджень відділу агротехнологій та лабораторії аналітичних досліджень Інституту зрошуваного землеробства (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства) НААН.

Дослідження проводились в умовах зрошення впродовж 2016-2019 рр. на темно-каштановому середньосуглинковому слабкосолонцюватому ґрунті, що характеризується такими агрохімічними та агрофізичними показниками: вміст ґумусу в орному шарі – 2,3 %, щільністю – 1,37 г/см^3, вологістю в'янення – 9,1 %, найменшою вологоємністю – 20,3 %;

нітратів (за Грандваль-Ляжем) 7,9-24,2 мг/га, рухомого фосфору (за Мачигіним) – 53,8-83,9 мг/кг і обмінного калію (на полум'яному фотометрі) – 231-281 мг/кг ґрунту; реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної, pH сольової витяжки 7,1. Враховуючи низький вміст у ґрунті азоту та підвищений – фосфору і калію, вносили під передпосівну культивацію лише аміачну селітру в дозі N_{45} та рано навесні у підживлення N_{45}.

Попередником була соя, зібрана на зерно. Технологія вирощування ячменю озимого загальноприйнята для зони в умовах зрошення (крім елементів, які досліджувались).

Дослід трифакторний:

Фактор А (сорти ячменю): Академічний і Дев'ятий вал, які занесено до державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні з 2011 і 2014 років.

Фактор В (строки сівби): оптимальний (1 жовтня) і пізній (20 жовтня).

Фактор С (регулятори росту): контроль (без обробки); Гуміфілд Форте Брікс (обробка насіння 0,8 л/т); МИР (обробка насіння 6 г/т); PROLIS (обробка насіння 5 г/т).

Особливості складових та характеристика досліджуваних регуляторів росту рослин:

Гуміфілд Форте Брікс, в.с. – високоефективний, водорозчинний, універсальний регулятор росту, адаптоген та антистресант на основі гумату амонію, найактивнішої форми гумату, містить 60 г/л екстракту морських водоростей до складу яких входить комплекс фітогормонів і фізіологічно активних речовин, 135 г/л солей гумінових кислот, у т. ч.: амінокислот – 20 г/л, калію (K_2O) – 20 г/л і мікроелементів – 5 г/л, pH – 10-11 [66].

Препарат МИР МАРКИ З – багатоцільовий регулятор росту рослин, створений на основі синтетичних сполук, містить у собі гетероауксин – 10-20%, гумінові кислоти – 70-80% та повний спектр корисних для рослин мікроелементів у хелатній формі: Fe – 0,6-0,8%, Mg – 3,6-5,3%, Mn – 0,7-2,6%, Zn – 1,1-5,0%, Mo – 0,2-1,0%, Cu – 0,6-0,8%, B – 0,5-1,2%) [67].

Регулятор росту рослин PROLIS TM – L-α пролін гетероциклічна амінокислота (піролідин-α-карбонова кислота), 995 г/кг, $C_5H_9NO_2$, водорозчинний порошок, призначений для біотичного та абіотичного зменшення стресу рослин, регулює засвоюваність макро- і мікроелементів, а також стимулює імунну систему рослин [68].

Повторність у дослідах триразова. Варіанти розташовували методом рендомізації. Посівна площа ділянок складала 38,8, облікових – 28,6 $м^2$.

У надземній масі рослин, соломі і зерні визначали вміст загальний: азоту – за К'єльдалем, фосфору – за Мерфі-Рейлі, калію – на полум'яному фотометрі.

Результати та обговорення

Отримані дані свідчать, що обробка насіння ячменю озимого багатокомпонентними регуляторами росту рослин Гуміфілд Форте Брікс, МИР і PROLIS збільшувала вміст азоту в рослинах. Так, у фазі весняного кущення в рослинах сорту Академічний за сівби 1 і 20 жовтня без застосування регуляторів росту рослин азоту містилось у середньому відповідно 3,14 та 3,17 % на суху речовину, а при їх внесенні його було значно більше – 3,34-4,10 і 3,36-3,65 % (таблиця 1).

Таблиця 1. Динаміка вмісту азоту в рослинах ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби та регуляторів росту рослин, % (середнє за 2017-2019 рр.)

Сорт	Строки сівби	Фон живлення і регулятори росту рослин	Фази розвитку рослин			
			кущення	вихід у трубку	колосіння	повна стиглість
Азот						
Академічний	1 жовтня	N_{90}	3,14	2,05	1,21	0,38
		N_{90} + Гуміфілд	3,34	1,88	1,16	0,39
		N_{90} + МИР	3,42	2,19	1,23	0,41
		N_{90} + PROLIS	4,10	1,73	1,49	0,38
	20 жовтня	N_{90}	3,17	2,37	1,01	0,35
		N_{90} + Гуміфілд	3,43	2,29	1,19	0,36
		N_{90} + МИР	3,36	2,03	1,21	0,35
		N_{90} + PROLIS	3,65	2,50	1,44	0,33

Дев'ятий вал	1 жовтня	N_{90}	4,11	2,57	1,47	0,43
		N_{90} + Гуміфілд	4,31	2,63	1,51	0,44
		N_{90} + МИР	4,15	2,65	1,45	0,45
		N_{90} + PROLIS	4,24	2,39	1,32	0,44
	20 жовтня	N_{90}	3,82	2,57	1,32	0,35
		N_{90} + Гуміфілд	4,43	2,58	1,49	0,41
		N_{90} + МИР	4,05	2,72	1,42	0,47
		N_{90} + PROLIS	4,18	2,05	1,21	0,43

Джерело: *розроблено авторами.*

Аналогічна закономірність також спостерігалась і в сорту-дворучки Дев'ятий вал, але з дещо вищим вмістом азоту в рослинах. За сівби цього сорту 1 і 20 жовтня без застосування регуляторів росту рослин вміст азоту відповідно складав 4,11 та 3,82 % на суху речовину, а за їх внесення – 4,15-4,31 і 4,05-4,43 %, або на 0,04-0,20 та 0,23-0,61 % більше. При цьому, незалежно від строків сівби сорт Академічний найбільшу кількість цього елемента в рослинах забезпечував за використання препарату PROLIS, а Дев'ятий вал – Гуміфілд Форте Брікс.

Дані таблиці 1 свідчать, що найбільше азоту в рослинах ячменю озимого містилося у фазі кущення, після чого його кількість різко зменшувалась до повної стиглості зерна. Так, у період кущення вміст азоту в рослинах становив 3,14-4,43 %, у фазі виходу в трубку його кількість зменшувалася до 1,73-2,72 %, у колосіння – до 1,01-1,51 %, та за повної стиглості – до 0,33-0,47 %, що обумовлено поступовим витрачанням його на ростові процеси і формування зерна. Мінімальний вміст азоту стосовно маси сухої речовини виявлено у фазі повної стиглості зерна, що на 88–91 % менше, порівняно з фазою кущення.

Це можна пояснити випереджаючими витратами азоту рослинами на синтез органічної речовини у другій половині вегетації над надходженням цього елемента живлення через кореневу систему.

Встановлено, що процес накопичення фосфору рослинами ячменю озимого також інтенсивніше проходить на початку весняного кущення. Так, у вказану фазу розвитку вміст цього елемента в рослинах сорту Академічний залежно від варіантів досліджень коливався у межах 1,05-1,32 %, а в сорту-дворучки Дев'ятий вал – 1,14-1,28 % (таблиця 2).

Таблиця 2. Динаміка вмісту фосфору в рослинах ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби та регуляторів росту рослин, % (середнє за 2017-2019 рр.)

Сорт	**Строки сівби**	**Фон живлення і регулятори росту рослин**	**Фази розвитку рослин**			
			кущення	**вихід у трубку**	**колосіння**	**повна стиглість**
Фосфор						
Академічний	1 жовтня	N_{90}	1,31	0,87	0,63	0,21
		N_{90} + Гуміфілд	1,31	0,92	0,55	0,17
		N_{90} + МИР	1,32	0,85	0,58	0,17
		N_{90} + PROLIS	1,27	0,86	0,65	0,16
	20 жовтня	N_{90}	1,09	0,81	0,57	0,18
		N_{90} + Гуміфілд	1,07	0,80	0,56	0,19
		N_{90} + МИР	1,05	0,75	0,57	0,17
		N_{90} + PROLIS	1,08	0,80	0,56	0,19
Дев'ятий вал	1 жовтня	N_{90}	1,14	0,82	0,65	0,22
		N_{90} + Гуміфілд	1,25	0,80	0,62	0,21
		N_{90} + МИР	1,23	0,82	0,59	0,20
		N_{90} + PROLIS	1,27	0,87	0,60	0,23
	20 жовтня	N_{90}	1,27	0,82	0,55	0,22
		N_{90} + Гуміфілд	1,28	0,83	0,57	0,21
		N_{90} + МИР	1,28	0,76	0,59	0,17
		N_{90} + PROLIS	1,18	0,79	0,56	0,22

Джерело: *розроблено авторами.*

Якщо у рослин сорту Академічний більша кількість фосфору накопичувалось за сівби 1 жовтня, то на сорті-дворучки Дев'ятий вал різниці між строками сівби не спостерігалась. Також не відмічено змін вмісту фосфору в рослинах за обробки насіння регуляторами росту Гуміфілд Форте Брікс, МИР і PROLIS, що пояснюється його досить високим вмістом у темно-каштановому ґрунті.

При виході рослин у трубку, порівняно з початком весняного кущення, вміст фосфору знизився на 25-41 відсотковий пункт і коливався у межах 0,75-0,92 %. Мінімальна кількість фосфору у вегетативних органах рослин відмічена за повної стиглості зерна (0,16-0,23 %). Суттєвої різниці між варіантами досліду в накопиченні рослинами ячменю озимого фосфору не встановлено.

Тому можна вважати, що найбільша частина фосфору накопичується у рослинах на ранніх етапах органогенезу (весняного кущення) та є достатньою для забезпечення рослин ячменю до кінця вегетації.

Максимальний уміст загального калію в рослинах ячменю озимого обох сортів також був відмічений за весняного кущення – 3,15-3,71 % (таблиця 3).

Таблиця 3. Динаміка вмісту калію в рослинах ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби та регуляторів росту рослин, % (середнє за 2017-2019 рр.)

Сорт	Строки сівби	Фон живлення і регулятори росту рослин	Фази розвитку рослин			
			кущення	вихід у трубку	колосіння	повна стиглість
Академічний	1 жовтня	N_{90}	3,48	2,98	1,93	1,62
		N_{90} + Гуміфілд	3,15	3,11	2,08	1,72
		N_{90} + МИР	3,50	3,20	1,92	1,66
		N_{90} + PROLIS	3,25	2,90	2,07	1,58
	20 жовтня	N_{90}	3,37	3,30	2,10	1,51
		N_{90} + Гуміфілд	3,32	3,23	2,06	1,52
		N_{90} + МИР	3,42	2,95	1,79	1,46
		N_{90} + PROLIS	3,34	2,86	1,95	1,66
Дев'ятий вал	1 жовтня	N_{90}	3,29	3,34	1,93	1,33
		N_{90} + Гуміфілд	3,26	3,08	2,04	1,43
		N_{90} + МИР	3,47	3,30	2,10	1,44
		N_{90} + PROLIS	3,55	3,31	2,07	1,44
	20 жовтня	N_{90}	3,51	3,37	1,95	1,52
		N_{90} + Гуміфілд	3,71	3,32	2,05	1,60
		N_{90} + МИР	3,63	3,38	1,92	1,67
		N_{90} + PROLIS	3,33	3,01	2,10	1,56

Джерело: *розроблено авторами.*

Починаючи з весняного кущення і до виходу рослин у трубку вміст даного елемента майже не змінюється. Протягом наступних періодів відмічається поступове зниження кількості калію в рослинах: у міжфазний період "вихід у трубку – колосіння" – до 1,79-2,10 %, а "колосіння – повна стиглість зерна" – до 1,33-1,72 % залежно від варіантів досліду.

Слід відмітити, що не виявлено суттєвої різниці за вмістом у рослинах і калію на варіантах досліду, через високий вміст його в ґрунті.

Встановлено, що на темно-каштановому ґрунті при зрошенні найбільший вміст азоту, фосфору і калію в рослинах був на ранніх етапах розвитку (весняне кущення), після чого їх кількість зменшувалась до кінця вегетації. Ці дані свідчать, що на ранніх етапах вегетації ячменю озимого відбувається накопичення азоту, фосфору і калію в рослинах, створюється їх запас, за рахунок якого пізніше, в процесі реутилізації, забезпечується життєдіяльність рослин.

Про це зазначав в своїй праці А.Г. Мусатов [69], який вказував, що завдяки повторному використанню рослини деякий час забезпечують ріст нових тканин за рахунок внутрішніх резервів елементів живлення, сформованих раніше в стеблах, якщо вони не надходять із зовні.

Отримані дані вмісту азоту, фосфору і калію в біомасі рослин за весняного кущення ячменю озимого можуть слугувати основою для діагностики та корегування основного макроелементного живлення культури, а також оцінки якості сільськогосподарської продукції.

Виявлено, що ріст і розвиток рослин сортів Академічний і Дев'ятий вал найкраще проходив тоді, коли вміст елементів живлення в рослинах у фазі кущення становив: азоту 4,10-4,43 %, фосфору 1,23-1,32 та калію 1,44-1,72 % на суху речовину.

Між сортами Академічний і Дев'ятий вал суттєвої різниці за вмістом елементів живлення в рослинах і динамікою їх вмісту за фазами розвитку не спостерігалося. Лише за вмістом азоту дещо більший він був у всі фази розвитку на сорті Дев'ятий вал. Натомість за показником фосфору і калію в рослинах сорти є досить близькими.

Обробка насіння комплексними регуляторами росту рослин та терміни сівби позначалися на вмісті загальних азоту, фосфору і калію в зерні ячменю озимого. Якщо за вирощування ячменю озимого при зрошенні в побічній продукції (соломі) вміст калію значно переважав значення азоту і фосфору, то в зерні найбільше містилось азоту, потім фосфору і найменше – калію.

Менший вміст фосфору і калію в зерні ячменю озимого порівняно з азотом можна пояснити відсутністю внесення цих елементів добривами та вимиванням їх із орного шару ґрунту внаслідок вегетаційних поливів.

Наведені дані рисунка 1 свідчать, що в зерні ячменю озимого сортів Академічний і Дев'ятий вал за сівби 1 жовтня вміст азоту за використання регуляторів росту рослин перевищував контрольні варіанти відповідно на 9,3-22,5 та 9,4-18,1 відносних пунктів залежно від препарату.

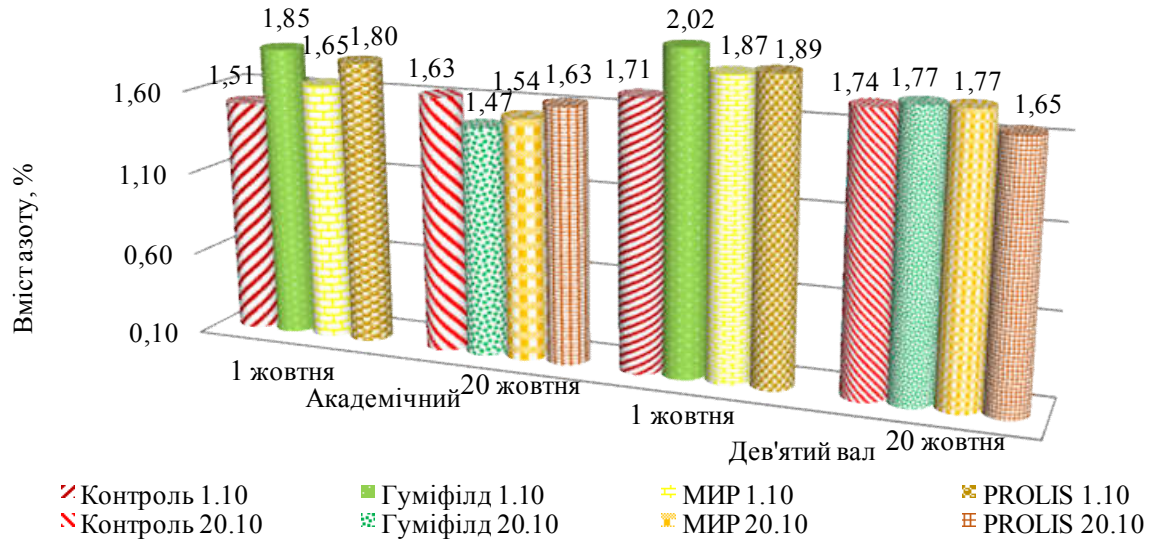

Рисунок 1. Вміст азоту в зерні ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби і регуляторів росту рослин, % на суху речовину (середнє за 2016-2019 рр.)

Джерело: *розроблено авторами*

Тобто за вказаного строку сівби обробка насіння регуляторами росту рослин обох сортів ячменю озимого позитивно позначалася на вмісті азоту в зерні. На сорті Дев'ятий вал максимальний вміст азоту 2,02 % на суху речовину та на сорті Академічний – 1,85 % забезпечило використання препарату Гуміфілд Форте Брікс.

Інша закономірність спостерігалась за сівби в пізніший строк 20 жовтня. На сорті Академічний переваг застосуванню регуляторів росту рослин над варіантами без них не встановлено, а на сорті Дев'ятий вал – перевищення на 3,5 відносних пунктів забезпечили лише препарати Гуміфілд Форте Брікс і МИР.

Серед сортів “дворучка” Дев’ятий вал у середньому за фактором регуляторів росту рослин акумулював азоту в зерні за сівби 1 і 20 жовтня на 9,1 та 9,5 відносних пунктів більше, ніж типово озимий Академічний. Це вказує на те, що рослини альтернативного сорту-дворучки при формуванні більш розвиненої біомаси накопичували більше азоту.

Вміст фосфору в зерні ячменю озимого порівняно із азотом мав протилежну залежність, тобто обробка насіння регуляторами росту не призводила до збільшення вказаного елементу живлення, а навпаки – у більшості випадків до його зменшення на 1,2-32,5 відносних пунктів (рис. 2).

Найбільша різниця між варіантами з регуляторами росту рослин і без них за вмістом вказаного елементу живлення в зерні спостерігалась на сорті Академічний за сівби в пізніший строк 20 жовтня і складала 25,0-32,5 відносних пунктів. В інших досліджуваних варіантах сортові ознаки, терміни сівби та біопрепарати не впливали на накопичування фосфору.

На вміст калію в зерні також майже не впливали сортові особливості. Тоді як за сівби 1 жовтня обробка насіння регуляторами росту рослин у більшості випадків призводила до його зменшення 2,2-6,8 відсоткових пунктів (рис. 3).

За сівби сорту Академічний в пізніший строк 20 жовтня та завдяки використанню препаратів відбулося зростання вмісту калію на 2,2-4,1 відсоткових пунктів, водночас як без них, навпаки, зменшення на 8,2.

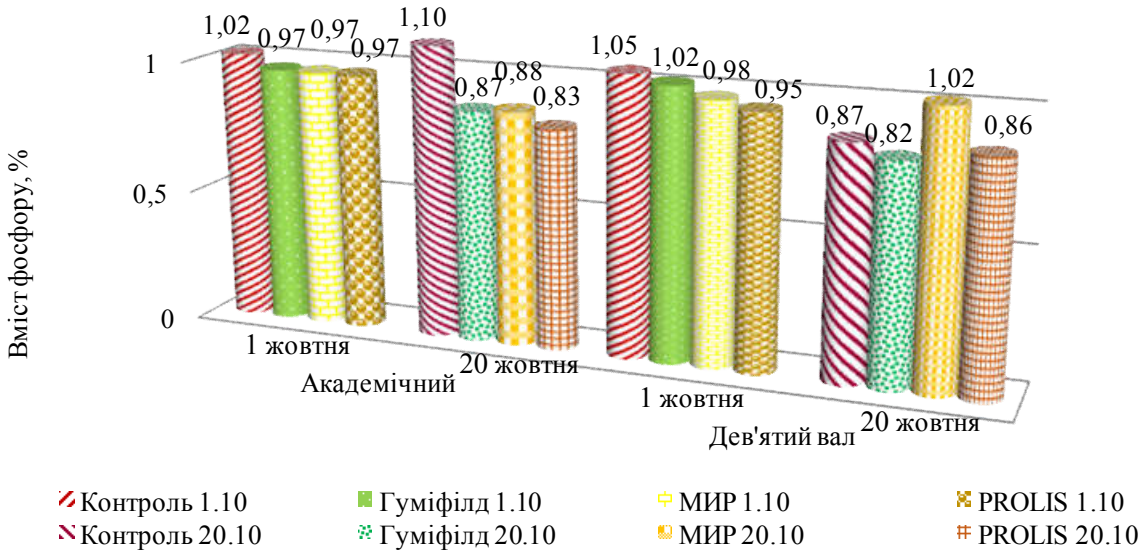

Рисунок 2. Вміст фосфору в зерні ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби і регуляторів росту рослин, % на суху речовину (середнє за 2016-2019 рр.)

Джерело: *розроблено авторами*

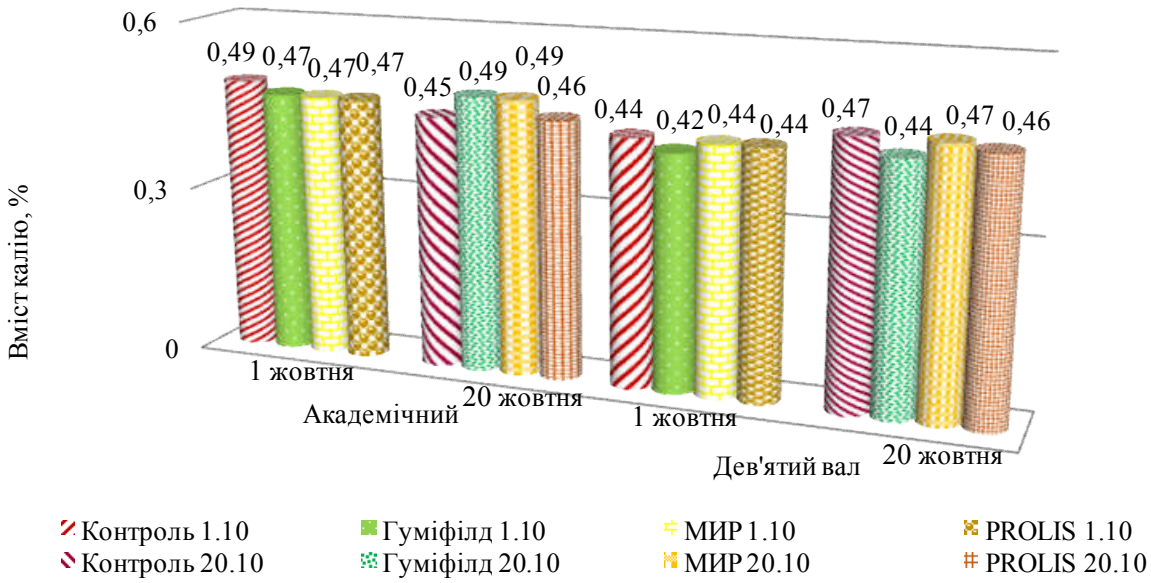

Рисунок 3. Вміст калію в зерні ячменю озимого залежно від сорту, строків сівби і регуляторів росту рослин, % на суху речовину (середнє за 2016-2019 рр.)

Джерело: *розроблено авторами*

Сівба сорту-дворучки Дев'ятий вал у вказаний строк, порівняно з 1 жовтня, при застосуванні регуляторів росту збільшувала накопичування калію в зерні на 4,3-6,4, а також і без них – на 6,4 відсоткових пункти. Проте такі відмінності в акумуляції зерном калію між досліджуваних варіантах не є значними.

Експериментальні дані свідчать про те, що застосування регуляторів росту поліпшувало, передусім, азотне живлення ячменю озимого та майже не впливало на накопичення фосфору і калію, як в рослинах, так і в зерні. Виявлено, що обробка насіння регуляторами росту рослин може поліпшити накопичення поживних речовин у ячменю озимому після колосіння та збільшити перехід, в основному азоту, від вегетативних органів до зерна, тим самим створюючи сприятливу основу для формування врожаю.

На основі результатів досліджень вважаємо, що застосування препаратів із росторегулюючими властивостями за вирощування сільськогосподарських культур має перспективу, оскільки вирішує проблеми живлення рослин та збереження довкілля через зменшення використання мінеральних сполук.

Висновки

Науковою новизною даного дослідження є те, що вперше на темно-каштановому середньо суглинковому ґрунті в умовах зрошення півдня України одержано експериментальні дані що свідчить про істотний вплив багатокомпонентних регуляторів росту рослин Гуміфілд Форте Брікс, МИР і PROLIS на мінливість вмісту основних елементів живлення в біомасі, а також у зерні різних сортів ячменю озимого.

За низького вмісту у ґрунті азоту та підвищеного фосфору і калію, на фоні внесення N_{90} обробка насіння ячменю озимого вказаними препаратами, як за оптимального, так і пізнього строків сівби збільшувала вміст азоту в рослинах і зерні та практично не впливала на накопичення фосфору і калію.

Сорт-дворучка Дев'ятий вал накопичував більше азоту у всі фази розвитку рослин, ніж типово озимий Академічний, а ось за вмістом фосфору і калію в них – досить близькими.

Незалежно від строків сівби сорт Академічний найбільшу кількість азоту в рослинах і зерні акумулював за використання препаратів PROLIS та Гуміфілд Форте Брікс, а Дев'ятий вал – Гуміфілд Форте Брікс.

Практична цінність даних досліджень полягає в тому, що використання багатокомпонентних регуляторів росту за обробки насіння ячменю озимого сприятиме підвищенню в біомасі вмісту азоту, як одного із найбільш важливих елементів необхідних для живлення рослин, їх росту і розвитку та формування врожаю зерна.

У подальших наукових планах на зрошуваних землях півдня України слід передбачити дослідження щодо визначення оптимальних доз внесення мінеральних добрив за використання нових багатокомпонентних регуляторів росту рослин ячменю озимого.

Подяки

Автор висловлює щиру подяку науково-методичній раді Інституту зрошуваного землеробства (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства) НААН за надану можливість проведення досліджень за темою статті та включення завдання до тематичного плану інституту з виконання Державною програмою наукових досліджень "Наукові основи формування систем землеробства на зрошуваних землях" ("Зрошуване землеробство"), а також співробітникам лабораторії аналітичних досліджень Інституту зрошуваного землеробства НААН під керівництвом кандидата сільськогосподарських наук Олени Володимирівни Шкоди за визначення вмісту елементів живлення азоту, фосфору і калію у рослинах та зерні ячменю озимого.

References

[1] World population to reach 8 billion. (2022). Retrieved from https://www.un.org › desa › world-population-reach-8-bil.

[2] Hackett, C. (2022). *Global population projected to exceed 8 billion in 2022; half live in just seven countries*. Retrieved from https://www.pewresearch.org/fact-tank/2022/07/21/global-population-projected-to-exceed-8-billion-in-2022-half-live-in-just-seven-countries/.

[3] Ritchie, H., Mathieu, E., Rodés-Guirao, L. & Gerber, M. (2020). *Five key findings from the 2022 UN population prospects.* Retrieved from https://ourworldindata.org/world-population-update-2022.

[4] O'Neill, B.C., Liddle, B., Jiang, L., Smith, K.R., Pachauri, S., Dalton, M. & Fuchs, R. (2012). Demographic change and carbon dioxide emissions. *The Lancet*, 380(9837), 157-164.

[5] Bongaarts, J. & Sitruk-Ware, R. (2019). Climate change and contraception. *BMJ Sexual & Reproductive Health*, 45(4), 233-235.

[6] Stephenson, J., Newman, K. & Mayhew, S. (2010). Population dynamics and climate change: What are the links? *Journal of Public Health*, 32(2), 150-156.

[7] Islam, N. & Winkel, J. (2017). *Climate change and social inequality*. DESA: Working Paper.

[8] Jiang, L. & Hardee, K. (2011). How do recent population trends matter to climate change? *Population Research and Policy Review*, 30(2), 287-312.

[9] Csajbók, J., Pepó, P. & Kutasy, E. (2020). Photosynthetic and agronomic traits of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *Agronomy,* 10(12), article number 1999. doi:10.3390/agronomy10121999.

[10] Bouhlal, O., Affricot Jean, R., Puglisi, D., El-Baouchi, A., El Otmani, F., Kandil, M. (2021). Malting quality of icarda elite winter barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm grown in Moroccan middle atlas. *Journal of the American Society of Brewing Chemists,* 2, 401-412. doi:10.1080/03610470.2021.1978036.

[11] Tricase, C., Amicarelli, V., Lamonaca, E. & Rana, R.-L. (2018). Economic analysis of the barley market and related uses: Grasses as food and feed. doi:10.5772/intechopen.78967.

[12] Verstegen, H., Köneke, O., Korzun, V. & Broock, R. (2014). The world importance of barley and challenges to further improvements: Part of the biotechnology in agriculture and forestry book series. *Agriculture*, 69, 3-19. doi:10.1007/978-3-662-44406-1_1.

[13] Boyko, V.I., Lebid YE.M., Rybka V.S. & Boyko V.I. (2008). *Economics of grain production (with the basics of organization and production technology)*. Kyiv: National Scientific Centre "Institute of Agrarian Economics".
[14] Khramtsov, L.I., & Khramtsov, V.L. (2007). *Landscape crop production*. Dnipro: Porogi.
[15] Adamenko, T.I. (2006). Changes in agro-climatic conditions of the cold period in Ukraine with global warming. *Agronomy,* 34, 12-13.
[16] Kernasyuk, Yu. (2017). *Barley market: Development potential*. Retrieved from http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/7950-rynok-iachmeniu-potentsial-rozvytku.html.
[17] Vozhehova, R.A., Zaiets S.O. & Onufran L.I. (2015). *Varietal technology of growing winter barley in arid conditions of the south of Ukraine*. Retrieved from http://www.libt.com.ua/en/pro-kompaniyu/.
[18] Karazhbey, H. (2018). *Status and prospects of winter barley in the seed market of Ukraine*. Retrieved from https://infoindustria.com.ua/stan-ta-perspektivi-yachmenyu-ozimogo-na-nasinnyevomu-rinku-ukrayini/.
[19] Shkatula, Yu. M. & Bars kyy, D.O. (2021). Yield of winter barley depending on the fertilization system. *Agriculture and Forestry*. 21, 82-94. doi:10.37128/2707-5826-2021-2-7.
[20] Vasilescu, L., Sîrbu, A., Psota, V., Bude, A., & Alionte, E. (2017).Technological quality of some winter barley varieties for malt. *Analele Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare Agricolă Fundulea*, 85, 33-39.
[21] The national center of seed science and variety study. (2021). *Catalog of varieties and hybrids of the breeding and genetic institute*. Retrieved from https://sgi.in.ua/data/documents/Katalog-sortiv-i-gibridiv-SGI-NCNS-2021.pdf.
[22] Benda, R.V. (2014). Economic efficiency of growing winter barley depending on the timing of sowing and mineral nutrition. *Bulletin Institute of Agriculture of Steppe Zone NAAS of Ukraine*, 6, 70-73.
[23] Tkalich, I.D., Sydorenko, Yu.Ya., Bochevar, O.V., Il yenko, O.V., Kulyk, I.O., & Mamyedova, E.I. (2016). *Productivity of winter double-edged barley for autumn and spring sowing depending on seed treatment and nutritional background.* Retrieved from https://journal-grain-crops.com/uk/arhiv/view/5ad714dcd4bcb.pdf.
[24] Kryvenko, A., Pochkolina, S. & Elkin, I. (2019). Yield of different varieties of winter cereals in dependence on terms of sowing in the black sea conditions. *Scientific Journal "Science Rise"*, 9-10(62-63), 12-16. doi:10.15587/2313-8416.2019.181392.
[25] Gray, W.M. (2004) Hormone regulation of plant growth and development. *PLoS Bio*, 2, 311.
[26] Iqbal, N., Khan, N.A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., & Khan, M.I.R. (2017). *Ethylene role in plant growth, development and senescence: Interaction with other phytohormones.* London: Front Plant Sci.
[27] Jain, J.L. (2005). *Plant hormones. Fundamentals of biochemistry*. New Delhi: S. Chand & Company.
[28] Werner, T., Motyka, V., Strnad, M. & Schmülling, T. (2001) Regulation of plant growth by cytokinin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 10487-10492.
[29] Malinovsky, F.G., Thomsen, M-L.F., Nintemann, S.J., Jagd, L.M., Bourgine, B., Burow, M., Kliebenstein, D.J. (2017) *An evolutionarily young defense metabolite influences the root growth of plants via the ancient TOR signaling pathway*. doi:10.7554/eLife.29353.
[30] Abbott, L.K., McDonald, L.M., Wong, M.T., Webb, M.J., Jenkins, S.N. & Farrell, M. (2018). The potential role of biological amendments for profitable grain production – a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256, 34-50. doi:10.1016/j.agee.2017.12.021.
[31] Gamayunova, V.V. & Kuvshinova, A.O. (2021). Formation of the main indicators of grain quality of winter barley varieties depending on biopreparations for growing under the

conditions of the southern steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(4), 86-92. doi:10.12912/27197050/137864.

[32] Bhatla, S. C. (2018). Plant growth regulators: An overview. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-13-2023-1_14.

[33] Ertani, A., Nardi, S., Altissimo, A. & Associato, L.S. (2013). Review: Long-term research activity on the biostimulant properties of natural origin compounds. *Acta Hort*, 1009, 181-188.

[34] Paradikovic, N., Vinkovic, T., Vinkovic Vrcek, I., Zuntar, I., Bojic, M. & Medicsaric, M. (2011). Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 91, 2146-2152.

[35] Zandonadi, D.B. & Busato, J.G. (2012). Vermicompost humic substances: Technology for converting pollution into plant growth regulators. *IJESER*, 3, 73-84.

[36] Wu, H., Xiang, J., Zhang, Y.P., Zhang, Y.K., Peng, S.B., Chen, H.Z. (2018). Effects of post-anthesis nitrogen uptake and translocation on photosynthetic production and rice yield. *Scientific Reports,* 8, article number 12891. doi:10.1038/s41598-018-31267-y.

[37] Li, G.H., Cheng, Q., Li, L., Lu, D.L. & Lu, W.P. (2021). N, P and K use efficiency and maize yield responses to fertilization modes and densities. *Journal of Integrative Agriculture,* 20, 78-86. doi:10.1016/S2095-3119(20)63214-2.

[38] Wu, L.Q., Cui, Z.L., Chen, X.P., Yue, S.C., Sun, Y.X., Zhao, R.F. (2015). Change in phosphorus requirement with increasing grain yield for Chinese maize production. *Field Crops Res,* 180, 216-220. doi:10.1016/j.fcr.2015.06.001.

[39] Zhan, A., Zou, C.Q., Ye, Y.L., Liu, Z.H., Cui, Z.L. & Chen, X.P. (2016). Estimating on-farm wheat yield response to potassium and potassium uptake requirement in China. *Field Crops Res,* 191, 13-19. doi:10.1016/j.fcr.2016.04.001.

[40] Tserling, V.V. (1990). *Diagnostics of nutrition of agricultural crops*. Moscow: Agropromizdat.

[41] Pampana, S., Rossi, A. & Arduini, I. (2021). Biosolids bene t yield and nitrogen uptake in winter cereals without excess risk of n leaching. *Agronomy*, 11, article number 1482. doi: 10.3390.

[42] White, P.J. & Brown, P.H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*, 105(7), 1073-1080. doi:10.1093/aob/mcq085.

[43] Benčíková, M. & Slamka, P. (2007). *Dynamics of change of nutrition content in dry matter of winter barley Barcelona and Babylon varieties*. Retrieved from https://mnet.mendelu.cz/mendelnet07agro/articles/fyto/bencikova.pdf.

[44] Daniela, T., Marcel, B. & Ioan, V. (2014). Studies regarding dynamics of water and nutrients absorption in winter barley and wheat. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 57, 367-371.

[45] József, C., Péter, P. & Erika, K. (1999). Photosynthetic and agronomic traits of winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Varieties Agronomy*, 10. doi:10.3390/agronomy10121999.

[46] Mosier, A.R., Bleken, M.A., Chaiwanakupt, P., Ellis, E.C., Freney, J.R., Howarth, R.B., Matson, P.A., Minami, K., Naylor, R., Weeks, K.N. & Zhu, Z.L. (2001). Policy implications of human accelerated nitrogen cycling. *Biogeochem*, 52, 281-320.

[47] Ladha, J.K., Dawe, D., Pathak, H., Padre, A.T., Yadav, R.L., Singh, Y., Singh, P., Kundu, A. L., Sakal, R., Ram, N., Regmi, A.P., Gami, S.K., Bhandari, A.L., Amin, R., Yadav, C.R., Bhattarai, E.M., Das, S., Aggarwal, H.P., Gupta, R.K. & Hobbs, P.R. (2003). How extensive are yield declines in long term rice-wheat experiments in Asia? *Field Crops Research,* 81, 159-180.

[48] Mohan, S., Singh, M. & Kumar, R. (2015). Effect of nitrogen, phosphorus and zinc fertilization on yield and quality of kharif fodder – a review. *Agricultural Reviews*, 36, 218-226.

[49] Zaiets S.O. & Onufran L.I. (2016). Productivity of winter barley varieties on irrigated lands depending on the precursor and background of nitrogen nutrition. In *Interdepartmental Thematic Scientific Collection: Irrigated Agriculture* (pp. 42-46). Kherson, Aylant.

[50] 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.

[51] Korotkova, I., Marenych, M., Hanhur, V., Laslo, O., Chetveryk, O. & Liashenko, V. (2021). Weed control and winter wheat crop yield with the application of herbicides, nitrogen fertilizers, and their mixtures with humic growth regulators. *Acta Agrobotanica*, 74, article number 748. doi:10.5586/aa.748.

[52] Daniel, E.C. & Fabio, G. (2020). An assessment of seaweed extracts: Innovation for sustainable agriculture. *Agronomy*, 10, article number 1433.

[53] Van De Velde, K., Ruelens, P., Geuten, K., Rohde, A. & Van Der Straeten, D. (2017). Exploiting DELLA signaling in cereals. *Trends Plant Sci,* 22, 880-893.

[54] Marzec, M. & Alqudah, A.M. (2018). Key hormonal components regulate agronomically important traits in barley. *International Journal of Molecular Sciences,* 19, 795.

[55] Izawa, T. (2021). What is going on with the hormonal control of flowering in plants? *The Plant Journal,* 105, 431-445.

[56] Panfilova, A., Korkhova, M., Gamayunova, V., Fedorchuk, M., Drobitko, A., Nikonchuk, N. & Kovalenko, O. (2019). Formation of photosynthetic and grain yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) depend on varietal characteristics and plant growth regulators. *Agronomy Research*, 17(2), 608-620. doi:10.15159/ar.19.099.

[57] Hrytsayenko, Z.M., Ponomarenko, S.P., Karpenko, V.P. & Leontyuk, I.B. (2008). *Biologically active substances in crop production*. Uman: Uman State Agrarian University.

[58] Lykhochvor, V.V. & Matkovs ka, M.V. (2021). *Influence of morphoregulations on the growth and development of winter barley*. Retrieved from https://www.agronom.com.ua/ zastosuvannya-pozakorenevogo-pidzhyvlennya-v-tehnologiyi-vyroshhuvannya-pyvovarnogo-yachmenyu/.

[59] Cappellari, L.D.R., Chiappero, J., Palermo, T.B., Giordano, W. & Banchio, E. (2020). Volatile organic compounds from rhizobacteria increase the biosynthesis of secondary metabolites and improve the antioxidant status in *Mentha piperita* L. Grown under Salt Stress. *Agronomy*, 10, article number 1094.

[60] Masliyov, S.V., Korzhova, N.O., Yarchuk, I.I. & Lyuklyanchuk, V.F. (2019). The effect of different types of mineral nutrition on the growth and development of spring barley in the Steppe zone of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 4, 28-35. doi:10.31210/visnyk2019.04.0.

[61] Weggler-Beaton, K., Graham, R.D. & Mclaughlin, M.J. (2003). The influence of low rates of air-dried biosolids on yield and phosphorus and zinc nutrition of wheat (*Triticum durum*) and barley (*Hordeum vulgare*). *Australian Journal of Soil Research,* 41(2), 293-308. doi:10.1071/SR02074.

[62] Krasilovets, Y.G., Kuzmenko, N.V., Sklyarovskyi, K.M., Grebenyuk, I.V. & Sadovoi, O.O. (2009). Climate change and optimization of winter wheat sowing period. *Herald of Agrarian Science*, 11, 16-19.

[63] Zaiets, S.O. & Kisil, L.B. (2018). Growth and development of winter barley varieties in autumn depending on hydrothermal conditions, sowing dates and growth regulators. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection. Irrigated Agriculture*, 70, 13-16.

[64] Barker, R. & Molle, F. (2002). *Perspectives on Asian irrigation*. Bangkok: Asian Institute of Technology.

[65] Cherhilfewski, F.M. & Lieth. (1992). Der Einflub von klimaschwan kungen auf kornertrago des Winterroggent in Halle von 1901 bis 1960. *Wiss Z Humboldt Univ Berl Math Naturwiss*, 41(2), 55-67.

[66] Humifild ta humifild vr–18: Advertising prospectus. (2013). Kyiv: Ahrotekhnosoyuz.
[67] IAS Ahrariyi razom. (n.d.). *Plant growth regulator MYR MARK Z*. Retrieved from https://agrarii-razom.com.ua/preparations/mir-marki-z.
[68] IAS Ahrariyi razom. (n.d.). *Plant growth regulator PROLIS TM, VP*. Retrieved from https://agrarii-razom.com.ua/preparations/prolis-tm-vp.
[69] Musatov, A.H. (1992). *Early forage crops*. Kyiv: Urozhay.