

УДК 631.8:551.583.13

Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини

Є. Ю. Гладкіх

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 17.08.2020 Отримано після доопрацювання 13.09.2020 Затверджено до друку 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>абіотичний стрес; мінеральне живлення; регулятори росту рослин; стресопротектори; фракційний склад води; хлорофіл.</p>	<p>Питання підвищення стійкості до екстремальних факторів набуває все більшої значущості, зростає актуальність пошуку прийомів та способів зниження впливу абіотичних стресів (посух, високих температур, заморозків) на реалізацію адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур. Для деяких несприятливих факторів досліджено антистресову активність окремо фітогормонів, мікроелементів, мікродобрив, втім, найбільшої ефективності можна досягти шляхом комбінування необхідних елементів живлення, гормонів і регуляторів росту в оптимальній нормі. Роботу виконано з метою встановлення ефективності комбінованого застосування добрив і препаратів стресопротекторної та рістрегулівної дії, для послаблення наслідків абіотичних стресів. Однією із задач було визначення оптимальних доз та способів застосування препаратів. У лабораторному експерименті, за дією на проростання насіння (за показниками: схожість, енергія, дружність і швидкість проростання), визначили набір компонентів для комплексування в інтегрованих препаратах. В результаті створили два комплексних стресопротектори (набори окремих препаратів) для послаблення наслідків абіотичних стресів. Перший – СПн, призначено для обробки насіння перед посівом; до нього входять комплекс мікроелементів, триполіфосфат натрію, фітогормони та кремній, а також полісахарид природного походження ліпогенної композиції. Другий препарат – СПп, який призначено для підживлення вегетуючих рослин, містить ті самі компоненти, а також комплекс амінокислот L-конфігурації та макроелементи живлення у мінеральній формі. Дію комплексних препаратів на фоні мінерального удобрення ($N_{30}P_{30}K_{30}$) дослідили у двох дрібноділянкових дослідах на посівах ячменю. Найбільший вплив на урожай ячменю зафіксовано за комбінування мінеральних добрив із застосуванням передпосівної обробки насіння препаратом СПн у дозі 1 л/т та одноразового підживлення рослин протягом вегетації препаратом СПп у нормі 1,0 л/га або по 0,5 л/га двічі протягом вегетації.</p>

* E-mail: ye.hladkikh@ukr.net

Форма цитування: Гладкіх Є.Ю. Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 57-64. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-06>

1. Вступ

Обмежене водозабезпечення є одним з основних абіотичних факторів, що негативно впливають на вирощування сільськогосподарських культур у всьому світі. Стрес посухи впливає на фізіологічні особливості і ріст рослин багатьма способами. Це призводить до збільшення концентрації розчинених речовин у ґрунті навколо коренів (порівняно з внутрішнім середовищем кореня) і викликає зворотний осмос. Посуха пригнічує фотосинтез у рослинах через закриття продихів на поверхні листя, що зменшує інтенсивність транспірації й призводить до пошкодження апарату фотосинтезу та зменшення вмісту хлорофілу. Це порушує баланс між виробництвом активних форм кисню (АФК) і антиоксидантним захистом, що викликає накопичення АФК та оксидативний стрес для білків, мембранних ліпідів та інших клітинних компонентів [1, 2]. Мінеральні елементи виконують численні функції в рослинах, включаючи підтримку структурних компонентів, активацію ферментів і забезпечення осмотикуму для тургору і росту [3]. За екстремальних змін погодних умов (посух, високі температури) оптимізація кореневого живлення рослин шляхом внесення мінеральних добрив дозволяє суттєво розширити діапазон вмісту ґрунтової вологи, що доступна рослинам, і завдяки цьому збільшити водоспоживання посівів в умовах недостатнього зволоження, що забезпечує їхню високу продуктивність [4]. Однак, почастищення екстремальних погодно-кліматичних умов зумовили потребу в удосконаленні технології застосування мінеральних добрив, а саме у комбінуванні мінеральних добрив та препаратів рістстимулівної та протекторної дії.

Термін «стрес» в даний час широко застосовується у фізіологічних та екологічних дослідженнях на різних рівнях організації живих систем. Теорія стресу була сформульована Гансом Сельє, і термін «стрес» (від англ. *stress* - напруга) фізіологією

рослин був запозичений у медичної науки [5]. На сьогодні у науковій літературі вживаються різні найменування стресів – кліматичний, водний, осмотичний, температурний і навіть екологічний. Досліджуючи формування адаптивних реакцій рослин вчені агрономи показали, що реакція рослини на стрес (стрес-реакція) виконує оперативний короткочасний захист рослинного організму від загибелі в несприятливих умовах [6], а також ініціює формування або мобілізацію механізмів спеціалізованої адаптації [7, 8].

Задля активізації росту рослин після негативного впливу на них будь-яких чинників використовується безліч різноманітних препаратів, які, головним чином, спрямовані на регуляцію та стимуляцію росту:

- гормональні регулятори росту рослин - природні та синтетичні. Ріст та розвиток рослин регулюється складною цілісною гормональною системою, збалансованість роботи якої досягається шляхом двосторонньої регуляції усіх процесів за допомогою як стимулювальних, так і пригнічувальних біологічно активних речовин (ауксини, цитокініни [9], гібереліни [10], етилен-похідні, брасиностероїди тощо) [11];

- багатокомпонентні поліфункціональні регулятори росту рослин. Серед препаратів вітчизняного виробництва можна назвати комплексні багатокомпонентні препарати-антистресанти виробництва компанії НВК «Квадрат», які містять у складі кремній, калій, гумінові речовини, групу амінокислот, мікро- та макроелементи, екстракт морських водоростей;

- мікроелементи. У підвищенні антистресової активності рослин все більшої значущості набувають питання застосування таких мікроелементів як цинк та молібден, що позитивно впливають на живлення рослин, зокрема азотне, в умовах гідротермічних стресів [12];

- гумінові речовини. Окрім ґрунтополіпшувальних властивостей гуматів особливу роль відіграє їхня рістстимулювальна та антистресова дія. Стимулятори гумінової природи здатні до імуностимулювальної та адаптогенної дії, нормалізують мінеральне живлення рослин, прискорюють надходження у тканини макро- та мікроелементів, стимулюють розвиток кореневої системи, ріст органів та підвищення продуктивності зернових колосових культур [13, 14].

Таким чином, рістстимулювальна та протекторна дія препаратів, що містять ультрамікроелементи та більш традиційні і розповсюджені у використанні мікро- і мезоелементи, як кремній, цинк, молібден, а також гормональні препарати (фітогормони) знаходиться на стадії активного дослідження.

Метою досліджень є визначення ефективності комбінованого застосування мінеральних добрив та комплексних препаратів стресопротекторної (СП) дії, у послабленні впливу абіотичних стресів на сільськогосподарські рослини. Однією із задач є визначення оптимальних доз та способів застосування препаратів.

2. Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили в умовах лабораторного та двох дрібноділянкових польових дослідів.

Лабораторний дослід - оцінка впливу комплексного препарату стресопротекторної дії та його окремих компонентів на проростання насіння ячменю та кукурудзи за такими показниками: схожість; енергія; дружність; швидкість проростання. Завданням було розробити склад комплексного препарату, тобто, обрати окремі компоненти для комплексування. Дослідили такі потенційні складові: гетероауксин; солі мікроелементів $MnSO_4$ та $(NH_4)MoO_4$; силікат калію; ліпосам; триполіфосфат.

Хід виконання: у чашку Петрі (по 4 чашки на кожен варіант досліду) на змочений водою фільтрувальний папір викладали по 30 зерен, попередньо витриманих упродовж 8-10 годин у розчинах препаратів. На контрольному варіанті викладали насіння, замочене у дистильованій воді. Чашки тримали 7 діб в освітленій лабораторній шафі, де підтримували постійну температуру повітря (25°C) та контролювали вологість фільтрувального паперу. Схему досліду і перелік препаратів показано в таблиці 1.

Дрібноділянкові досліді проведено у 2018 р. на чорноземі типовому важкосуглинковому на території ДП ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський р-н Харківської області). Характеристика ґрунту: pH_{KCl} – 5,3; вміст гумусу – 5,4 %; вміст рухомого фосфору і калію за Чириковим – 57 і 114 мг/кг відповідно. Погодні умови вегетаційного періоду в рік досліджень характеризувались невеликою кількістю опадів – сума опадів у квітні-вересні становила 131 мм, посухи констатовано у квітні-травні.

Схеми дрібноділянкових дослідів включають по 7 варіантів. Повторність досліду на території – шестиразова. Площа ділянки кожного варіанту - 4 м². Вирощували ячмінь ярий. У дослідях, на фоні мінерального удобрення або окремо, вивчали ефективність дії двох комплексних (полікомпонентних) стрессопротекторних препаратів, виготовлених за результатами модельного лабораторного експерименту з проростками. Перший – СПн, призначено для обробки насіння перед посівом; до нього входить комплекс мікроелементів, триполіфосфат натрію, фітогормони та кремній, а також полісахарид природного походження ліпкогенної композиції. Другий препарат (СПп) призначено для підживлення – позакореневої обробки вегетуючих рослин. Стресопротектор у підживлення містить ті самі компоненти, а також комплекс амінокислот L-конфігурації та макроелементи живлення у мінеральній формі. Рослини обробляли перший раз у фазу кущіння і другий раз (на деяких варіантах) у фазу виходу в трубку – «прапорцевий лист».

У дрібноділянковому досліді №1 використовували обидва препарати (СПн і СПп), у досліді №2 – тільки для підживлення (СПп). В обох експериментах досліджували дію СПп у різних дозах (0,5; 1,0; 2,0 л/га і 0,5; 1,0; 2,0 л/т), а доза СПн завжди була однаковою (1,0 л/т).

Дрібноділянковий дослід № 1:

1. Контроль (агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀)
2. Фон + СПн, 1 л/т
3. Фон + СПп, 1 л/га
4. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га
5. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію
6. 1/2 Фону (N₁₅P₁₅K₁₅) + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га
7. СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію

Дрібноділянковий дослід № 2:

1. Контроль (агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀)
2. Фон + СПп, 0,5 л/га
3. Фон + СПп, 1,0 л/га
4. Фон + СПп, 2,0 л/га
5. Фон + СПп, по 0,5 л/т двічі за вегетацію
6. Фон + СПп, по 1,0 л/т двічі за вегетацію
7. Фон + СПп, по 2,0 л/т двічі за вегетацію.

У фазу кущіння у рослинах ячменю визначали основні характеристики їх водного режиму – загальний вміст води, вміст вільної та зв'язаної води, за допомогою портативного рефрактометра (RHB 0-90(REF107,HT119)). У фази кущіння та цвітіння визначено вміст хлорофілу у рослинах ячменю за допомогою N-тестеру (SPAD-502Plus). Вміст N, P, K у зерні та соломі ячменю встановлювали за методикою визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній навазці рослинного матеріалу, описаній у MBV 31-497058-019-2005. Суть методу полягає в розкладі органічної речовини проби в присутності каталізатора киплячою сірчаною кислотою, що призводить до утворення солей амонію. У гідролізаті проводиться роздільне визначення азоту, фосфору, калію.

Обробку експериментальних даних виконано з використанням програми STATISTICA 10.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Вплив стрессопротекторів та регуляторів росту на проростання насіння

У науковій літературі достатньо добре висвітлено дослідження антистресових заходів для посилення спротиву рослин несприятливим факторам, як тривала посуха чи високі температури; встановлено дію окремо кожного з препаратів рістстимулювальної або стрессопротекторної дії, таких як фітогормони, макро- та мікродобрива і амінокислоти, які можуть бути включені, на різних етапах онтогенезу рослин, у систему їх удобрення [15-19]. Однак, максимальне поєднання позитивної дії регуляторів росту, стресс-протекторів та мікродобрив, а також визначення головних позицій технології їх застосування у сільськогосподарському виробництві (дозування, строки та способи застосування, переваги комплексної дії) є важливим питанням, вирішення якого стане одним з механізмів оптимізації системи удобрення та регулювання живлення рослин в умовах почастищення дії абіотичних стресів.

Останніми роками, з метою підвищення ефективності та розширення сфери впливу на рослину, все частіше створюють та застосовують препарати, що містять не одну діючу речовину, а цілий комплекс хімічних речовин або біологічних компонентів. Тому, ми вирішили

спробувати розробити склад комплексного препарату та перевірити ефективність його застосування для передпосівної обробки насіння (інкрустації) спочатку у лабораторних дослідженнях. Для цього використовували окремі складові компоненти препарату і комплексний препарат. До складових компонентів увійшли: гетероауксин; солі мікроелементів $MnSO_4$ та $(NH_4)MoO_4$; силікат калію; ліпосам; триполіфосфат. Результати експерименту свідчать про помітний ефект від застосування компонентів препарату, що позначився на показниках проростання насіння ячменю та кукурудзи (Табл. 1).

Таблиця 1

Показники проростання насіння, обробленого розчинами препаратів стрессопротекторної дії (лабораторний дослід)

Варіант досліду	Схожість, %	Енергія проростання, %	Дружність проростання, %	Довжина корінців, см
<i>Ячмінь</i>				
Контроль (без обробки)	32,5	30,0	4,6	4,8
Гетероауксин	50,8	43,3	7,3	4,9
Силікат калію	52,5	45,0	7,5	5,3
Ліпосам+солі мікроелементів	45,8	35,0	6,5	6,3
СПн - полікомпонентний препарат (стрессопротектор на насіння)	50,0	47,5	7,1	6,5
<i>Кукурудза</i>				
Контроль (без обробки)	77,5	75,8	11,1	9,5
Гетероауксин	79,2	71,7	11,3	10,0
Силікат калію	80,8	74,3	11,5	9,7
Ліпосам+солі мікроелементів	84,2	69,2	12,0	11,0
СПн - полікомпонентний препарат (стрессопротектор на насіння)	85,8	80,0	12,3	9,8

Виходячи з результатів лабораторного експерименту з проростанням насіння розроблено склад полікомпонентного препарату з найбільш дієвих компонентів у концентраціях, що дали найбільший позитивний вплив на проростки.

3.2. Ефективність стрессопротекторів у польових умовах

Подальші дослідження ґрунтувались на визначенні ефективності застосування багатокомпонентних препаратів стресс-протекторів для обробки насіння та для підживлення рослин у ході вегетації в умовах польових дрібноділянкових дослідів. До складу *Препарату на насіння* (СПн) входять комплекс мікроелементів, триполіфосфат натрію, фітогормони та кремній, а також полісахарид природного походження ліпкогенної композиції. *Препарат у підживлення* (СПп) було доповнено, окрім вже перерахованого, комплексом амінокислот L-конфігурації та макроелементами живлення у мінеральній формі. Будь-яких спеціальних стресових умов для рослин протягом вегетації не створювали. Завданням було визначити оптимальні дози та способи внесення препаратів стрессопротекторів у комплексі з мінеральними добривами у природних польових умовах, за тих погодних показників, що складаються протягом вегетації рослин.

Обробка насіння і позакореневе підживлення ячменю ярого протягом вегетації розробленими препаратами у різних комбінаціях дали загалом позитивний ефект (Табл. 2). На всіх досліджуваних варіантах дрібноділянкового досліду №1 отримано приріст (відносно контрольного варіанту) як загального біологічного урожаю (зерно + солома) в межах 63,6 - 22,6 % (або 14,3 - 5,1 ц/га), так і врожаю зерна в межах 45,4 - 1,8 % (або 3,0 - 0,1 ц/га). Однак, істотну прибавку урожаю зерна (3,0 ц/га) констатовано лише для варіанту з передпосівною обробкою насіння препаратом СПн у дозі 1 л/т (варіант 2).

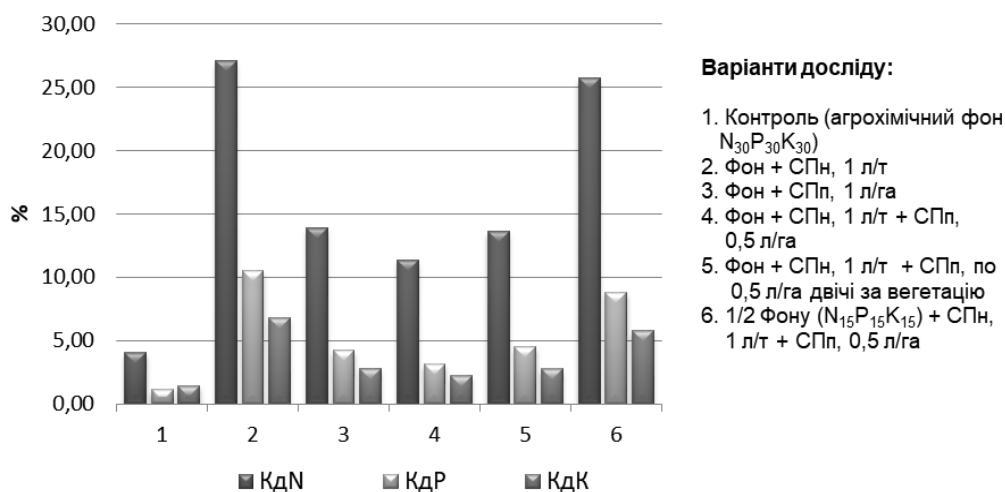
Крім збільшення врожаю ефективність розроблених препаратів виявлено й відносно засвоєння рослинами ячменю поживних елементів із мінеральних добрив, внесених перед посівом. Найвищі коефіцієнти використання рослинами із добрив азоту, фосфору та калію зафіксовано на тому самому варіанті (№2), де й максимальну врожайність зерна ячменю (Рис. 1), а саме за передпосівної обробки насіння препаратом СПн у дозі 1 л/т.

Таблиця 2

Прирости урожаю ячменю ярого від застосування препаратів стрессопротекторної дії на фоні удобрення (дрібnodілянковий дослід №1)

Варіант	Приріст урожаю відносно контрольного варіанту			
	Зерно + солома		Зерно	
	%	ц/га	%	ц/га
2. Фон + СПн, 1 л/т	63,6	14,3	45,4	3,0
3. Фон + СПп, 1 л/га	22,6	5,1	11,3	0,7
4. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га	34,9	7,9	1,8	0,1
5. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію	35,9	8,1	8,7	0,6
6. 1/2 Фону (N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅) + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га	39,0	8,8	9,0	0,6
7. СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію	23,8	5,4	3,8	0,3
НІР ₀₅		6,94		1,68

Примітка: Контрольний варіант - агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀; СПн – полікомпонентний стрессопротекторний препарат для обробки насіння; СПп – для підживлення



Умовні позначення: Кд – коефіцієнт використання N, P, K з добрив

Рис. 1. Коефіцієнти використання елементів живлення (азоту, фосфору, калію) з добрив на варіантах дрібноділянкового дослід №1 із застосуванням препаратів стрессопротекторної дії

У дрібноділянковому досліді №2 визначено, що оптимальною нормою позакореневого підживлення рослини ячменю «Стрессопротектором у підживлення» (СПп) є 1,0 л/га у фазу куціння (варіант 3) або по 0,5 л/га двічі протягом вегетації (у фазу куціння та виходу в трубку – прапорцевий лист) (варіант 5). Істотні прирости врожаю зерна ячменю (відносно контролю) констатовано саме на цих варіантах – 36,3 % (або 2,9 ц/га) та 21,3 % (або 1,7 ц/га) відповідно (Табл. 3).

Таким чином, комбіноване внесення мінеральних добрив та полікомпонентного препарату стрессопротектору, спрямоване загалом на адаптацію рослин до стресових умов, зокрема до весняної посухи, дає можливість впливати на урожайність рослин, коригуючи їхні фізіологічні реакції антиоксидантного захисту. Невеликі норми витрат препаратів як для передпосівної обробки насіння, так і для позакореневого підживлення вегетуючих рослин, у більшості випадків повна екологічна безпека, багатоспрямованість дії визначають високу перспективність їх широкого використання у сучасних агротехнологіях.

Здобуті нами результати підтверджують опубліковані дані інших дослідників, отримані у польових та виробничих умовах, де доведено можливість додаткового підвищення урожайності зернових культур на 2-4 ц/га за дворазового застосування різних препаратів адаптаційної дії [20], підвищення посухостійкості рослин на 10-60 % та підвищення урожайності пшениці озимої на 15-22 % і ячменю ярого – на 50-73 % [21].

Таблиця 3

Прирости урожаю зерна ячменю ярого від застосування різних доз препаратів стресопротекторної дії у підживлення (дрібноділянковий дослід №2)

Варіант	Приріст урожаю зерна відносно контрольного варіанту	
	%	ц/га
2. Фон + СПп, 0,5 л/га	16,7	1,3
3. Фон + СПп, 1 л/га	36,3	2,9
4. Фон + СПп, 2 л/га	17,1	1,4
5. Фон + СПп, по 0,5 л/т двічі за вегетацію	21,3	1,7
6. Фон + СПп, по 1,0 л/т двічі за вегетацію	18,8	1,5
7. Фон + СПп, по 2,0 л/т двічі за вегетацію	12,3	1,0
НІР ₀₅	-	1,45

Примітка: Контрольний варіант - агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀; СПп – полікомпонентний стресопротекторний препарат для підживлення рослин

3.3. Фізіологічні зміни рослин, зумовлені дією стресопротекторів

Однією з умов, що визначають інтенсивність та направленість фізіологічних процесів у рослинах, їх толерантність до змін зовнішнього середовища, є ступінь забезпеченості водою та її стан у тканинах рослин. Стан води у клітині визначається рядом показників, серед яких – вміст її вільної та зв'язаної фракцій. Їх співвідношення залежить від видових особливостей, віку, сезону, часу доби, умов мінерального живлення.

Вільна вода у звичайних умовах становить 60-90 % від загального запасу води у клітині рослини. Вона рухома, має практично усі фізико-хімічні властивості чистої води, добре проникає через клітинні мембрани, вступає у різноманітні біохімічні реакції, випаровується у процесі транспірації та замерзає за низьких температур. За несприятливих умов вміст вільної води у листях знижується і одночасно збільшується частка зв'язаної. Зв'язування молекул води зменшує їх енергію, що призводить до зниження інтенсивності фізіологічних процесів і темпів росту рослин, зменшення водовіддачі та збереження водного гомеостазу [22].

Зв'язана вода підтримує структуру колоїдів та забезпечує функціонування ферментів, організмів та клітини в цілому. Вона малорухома, не бере участі у розчиненні та транспорті речовин, відрізняється пониженою температурою замерзання і більш високою температурою кипіння порівняно із вільною водою. Частка зв'язаної води у клітині може досягати 40 %. Між вмістом зв'язаної води та стійкістю рослин до стресів існує пряма кореляційна залежність [23].

Дані обліку врожаю підтверджуються результатами визначення основних характеристик водного режиму рослин ячменю ярого та вмісту хлорофілу у рослинах протягом вегетації. Передпосівна обробка насіння «Препаратом на насіння» (СПп) у дозі 1 л/т на фоні передпосівного удобрення (N₃₀P₃₀K₃₀) сприяє збільшенню частки зв'язаної води у загальному вмісті води у тканинах рослин на 1,2-3,1 % вище ніж на інших варіантах (до рівня 20,3 %), що підтримує структуру колоїдів та забезпечує функціонування як ферментної системи, так і клітини загалом. Завдяки цьому досягається значне збільшення вмісту хлорофілу у листках рослин ячменю на 1,1 - 6,7 одиниці (Табл. 4).

Вміст хлорофілу в рослинах є важливим фізіологічним параметром, який характеризує потенційну потужність фотосинтетичного апарату. Загалом інтенсивність фотосинтезу для рослин в умовах посухи грає важливу роль. Вже встановлено, що зміни температурного та водного режимів листка, які відбуваються під час атмосферної та ґрунтової посухи, призводять до порушення тонкої структури хлоропластів, конфігурації макромолекул білку, ступеню агрегації пігментів, адсорбованих білком. Ці зміни знижують інтенсивність фотосинтетичного метаболізму вуглецю. Під дією посухи змінюється кількісний та якісний склад зелених пігментів. Відомо, що у рослинних організмах вміст хлорофілу є чутливим індикатором інтенсивності фотосинтезу та одним з найважливіших показників, які визначають кількість та якість урожаю, що є особливо показовим за дії різноманітних чинників стану рослини, зокрема абіотичних та біотичних факторів [24].

З фотосинтезом пов'язані найважливіші процеси життєдіяльності рослин, насамперед – мінеральне живлення. Питання впливу умов мінерального живлення на вміст хлорофілу в рослинах у літературі добре висвітлене, де показано на прикладі багатьох культур, що використання біопрепаратів позитивно відбивається на вмісті

хлорофілу в листках, інтенсифікує фотосинтетичну активність [25]. Виявлено, що за ґрунтової посухи, з наростанням дефіциту води вміст хлорофілу в усіх досліджуваних сортах пшениці знижувався на 13-15 % [26, 27].

Таблиця 4

Фракційний склад води та вміст хлорофілу у тканинах рослин ячменю ярого у фазу кущіння

Варіант досліджу	Загальний вміст води, %	Вміст окремих фракцій води, %			Вміст хлорофілу у тканинах рослин, одиниці
		вільна вода	зв'язана вода	частка зв'язаної води	
Контроль (фон - N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀)	64,4	53,3	11,1	17,3	42,75
Фон + СПн, 1 л/т	67,9	54,0	13,8	20,3	49,51
1/2 Фону + СПн, 1 л/т + СПп 0,5 л/га	68,5	56,0	12,5	18,3	48,42
СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію	68,1	55,1	13,0	19,1	44,52

Примітка: СПн – полікомпонентний стресопротекторний препарат для обробки насіння; СПп – для підживлення

Отже, наші висновки щодо поліпшення дії фотосинтетичного апарату рослини завдяки застосуванню полікомпонентних препаратів антистресантів цілком логічні і підвищення вмісту хлорофілу у рослинах, порівняно з контрольним варіантом, є закономірним відгуком рослини на поліпшення водних характеристик у їхніх тканинах та посилення функціонування системи ферментів антиоксидантного захисту.

4. Висновки

Результати досліджень показали, що найбільш ефективним прийомом комбінованого застосування добрив (N₃₀P₃₀K₃₀) та полікомпонентного препарату стресопротекторної дії виявилася передпосівна обробка насіння «Стресопротектором на насіння» (СПн) у дозі 1 л/т, чим обумовлено 45,4 % (або 3,0 ц/га) приросту урожаю зерна ячменю відносно контролю.

Оптимальною дозою позакореневої (листової) обробки рослин ячменю протягом вегетації «Стресопротектор у підживлення» (СПп) (на фоні мінерального удобрення) є 1,0 л/га у фазу кущіння або по 0,5 л/га двічі протягом вегетації (у фази кущіння та виходу в трубку – прапорцевий лист). Істотні прирости врожаю зерна ячменю – 36,3 % (або 2,9 ц/га) та 21,3 % (або 1,7 ц/га) відповідно, здобуто саме на цих варіантах.

Перелік використаних джерел

1. Waraich E.A., Ahmad R., Ullah S., Ashraf M.Ya., Ehsanullah. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*. 2011; 5 (6). :764-777 URL: https://www.researchgate.net/publication/236119726_Role_of_mineral_nutrition_in_alleviation_of_drought_stress_in_plants.
2. Жук О.І. Формування адаптивної відповіді рослин на дефіцит води. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2011. 43(1). С. 26-37.
3. Kudoyarova G.R., Dodd I.C., Veselov D.S., Rothwell S.A., Veselov S.Yu. Common and specific responses to availability of mineral nutrients and water. *J. Exp Bot*. 2015. Apr; 66(8). P. 2133–2144. DOI: 10.1093/jxb/erv017.
4. IAEA (International Atomic Energy Agency). Nutrient and water management practices for increasing crop production in rainfed arid/semi-arid areas. IAEATECDOC-1468. IAEA, Vienna, Austria. 2005. 120 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1468_web.pdf.
5. Selye H.A Syndrome produced by diverse nocuous agent. *Nature*. 1936. 138. P. 32. DOI: <https://doi.org/10.1038/138032a0>
6. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 2010. 352 с.
7. Колупаев Ю.Е., Горелова Е.И., Ястреб Т.О. Механизмы адаптации растений к гипотермии: роль антиоксидантной системы. *Вісник ХНАУ. Біологія*. 2018. №1. С. 6-33.
8. Пятагин С.С. Стресс у растений: физиологический подход. *Журн. общей биологии*. 2008. Т. 69, № 4. С. 294-295.
9. Веденичова Н.П., Косаківська І.В. Цитокиніни як регулятори онтогенезу рослин за різних умов зростання. Київ: Наш формат, 2017. 200 с.
10. Кушнір О.В., Кур'ята В.Г. Фізіологічні основи застосування фітогормонів та антигіберелінових препаратів в рослинництві. *Сучасні проблеми біологічної науки та методики її викладання у закладах вищої освіти*. 2018. С. 244-261.
11. Кефели В.И., Власов П.В., Прусакова Л.Д. Природные и синтетические регуляторы онтогенеза растений. Москва: ВНИИТИ. сер. физиол. раст., 1990. Т. 7. 157 с.
12. Полянчиков С., Капітанська О. Ринок біостимуляторів: перспективи для розвитку в Україні. 2018. Електронне посилання: <http://infoindustria.com.ua/rinok-biostimulyatoriv-perspektivi-dlya-rozvitku-v-ukrayini/>

13. Попов А.И. Гуминовые вещества, свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 248 с.
14. Сергієнко В. Рістрегулюючий та захисний ефект гумінових речовин. *Агробізнес Сьогодні*. 2018. Електронне посилання: <https://tdnasinnya.com/uk/statti/inshi/140-ristregulyuyuchij-ta-zaxisnij-efekt-guminovix-rechovin>
15. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants / Van Oosten M.J., Pepe O., De Pascale S. [et al.] // *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2017. 4: 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5org>
16. Вихрева В.А., Лебедева Т.Б., Надежкина Е.В. Применение антистрессовых препаратов при гербицидной обработке посевов ярового ячменя. *Агрохімія*. 2011. № 5. С. 46-53. URL: <http://naukarus.com/primenenie-antistressovyh-preparatov-pri-gerbitsidnoy-obrabotke-posevov-yarovogo-yachmenya>
17. A Method for a Fast Evaluation of the Biostimulant Potential of Different Natural Extracts for Promoting Growth or Tolerance against Abiotic Stress / R. Saporta, C. Bou, V. Frías [et al.]. *Agronomy*. 2019. № 9. P. 143. DOI: 10.3390/agronomy9030143.
18. Осипова Л.В., Курносоева Т.Л., Быковская И.А. Повышение адаптивного потенциала ячменя ярового (*Hordeum Vulgare* L.) при действии абиотического стресса. *Проблемы агрохімії і екології*. 2016. 3. С. 48-51. URL: <http://agropoblem.soil.msu.ru/index.php/content/10-uncategorised/nomer/statya/86-2016-3-48>
19. Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О., Луговая А.А. Роль жасмонатов в адаптации растений к действию абиотических стрессов. *Физиология растений и генетика*. 2016. 48 (2). С. 95-111. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=FBKR_2016_48_2_3.
20. Гринченко А.Л. Ретарданты роста в мировом растениеводстве (технические и декоративные культуры). Москва. 1981. 92 с.
21. Сорокин А., Евдокимов Н., Цвєденова А. Эффективность биопрепарата Энергия М в условиях острой засухи. *Главный агроном*. 2017. 1. С. 12-15.
22. Жолкевич В.Н. Водный обмен растений. Москва: Наука. 1989. 256 с.
23. Галашева А.М., Красова Н.Г., Янчук Т.В. Фракционный состав воды в листьях у сортов яблони (*Malus Mill*). *Сортівивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. 1(18). С. 18-21.
24. Jasmonic acid enhancement of anthocyanin accumulation is dependent on phytochrome A signaling pathway under far-red light in *Arabidopsis* / Li T., Jia K.P., Lian H.L. [et al.]. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2014; 454: 78-83. DOI: 10.1016/j.bbrc.2014.10.059
25. The relations between antioxidant enzymes and chlorophyll fluorescence parameters in common bean cultivars differing in sensitivity to drought stress / Saglam A., Saruhan N., Terzi R., Kadroglu. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2011. 58(1). P. 60-68.
26. Кожухар Т.В., Кохан С.С., Кириченко О.В. Вплив передпосівної обробки насіння біологічними композиціями і мінерального удобрення на вміст хлорофілу в листках пшениці озимої. *Біоресурси і природокористування*. 2010; 2 (1/2): 49-54.
27. Влияние засухи на содержание хлорофилла и активность ферментов антиоксидантной системы в листьях трех сортов пшеницы, различающихся по продуктивности / М.К. Николаева, С.Н. Маевская, А.Г. Шугаев, Н.Г. Бухов. *Физиология растений*. 2010; 57(1). С. 94-102.

UDC 631.8:551.583.13

The effectiveness of combining fertilizers with stress protectors and growth regulators to reduce the impact of abiotic stress on plants

Ye. Yu. Hladkikh

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: ye.hladkikh@ukr.net

The issue of increasing resistance to extreme factors is becoming increasingly important; the relevance of the search for methods and ways to reduce the impact of abiotic stresses (droughts, high temperatures, frosts) on the implementation of the adaptive potential of agricultural crops is growing. For some unfavorable factors, the antistress activity of phytohormones, microelements and micronutrients was investigated; however, the greatest efficiency can be achieved through the combination of the necessary nutrients, hormones and growth regulators in an optimal rate. The aim of the work was establishing the effectiveness of the combined application of fertilizers, stress protectors and plant growth regulators to mitigate the effects of abiotic stresses. One of the tasks was to determine the optimal doses and methods of applying stress protectors. In a laboratory experiment, the effect on seed germination (by indications: sprouting, energy friendliness and germination rate), identified a set of components for complexing in the integrated products. As a result, we created two complex stress-protective fertilizers (sets of separate preparations) to mitigate the effects of abiotic stresses. The first one - SPs, is intended for seed treatment before sowing; it includes a complex of trace elements, sodium tripolyphosphate, phytohormones and silicon, as well as a naturally occurring polysaccharide lipogenic composition. The second preparation - SPf, intended for foliar fertilizing plants, contains the same components, as well as a complex of L-configuration amino acids and macronutrients in mineral form. The effect of complex preparations against the background of mineral fertilization ($N_{30}P_{30}K_{30}$) was investigated in two small-plot experiments on barley crops. The greatest effect on the barley yield was recorded when combining mineral fertilizers with the use of pre-sowing seed treatment with SPs at a rate of 1 l/t and a one-time foliar fertilizing plants during the growing season with SPf at a rate of 1.0 l/ha or 0.5 l/ha twice during vegetation.

Keywords: abiotic stress; fractional composition of water; mineral nutrition; plant growth regulators; stress protectors; chlorophyll.

Citing: Hladkikh Ye.Yu. 2020. The effectiveness of combining fertilizers with stress protectors and growth regulators to reduce the impact of abiotic stress on plants. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 57-64. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-06>.