

УДК 631.8: 551.583.13

Є. Ю. ГЛАДКІХ, канд. с.-г. наук, Ю. О. КРУПОДЕРЯ, канд. с.-г. наук,  
Є. В. ПАНАСЕНКО, канд. с.-г. наук

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»  
вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024  
e-mail: [ye.hladkikh@ukr.net](mailto:ye.hladkikh@ukr.net)

## РОЛЬ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ПІДВИЩЕННІ СТРЕСОСТІЙКОСТІ РОСЛИН ЗА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ПОГОДНИХ УМОВ\*

**Мета.** Визначення ролі окремих елементів живлення у мінімізації потенційних негативних впливів екстремальних погодних явищ та підвищенні стресостійкості сільськогосподарських культур. **Методи.** Дослідження проводили в умовах тривалого стаціонарного досліді та тимчасового польового досліді. Лабораторно-аналітичні дослідження виконувались з використанням стандартизованих методик. **Результати.** За екстремально посушливих умов збалансування азоту, фосфору, калію та сірки у системі удобрення та внесення мікроелементів у критичні періоди росту та розвитку рослин сприяє підвищенню використання вологи ґрунту і азоту та збільшенню врожайності культур в середньому на 20-25 %. **Висновки.** Адаптація рослин до екстремальних погодних явищ, зокрема ефективність використання вологи за посух, залежить від наявності необхідних елементів живлення (забезпечення рослин фосфором, калієм, кремнієм, сіркою та мікроелементами) для формування врожаю та збалансованого їх внесення на певному етапі онтогенезу.

**Ключові слова:** погодні умови, екстремальні явища, адаптація, елементи живлення, сільськогосподарські культури

Hladkikh Ye. Yu., Krupoderia Yu.A., Panasenko Ye.V.

National Scientific Center «Institute for soil science and agrochemistry research named after A.N. Sokolovsky»

## THE ROLE OF CERTAIN NUTRIENTS IN IMPROVE STRESS RESISTANCE IN PLANTS UNDER EXTREME WEATHER CONDITIONS

**Purpose.** Determining the role of certain nutrients to minimize the potential negative impacts of extreme weather events and increasing stress tolerance of crops. **Methods.** Investigations were carried out in conditions of long-term stationary experiment and in a temporary field experiment. Laboratory and analytical studies were carried out using standardized techniques. **Results.** In extremely dry conditions the balancing nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur in fertilizer system and application of microelements during critical periods of growth and development of plants contributes to the improvement in the use of soil moisture and nitrogen and increase crop yields by an average of 20-25%. **Conclusions.** The adaptation of plants to extreme weather events, such as efficient use of water during droughts, depends on the availability of the necessary nutrients (providing plants with phosphorus, potassium, silicon, sulfur and micronutrients) and their application in the balance for the crop formation at a certain stage of ontogenesis.

**Keywords:** weather, extreme events, adaptation, nutrients, crops

Гладких Е. Ю., Круподеря Ю. А., Панасенко Е. В.

Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского»

## РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОВЫШЕНИИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

**Цель.** Определение роли отдельных элементов питания в минимизации потенциальных негативных воздействий экстремальных погодных явлений и повышении стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур. **Методы.** Исследования проводились в условиях длительного стационарного опыта и временного полевого опыта. Лабораторно-аналитические исследования выполнялись с использованием стандартизированных методик. **Результаты.** При экстремально засушливых условиях сбалансирование азота, фосфора, калия и серы в системе удобрення и внесения микроэлементов в критические периоды роста и развития растений способствует повышению использования влаги почвы и азота и увеличению урожайности культур в среднем на 20-25%. **Выводы.** Адаптация растений к экстремальным погодным явлениям, в частности эффективность использования влаги при засухах, зависит от наличия необходимых элементов питания (обеспечение растений фосфором, калием, крем-

\*Дослідження проведено за грантової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф64.

© Гладких Є. Ю., Круподеря Ю. О., Панасенко Є. В.

нием, серой и микроэлементами) для формирования урожая и сбалансированного их внесения на определенном этапе онтогенеза.

**Ключевые слова:** погодные условия, экстремальные явления, адаптация, элементы питания, сельскохозяйственные культуры

### **Вступ**

Територія України в цілому стає дедалі більш вразливою до зміни погодно-кліматичних умов – посухи, екстремально високі температури, малоефективні опади та інші екстремальні явища зумовлюють нестабільність урожайності сільськогосподарських культур. Особливе значення це має для чорноземів, які займають 60% площі орних земель України, але, на жаль, знаходяться переважно у так званій зоні ризикованого землеробства. Втрати урожаю від несприятливих погодних умов в окремі роки можуть досягати 45-50%, а за поєднання декількох екстремальних явищ (як наприклад у 2003 р., 2007-2009 рр. - вимерзання, загибель від льодової кірки, засуха) – 70% і більше. При цьому слід зазначити, що аграрний сектор України – одна із провідних галузей економіки, яка є гарантом продовольчої безпеки і в нашій країні, і, за рахунок реалізації експортних можливостей, у світі.

Адаптація до зміни погодно-кліматичних умов в Україні переважно відбувається шляхом скорочення викидів та збільшення поглинання парникових газів. Відповідно до Національного плану заходів щодо реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату створено Національну систему інвентаризації парникових газів в Україні [1]. Однак, формування національного плану дій з адаптації в Україні тільки розпочинається, тому на цьому етапі міжнародний досвід створення та реалізації подібних документів є дуже цінним. Національні стратегії адаптації сільського господарства до змін клімату вже підготовлені або знаходяться на стадії розроблення в Фінляндії, Іспанії, Франції, Великобританії та інших країнах ЄС [2]. Політика адаптації землеробства до погодно-кліматичних флуктуацій може оперувати великою кількістю інтегрованих варіантів реагування, де вже накопичено певний досвід реалізації. Зокрема, однією з найбільш дієвих складових інтегрованої системи підвищення стійкості сільськогосподарського виробництва до екстремальних погодних явищ є управління поживним режимом. Оскільки зростання врожаю та процеси трансформації макро- та мікроелементів у ґрунті, баланс поживних речовин залежить від температурних умов та вологості, управління поживним ре-

жимом може стати одним з важливих факторів адаптивної практики для мінімізації потенційних негативних впливів погодно-кліматичних змін на сільськогосподарське виробництво [3].

На першому місці серед факторів, що впливають на врожайність і ефективність використання вологи рослиною є доступність елементів живлення: азоту (N), фосфору (P), калію (K), мезоелементів (S, Si) та мікроелементів. Оптимальне живлення сільськогосподарських культур та особливо вчасне їх надходження до рослин має надзвичайно важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки як у посушливих регіонах України [4], так і в цілому у світі, особливо в умовах глобальних змін клімату [5]. Незалежно від джерела поживних речовин, для вирощування сільськогосподарських культур в умовах недостатнього зволоження, ефективність їх використання буде залежати від доступної вологи ґрунту. У свою чергу, ефективність використання вологи буде залежати від наявності необхідних поживних речовин для формування врожаю. По суті, цей синергізм або взаємодія між вологою та поживними елементами лежить в основі управління живленням сільськогосподарських культур в умовах посух [6].

Позитивний вплив цілеспрямованого управління поживним режимом ґрунту, зокрема цілеспрямоване внесення окремих елементів живлення у необхідний період онтогенезу рослин, на ефективність використання вологи підтверджений дослідженнями різних авторів [7, 8]. Внесення лімітуючих елементів живлення не тільки сприяє росту продуктивної частини рослин, але й стимулює ріст коренів, що посилює поглинання вологи з глибших шарів ґрунту, особливо під час посухи; забезпечує тінь на поверхні ґрунту і, таким чином, зменшує кількість води, яка випаровується. Однак, може спостерігатися й зворотний ефект від незбалансованого удобрення (насамперед, азотного), наприклад, якщо інтенсивний ріст на початкових стадіях онтогенезу супроводжується посухою [9]. Азотні добрива сприяють збільшенню загальних витрат вологи з ґрунту на транспірацію унаслідок формування більшого врожаю, тому за умов надзвичайно сильної посухи у першу чергу може виникати підвищений ризик загибелі посівів із біль-

шою вегетативною масою. У цьому випадку важливого значення набуває збалансованість макроелементів у ґрунтовому розчині, що може супроводжуватись синергетичним ефектом окремо кожного з них. Окрім того, навесні у верхньому шарі ґрунту складаються умови недостатнього мікроелементного (зокрема, Cu, Mn, Zn) та сіркового живлення. Це негативно впливає на засвоєння рослинами азоту, а також стійкість до

посушливих умов, оскільки мікроелементи сприяють збільшенню зв'язаної води у тканинах і через це – зменшенню її випаровування.

**Метою роботи** є визначення ролі окремих елементів живлення (макро- та мезоелементів) у мінімізації потенційних негативних впливів екстремальних погодних явищ та підвищенні стресостійкості сільськогосподарських рослин.

### *Методика дослідження*

Дослідження проводились відділом агрохімії ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» у тривалому стаціонарному досліді та тимчасовому польовому досліді. Польові досліді розташовані на території ДП ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський р-н Харківської області). Стаціонарний дослід був закладений у 1969 році на чорноземі типовому важкосуглинковому з такими характеристиками:  $pH_{KCl} - 5,3$ , вміст гуму-

су – 5,4 %, рухомого фосфору і калію за Чириковим – 57 мг/кг і 114 мг/кг відповідно. Різні агрохімічні фони були створені шляхом застосування мінеральних добрив в запас (післядія з 1983 року) та систематично. Тимчасовий польовий дослід закладений на чорноземі опідзоленому.

Вміст мінерального азоту у ґрунті визначали за ДСТУ 4729:2007 [10], вологість ґрунту термостатно-ваговим методом.

### *Результати досліджень та їх обговорення*

Оптимізація кореневого живлення рослин за рахунок внесення мінеральних добрив дозволяє суттєво розширити діапазон ґрунтової вологи, що доступна рослинам і за рахунок цього збільшити водоспоживання посівів в умовах недостатнього зволоження, що забезпечує їхню високу продуктивність. Зокрема, для пшениці озимої забезпечення оптимального рівня живлення озимої пшениці азотом, фосфором і калієм дає можливість на 21-42 % збільшити використання важкодоступних форм вологи з кореневмісного шару ґрунту і в 1,5 рази зменшити частку фізичного випаровування у сумарній евапотранспірації [11, 12].

Роль азоту у процесі росту та розвитку рослин важко переоцінити – це один з головних елементів, що входить до усіх простих та складних білків, до складу хлорофілу, гемоглобіну, алкалоїдів. За умов екстремальних погодних явищ, зокрема посухи, в результаті порушення гідратних оболонок клітин рослин змінюється конфігурація білків-ферментів і, як наслідок, їх активність. В'янення рослин призводить до збільшення активності ферментів, які каталізують розпад білків (протеоліз), вміст білкового азоту різко падає. Розпад білків при зневодненні може бути настільки глибоким, що настає загибель рослин. Саме тому для підвищення стресостійкості рослин внесення азоту на початку вегетації має важливе значення. Наприклад, застосування азотних добрив у Китаї підвищувало ефектив-

ність використання ґрунтової вологи приблизно на 20% [13]. Однак, слід зауважити, як вже відмічалось вище, незбалансоване азотне живлення може призвести до зворотного ефекту - більш інтенсивного використання ґрунтової вологи.

Нашими дослідженнями на чорноземі типовому встановлено, що в умовах недостатнього зволоження ефективність весняного підживлення азотом пшениці озимої значною мірою залежить від забезпечення ґрунту фосфором та калієм. Зокрема, на початку вегетації у 2015 році у стаціонарному досліді запаси продуктивної вологи у 100 см шарі ґрунту оцінювалися як недостатні, у кінці вегетації – як дуже низькі (табл. 1). Весняне підживлення аміачною селітрою врозкид на варіанті без добрив мало найнижчий ефект, приріст врожаю складав лише 6,4 % до контролю. На відміну від цього, на високому агрохімічному фоні, де застосовували фосфорні добрива, приріст врожаю досяг 64,3 %.

Окрім створення збалансованого азотного живлення, важливою умовою у адаптації сільськогосподарських рослин до погодних аномалій є диференціація строків застосування добрив орієнтованих на стадії росту та розвитку рослин і потреб культури у азоті. Найбільш популярна система застосування азотних добрив під кукурудзу у Сполучених Штатах – це внесення у два-три етапи, використовуючи різні методи застосування і форми добрив.

Таблиця 1

Ефективність весняного підживлення азотом пшениці озимої залежно від забезпечення фосфором та калієм за несприятливих умов вологозабезпечення

Варіанти дослідів		Запаси продуктивної вологи у 100 см шарі ґрунту, мм		Запаси мінерального азоту у 100 см шарі ґрунту, кг/га		Урожайність пшениці озимої, т/га
агрохімічний фон	підживлення азотом, кг/га	початок вегетації	кінець вегетації	початок вегетації	кінець вегетації	
Контроль (без добрив)	0	102	23	115	32	2,80
	60	-	14	-	76	2,98
P <sub>1800</sub>	0	94	49	200	49	3,51
	60	-	5	-	73	4,60
N <sub>1800</sub> P <sub>1800</sub> K <sub>1800</sub>	0	116	33	167	34	3,50
	60	-	15	-	63	3,72

Невелика частка азотних добрив може бути внесена у якості підживлення у вигляді карбаміду або розчину КАС восени, з метою стимулювання ґрунтових мікроорганізмів і сприяння розкладанню залишків попередніх культур, що мають високе співвідношення С:N. У Західній Європі, де вегетаційний період достатньо довгий і потенційні втрати азоту можуть бути великими, фермери зазвичай

розділяють загальну норму азоту для озимої пшениці на три або навіть чотири етапи внесення, щоб динаміка поглинання азоту рослинами пшениці відповідала його надходженню до ґрунту [14]. Планування управління поживним режимом повинно забезпечувати достатню кількість доступного азоту в ґрунті, щоб задовольнити потреби різних частин рослини протягом усіх етапів росту (рис. 1).

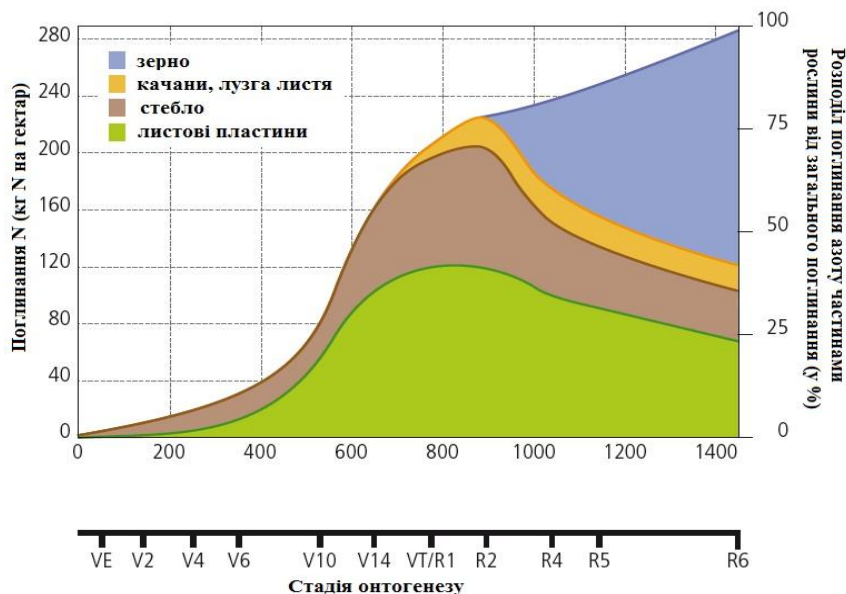


Рис. 1 – Поглинання азоту кукурудзою на різних стадіях онтогенезу: терміни поглинання і розподіл поглинання азоту між частинами рослини від загального поглинання у % [14]

Дефіцит вологи все ж таки більше гальмує надходження в рослини фосфору і калію, ніж азоту, тому посіви позитивно реагують на внесення фосфору в посушливий період. Доведено, що застосування фосфорних та калійних добрив може суттєво підвищити ефективність використання вологи шляхом поліпшення росту і розвитку листя і коріння рослин. Позитивний ефект

застосування фосфору простежується на ґрунтах різного гранулометричного складу та властивостей. Наприклад, у посушливих регіонах Індії внесення фосфорних добрив підвищило ефективність використання вологи на 15-20 % під пшеницею, на 22-55 % під просом, на 41-99 % під нутом і до 19 % у змішаних посівах пшениці та нуту [15]. Аналогічні результати показав також

44-річний експеримент, проведений у напівпосушливих преріях Північної Америки, де застосування фосфорних добрив підвищувало ефективність використання як азоту, так і вологи [9].

Нашими дослідженнями в умовах довготривалого стаціонару доведено істотне покращення умов використання вологи на чорноземах типових з високим вмістом залишкових фосфатів. Використання води на 1 т сухої речовини, при вирощуванні кукурудзи на силос і буряку цукрового, зменшується на ґрунті з високим вмістом фосфору на 20-25 % порівняно з ґрунтом з низькою забезпеченістю фосфором. При внесенні добрив ця різниця значно зменшується, але залишається істотною.

В умовах переважання посушливих періодів і відсутності систематичних атмосферних опадів переважну частину вегетаційного періоду роль окремих елементів мінерального живлення рослин у формуванні врожаю підвищується і калій в ряду цих елементів займає одну з провідних позицій. Калій бере активну участь у вуглеводному і білковому обміні рослин, виконуючи, переважно, функцію транспортування поживних речовин між різними органами. Значна роль цього елемента також для ферментних систем рослин [16], регулювання транспірації, оптимізації водного балансу рослин за рахунок регулювання поглинання вологи з ґрунту через кореневу систему [17]. За дефіциту калію гальмується синтез білка, в результаті порушується весь азотний обмін. Калій посилює також синтез високомолекулярних вуглеводів (целюлози,

геміцелюлози), а також пектинових речовин. Здатність калію збільшувати гідрофільність (обводнення) рослинних клітин, підтримувати тургор пояснює його велике значення для підвищенні стійкості рослин до посух або весняних заморозків.

Важливим фактором який безпосередньо впливає на перехід ґрунтового калію в обмінну, а потім і в рухому форму, є сезонні коливання температури і зміна умов зволоження. За рахунок багаторазового висушування і зволоження ґрунту в процесі вегетації сільськогосподарських культур спостерігається поповнення ґрунтового розчину доступними і обмінними формами калію, які рослини можуть використовувати для формування врожаю. Нестача калію особливо сильно проявляється при підживленні рослин амонійним азотом, який є хімічним антагоністом калію.

За посушливих умов [18] застосування калійних добрив дає ефект підвищення продуктивності пшениці і кукурудзи навіть за повної відсутності зрошення (табл. 2).

Окрім того, важливим фактором ефективності калію у стресових умовах росту рослин є збалансованість з азотно-фосфорним живленням. Як показали наші дослідження на чорноземах опідзолених у тимчасовому польовому догляді, збалансованість азотно-фосфорного живлення істотно підвищує віддачу від калію на ярій пшениці. Якщо на фоні  $N_0P_0$  прибавка врожаю від  $K_{120}$  практично була відсутня (0,06 т/га), то на фоні  $N_{60}P_{60}$  вона складала 0,21 т/га, а на фоні

Таблиця 2

Вплив різного рівня калійного удобрення на урожай зерна і соломи пшениці та урожай зерна кукурудзи за нормальних умов зволоження та за умов посухи

Доза внесених добрив, кг $K_2O$ /га	Урожай за нормальних умов зволоження, т/га	Урожай за умов посухи, т/га
Зерно пшениці		
0	4,61	3,76
120	5,39	4,56
240	5,16	4,38
360	5,51	4,30
Солома пшениці		
0	9,18	6,80
120	11,27	9,36
240	9,92	8,15
360	11,24	8,96
Зерно кукурудзи		
0	9,05	6,17
120	9,94	6,85
240	10,53	6,56
360	8,94	8,01

N<sub>120</sub>P<sub>120</sub> – 0,23 т/га (табл. 3). Аналогічні результати одержано й на буряку столовому.

Збалансоване застосування добрив також підвищує стійкість озимих культур до інших несприятливих умов, холодного стресу, перезволоження, тощо. За чотирирічними спостереженнями ВНП добрив і агрогрунтознавства ім. Д.М. Прянишникова, на бідних слабокультурних дерново-підзолистих важкосуглинкових ґрунтах найбільша загибель рослин (26-28 % за зиму) спостерігалася на варіантах без добрив, а

застосування повного мінерального добрива зменшило загибель рослин до 16 %, а на фоні вапна - до 13%. За результатами масових дослідів в географічній мережі з добривами виявлено, що в роки з надлишковим зволоженням зниження врожайності ярих зернових без добрив складало в середньому 15 %, на удобрених фонах – 11 %. За збільшення доз добрив різниця врожайності між удобреними та неудобреними ділянками розширюється до 27-54%.

Таблиця 3

Урожайність зерна пшениці ярої залежно від доз калійних добрив за різної забезпеченості азотом та фосфором

Дози калійних добрив, кг/га	Урожайність зерна пшениці ярої (т/га) на фоні:		
	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub>
K <sub>0</sub> (контроль)	1,72	1,99	2,12
K <sub>30</sub>	1,70	2,01	2,14
K <sub>60</sub>	1,79	2,17	2,28
K <sub>90</sub>	1,77	2,18	2,31
K <sub>120</sub>	1,78	2,20	2,35
P = 3,0 %. НСР <sub>0,95</sub> = 0,17 ц/га			

Сірка за своїм фізіолого-біохімічним значенням знаходиться в одному ряду з азотом, фосфором і калієм як один із основних елементів живлення рослин. Оскільки процеси засвоєння сірки йдуть одночасно із засвоєнням азоту рослинами, що має вагоме значення при формуванні білка, сірка є елементом, який сприяє посиленню стресостійкості рослин до екстремальних погодних явищ. Споживання рослинами сірки зазвичай компенсується процесами її вивільнення з мінеральних та органічних сполук ґрунту, а

також привнесенням з атмосфери та добривами, однак нині баланс сірки в ґрунті істотно погіршився внаслідок застосування концентрованих добрив і збільшення рівня врожайності культури.

Дослідження щодо впливу прикореневого підживлення сульфатом амонію на врожайність зерна пшениці озимої за несприятливих погодних умов протягом вегетації довели істотну роль сірки у формуванні адаптаційних механізмів рослини до абіотичних стресів (рис. 2).

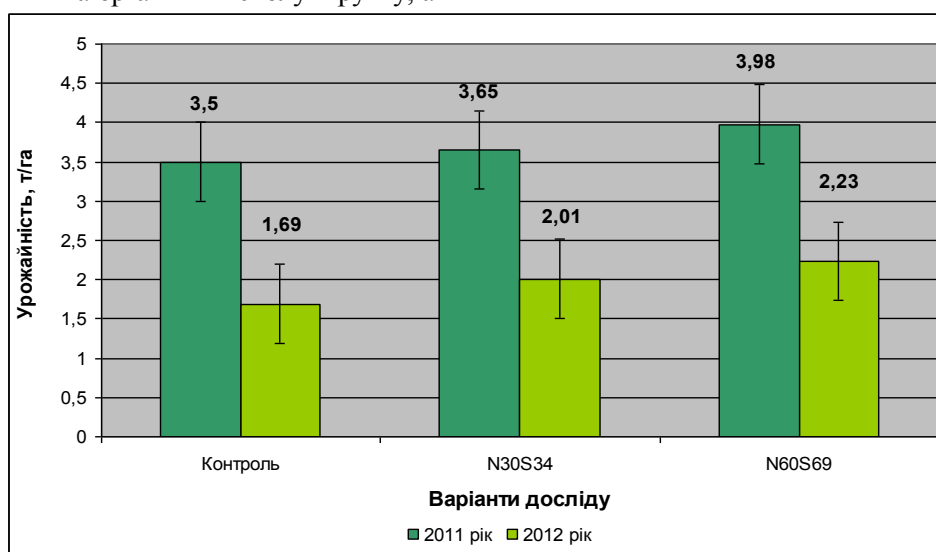


Рис. 2 – Вплив прикореневого підживлення сульфатом амонію на врожайність зерна пшениці озимої

Осінньо-зимовий період 2011-2012 рр. виявився несприятливим для осінньої вегетації й перезимівлі пшениці озимої, що було ускладнено тривалою весняно-літньою посухою. За цих умов спостерігається підвищення ефективності застосування сульфату амонію за збільшення норм азотних добрив (рис. 2). Прирости врожайності зерна пшениці озимої від застосування сірковмісних добрив коливались від 0,15 т/га до 0,54 т/га. Слід зазначити – підвищення ефективності сірки спостерігається зі збільшенням дози азоту, що сприяє додатковому споживанню сірки рослинами.

Ще одним важливим мезоелементом, що забезпечує підвищення стійкості рослин до стресових умов, є кремній, який поглинається рослинами і ґрунтовими мікроорганізмами у кількостях, що перевищують величину поглинання основних макроелементів (N, P, K). Позитивна роль кремнію для стимуляції росту і розвитку багатьох рослин загальнови-

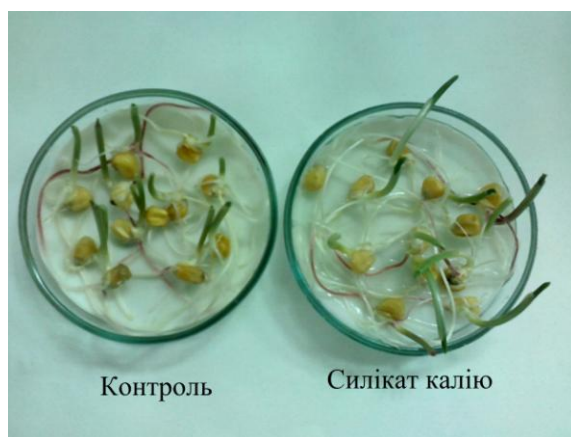
дома, а цей ефект особливо помітний у стресових умовах [19-20]. Розглядається декілька механізмів, що пояснюють підвищення посухостійкості рослин при оптимізації кремнієвого живлення [21]. Один з них пов'язаний із підвищенням водоутримуючих властивостей ґрунтів при внесенні кремнієвмісних сполук. Іншим поясненням може слугувати зниження транспірації та зміна кута нахилу листків рослин. Дефіцит кремнієвого живлення є також одним із чинників розвитку кореневої системи рослин. Дослідження на злакових, цитрусових, овочевих культурах і кормових травах засвідчили, що за покращення кремнієвого живлення рослин збільшується кількість вторинних і третинних корінців на 20-100 % (рис. 3 а) і більше [21]. Проведений нами лабораторний дослід з пророщуванням насіння ячменю та кукурудзи довів високу ефективність кремнієвих добрив (силікату калію) на енергії проростання насіння (рис. 3б та 3в).



а



б



в

Рис. 3 – Роль кремнію у стимуляції росту та розвитку рослин

Основною функцією Si в рослині можна вважати підвищення стійкості до несприятливих умов, що виражається в потовщенні епідермальних тканин (механічний захист), прискоренні зростання і посилення кореневої системи (фізіологічний захист) і збільшенні стійкості до абіотичних стресів (біохімічний захист).

Лімітуючим фактором нормального росту та розвитку рослин протягом вегетації може стати дефіцит у мікроелементному живленні, що негативно відображається на процесі засвоєння макроелементів живлення та відповідно адаптації рослин до екстремальних погодних явищ. Відомим фактом є те, що в умовах абіотичних стресів ефективність застосування мінеральних добрив знижується через зниження доступності макроелементів, в таких умовах мікроелементи проявляють свою біологічну активність за умови внесення їх у критичні періоди росту і розвитку сільськогосподарських рослин, сприяючи підвищенню стресостійкості рослин та підтримуючи стабільний їх урожай. Наші результати досліджень, отримані за допомогою проведення функціональної діагностики живлення ячменю ярого, що дозволяє оцінити не вміст елемента, а потребу рослин у ньому, доводять дане твердження.

За допомогою портативної лабораторії «АгровекторПФ-014» нами було отримано дані щодо потреб рослин ячменю у різних елементах живлення, в тому числі мікроелементах, у різні роки за зволоженням (2013 та 2014 рр.) на стаці-

онарному польовому досліді. Вегетаційний період 2013 року був істотно посушливішим (кількість опадів складала 164 мм) порівняно з 2014 роком (кількість опадів – 242 мм), що відобразилось на виявленні більшого дефіциту за макро-, мезо- та мікроелементами живлення. На основі отриманих даних було розроблені відповідні корективи для забезпечення бездефіцитного балансу живлення - у фазу кушіння було внесено мінеральні добрива та позакореневе підживлення мікроелементами. Застосування позакореневого підживлення у фазу кушіння, на фоні повної дози добрив ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) дозволило забезпечити практично бездефіцитні умови живлення ярого ячменю у фазу виходу в трубку.

Крім того, облік урожаю ячменю ярого показав, що позакореневе підживлення рослин мікроелементами у критичні фази розвитку сприяло отриманню стабільного приросту врожаю зерна як у посушливих умовах 2013 року так і у сприятливих за зволоженням умовах 2014 року. Прирости урожаю коливались в межах 4,0-7,0 ц/га. Натомість, ефективність внесення повного мінерального добрива ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) суттєво відрізнялась за роками – приріст урожаю зерна ячменю у посушливий рік складав лише 1,7 ц/га проти 19 ц/га у сприятливий за зволоженням рік. Отримані результати свідчать про істотну роль мікроелементів живлення у отриманні стабільних врожаїв сільськогосподарських культур в умовах екстремальних явищ протягом вегетаційного періоду, зокрема посух.

### Висновки

Вагомим чинником посилення стресостійкості рослин за екстремальних погодних умов є збалансування окремих елементів живлення у системі удобрення, що відповідає потребам рослин на певних етапах їхнього розвитку. Оптимальне співвідношення азоту, фосфору, калію та сірки супроводжується синергетичним ефектом, що за екстремальних погодних умов підвищує врожайність сільсь-

когосподарських культур та окупність витрат на мінеральні добрива.

Забезпечення бездефіцитних умов мікроелементного живлення рослин у критичні фази їх росту та розвитку дозволяє отримувати стабільні врожаї сільськогосподарських культур навіть в умовах нестабільного зволоження протягом вегетаційного періоду.

### Література

1. Agriculture and Climate Change. A Scoping Report. Date of publication: June 2011. [www.climate-agriculture.org](http://www.climate-agriculture.org).
2. Burton I. Achieving adequate adaptation in agriculture. *Climatic Change* / I. Burton, B. Lim – 2005. - № 70(1-2), pp. 191-200.
3. M. Wivstad, A. S. Dahlin, and C. Grant, "Perspectives on nutrient management in arable farming systems," *Soil use and management* (2005): 113–121.

4. Медведєв В. В. Значення родючості ґрунту і добрив у раціональному використанні вологи. / Наукові основи землеробства в умовах недостатнього зволоження, 21-23 лютого 2000 р.: матеріали наук.-практ. конф. / [ред. кол.: П. І. Коваленко (гол.) [та ін.]]. - К. : Аграрна наука, 2001. - с. 24-26.

5. Roy R. N., Finck A., Blair G. J., Tandon H. S. Plant nutrition for food security: A guide to integrated nutrient management. // *FAO Fert & Plant Nutrition*



Bulletin, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. – No. 16. – 2006.

6. Henry J.L., Bole J.B., McKenzie R.C. Effect of nitrogen water interactions on yield and quality of wheat in Western Canada. In: Slinkard, A.E., Fowler, D.B. eds. Wheat production in Canada – A review. – 1986. – P. 165-191.

7. Van Duivenbooden N., Pala M., Studer C., Biielders C.L. Efficient soil water use: The key to sustainable crop production in the dry areas of West Asia, and North and Sub-Saharan Africa. // International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria, and International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India. – 1999.

8. Rao S.C., Ryan J. Challenges and strategies of dryland agriculture. // Special Publication Crop Soil Sci Soc Am, Madison, WI, USA. – No. 32. – 2004.

9. Campbell C.A., Zentner R.P., Selles F., Jefferson P.G., McConkey B.G., Lemke R., Blomert B.J. Long-term effect of cropping system and nitrogen and phosphorus fertilizer on production and nitrogen economy of grain crops in a Brown Chernozem. // Can J Plant Sci. – 2005. – № 85. – P. 81–93.

10. Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4729:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – III, 14 с. – (Національний стандарт України).

11. Никитишен В.И., Личко В.И. Хмелин А.А. Продуктивное потребление влаги озимой пшеницей при оптимизации минерального питания посева // Агрохимия. – 2008. - № 4. – С.20-30.

12. Заборин А.В. Эвапотранспирация агроценозами при различных условиях минерального питания / А. В. Заборин, В. И. Никитишен, Л. К. Дмитрикова // Почвоведение. – 1998. - № 4. – С. 483-491.

13. Deng X., Shan L., Zhang H., Turner N.C. Improving agricultural water use efficiency in arid

and semiarid areas of China. // Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia. Published on CDROM. – 2004.

14. Bender R.R., Haegerle J.W., Ruffo M.L., Below F.E. Modern corn hybrids' nutrient uptake patterns. // Better Crops with Plant Food. – 2013. - № 97(1). P. 7-10.

15. Tandon, H.L.S. (Ed.). Phosphorus in dryland agriculture. In: Phosphorus research and agricultural production in India, Fertilizer Development and Consultation Organisation, New Delhi. – 1987. – P. 73-84.

16. Marschner P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. // 3rd ed. Academic Press; London, UK. – 2012. – P. 178–189.

17. Kaldenhoff R., Ribas-Carbo M., Flexas J., Lovisolo C., Heckwolf M., Uehlein N. Aquaporins and plant water balance. // Plant Cell Environ. – 2008. – № 31. – P. 658–666.

18. Abd-El-Hadi A. H., Awad A. M., El-Shebeny G. M. Effect of Potassium on the Drought Resistance in Crop Production Under the Egyptian Conditions // Global Advanced Research Journal of Agricultural Science. - Vol. 3(8) – 2014.

19. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants. // Ann Appl Biol. – 2009. – P. 155–160.

20. Матыченков В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение: дис. на соиск. д.б.н. - Пушино, 2008.

21. Yongchao Liang Role of silicon in enhancing resistance to freezing stress in two contrasting winter wheat cultivars. // Environmental and Experimental Botany. – 2008. - № 64 (3). – P. 286-294.

Надійшла до редколегії 23.05.2016