Original researches

**Assimilation of Nutritive Elements
by Winter Wheat Plants of Ukrainian
and European Selection
After the Resumption of Spring Vegetation**

Received: 26 November 2020
Revised: 08 December 2020
Accepted: 09 December 2020

National Scientific Center “Institute for soil
science and agrochemistry research named
after O. N. Sokolovsky”, Chajkovs’ka Str., 4,
Kharkiv, 61024, Ukraine

Tel.: +38-097-398-67-12
E-mail: ecosoil@meta.ua
zvonaranastasia@gmail.com
panasenko-evgeniy@rambler.ru

Cite this article: Miroshnichenko, M. M.,
Zvonar, A. M., & Panasenko, E. V. (2021).
Assimilation of nutritive elements by winter
wheat plants of Ukrainian and European
selection after the resumption of spring
vegetation. *Agrology*, 4(1), 3–9.
doi: 10.32819/021001

M. M. Miroshnichenko, A. M. Zvonar, E. V. Panasenko
*National Scientific Center “Institute for soil science and agrochemistry research
named after O. N. Sokolovsky”, Kharkiv, Ukraine*

Abstract. Increasing the grain yield of winter wheat in Ukraine and in the world is largely related to achievements in selection and improvement of agrotechnics for its growing. Modern high-yielding varieties of winter wheat are characterized by a longer period of consumption of nutritive elements and their more efficient use. To realize their genetic potential, such varieties require an individual approach to the management of mineral nutrition of plants. However, the prevention of nutritional deficiencies due to non-compliance of fertilizers with the physiological needs of new varieties and hybrids until present time remains an unsolved problem. Therefore, the aim of our research was to compare the consumption of nutritive elements by winter wheat plants of Ukrainian and European selection after the resumption of spring vegetation. In the research had compared the dynamics of consumption of nutritive elements by winter wheat plants of four Ukrainian varieties: Rozkishna, Bunchuk, Smuglyanka and Podolyanka; 8 varieties of Foreign selection: Balitus, Panonicus – Austria; Arctis, Matrix – Germany; Annitsa, Manditsa – Croatia; Bodichek and Daria – Czech Republic. The content of N, P, K and microelements in the aboveground organs of plants after the resumption of their spring vegetation in the tillering stage, shooting, flowering and complete ripeness (grain and straw separately) was determined. Wheat was grown on the varietal test field of the V. Yuryev Plant Research Institute of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine on typical heavy clayey loam chernozems with the same agrotechnics and fertilizers. Weather conditions during the research period differed in the times of the dry period: in 2018 in April–May during the growth of vegetative mass, and in 2019 – in June–July, that is in the phase of grain ripening. It is found, that the nitrogen content in the aboveground part of winter wheat during the spring-summer vegetation was higher in varieties of European selection, except for well provided with moisture tillering phase in 2019. A similar trend of greater potassium accumulation had plants of European varieties whose potassium content in grain was higher by 0.03–0.14% in 2018 and by 0.22–0.24% in 2019 than in the varieties of Ukrainian selection. No significant permanent differences in the accumulation of phosphorus by plants between groups of varieties were found. The content of nutritive elements in grain and straw had less variability than in the aboveground part of plants during the growing season. During both years of observations during the growing season, wheat of European varieties accumulated more manganese than Ukrainian varieties, and, as a result, the content of this element in the grain of the European group was higher by 2.2–2.3 mg/kg, in straw – by 5.2–7.7 mg/kg. Instead, wheat of Ukrainian varieties consumed more zinc from the flowering phase, and the content of this element in the grain of the Ukrainian group was higher by 1.1–1.2 mg/kg, in straw – by 0.09–0.22 mg/kg. The accumulation of iron in the tissues of winter wheat was higher for European varieties at the stage of booting, and for Ukrainian varieties – during flowering. Thus, the same conditions of soil supply with nutritive elements, accumulation of NPK and microelements in the aboveground part of winter wheat plants after the resumption of spring vegetation is determined by weather conditions and varietal features of nutrition. The extraordinary needs of varieties for mineral nutrition can be constant over time, and can be manifested only under certain hydrothermal conditions during the growing season, so to identify such varietal features, it is necessary to conduct research for both drought and good moisture.

Keywords: winter wheat; mineral nutrition; varieties; accumulation of NPK; microelements; hydrothermal conditions.

Засвоєння елементів живлення рослинами пшениці озимої української та європейської селекції після відновлення весняної вегетації

М. М. Мірошніченко, А. М. Звонар, Е. В. Панасенко

ІНЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського" м. Харків, Україна

Анотація. Підвищення врожайності зерна пшениці озимої в Україні та у світі значною мірою пов'язано з досягненнями в селекції та з удосконаленням агротехніки її вирощування. Сучасним високопродуктивним сортам пшениці озимої притаманні більш тривалий період споживання елементів живлення і більш ефективне їх використання. Для реалізації свого генетичного потенціалу такі сорти потребують індивідуального підходу до управління мінеральним живленням рослин. Однак запобігання дефіциту живлення, обумовленого невідповідністю удобрення фізіологічним потребам нових сортів та гібридів, до цього часу залишається невирішеною задачею. Тому метою наших досліджень було порівняння споживання елементів живлення рослинами пшениці озимої української та європейської селекції після відновлення весняної вегетації. У дослідженнях порівнювали динаміку споживання елементів живлення рослинами пшениці озимої чотирьох українських сортів: Розкішна, Бунчук, Смоглянка та Подолянка; 8 сортів закордонної селекції: Балітус, Панонікус – Австрія; Арктіс, Матрикс – Німеччина; Анніца, Мандіца – Хорватія; Бодічек і Дарія – Чехія. Визначено вміст N, P, K та мікроелементів у надземних органах рослин після відновлення їхньої весняної вегетації у фазі кушіння, виходу у трубку, цвітіння та повної стиглості (зерно і солома окремо). Пшеницю вирощували на сортовипробувальному полі Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН України на чорноземах типових важкосуглинкових за однакової агротехніки та удобрення. Погодні умови в період досліджень різнилися строками посушливого періоду: у 2018 р. у квітні–травні під час нарощування вегетативної маси, а у 2019 р. – у червні–липні, тобто у фазу досягання зерна. Встановлено, що вміст азоту в надземній частині пшениці озимої протягом весняно-літньої вегетації був більшим у сортів європейської селекції, за винятком добре забезпеченої вологою фазу кушіння у 2019 р. Аналогічну тенденцію більшого накопичення калію мали рослини групи європейських сортів, уміст калію в зерні був більшим на 0,03–0,14% у 2018 р. та на 0,22–0,24% у 2019 р., ніж у сортів української селекції. Істотних сталих відмінностей у накопиченні рослинами фосфору між групами сортів не виявлено. Вміст елементів живлення в зерні та соломі має меншу варіабельність, ніж у надземній частині рослин протягом вегетації. Обидва роки спостережень протягом вегетації пшениця європейських сортів накопичувала марганцю більше за українські сорти, і, як наслідок, уміст цього елемента в зерні європейської групи виявився вищим на 2,2–2,3 мг/кг, у соломі – на 5,2–7,7 мг/кг. Натомість пшениця українських сортів від фази цвітіння споживала більше цинку, і вміст цього елемента у зерні української групи був вищим на 1,1–1,2 мг/кг, у соломі – на 0,09–0,22 мг/кг. Накопичення заліза в тканинах пшениці озимої виявилось вищим для європейських сортів на стадії трубкування, а для українських сортів – під час цвітіння. Отже, за однакових умов забезпеченості ґрунту елементами живлення, накопичення NPK та мікроелементів у надземній частині рослин пшениці озимої після відновлення весняної вегетації визначається погодними умовами та сортовими особливостями живлення. Надзвичайні потреби сортів щодо мінерального живлення можуть бути сталими в часі, а можуть проявлятися тільки за певних гідротермічних умов протягом вегетації, тому для виявлення таких сортових особливостей потрібно проводити дослідження і за посухи, і за доброго зволоження.

Ключові слова: пшениця озима; мінеральне живлення; сорти; накопичення NPK; мікроелементи; гідротермічні умови.

Вступ

Зростання населення Землі, яке за прогнозами науковців до 2030 року досягне 7,5 млрд осіб (Fedoruk et al., 1999), обумовлює необхідність дедалі більшого нарощування валових зборів зернових культур для забезпечення продовольчої безпеки (FAO, 2020). За експертними оцінками, тільки за рахунок підвищення ефективності використання нових сортів сільськогосподарських культур щороку додатково виробляють понад 20% продукції землеробства (Kolyuchiy et al., 2007). Поряд з цим на реалізацію генетичного потенціалу кожного сорту впливає рівень відповідності системи удобрення реальним потребам рослин, особливо в найбільш критичні фази їх розвитку. У системі удобрення найпоширенішої зернової культури – пшениці озимої ключовим елементом живлення є азот, частка надходження якого з добрив в Індії становить 21%, у Китаї – 30%, а в США – 41% (Omara et al., 2019). Тому й селекція пшениці тривалий час була спрямована передусім на збільшення ефективності споживання азоту, що забезпечило збільшення потенціальної врожайності нових сортів до рівня 6–7 т/га і вище (Nazarenko et al., 2020; Morgun et al., 2007; Cormier et al., 2016). На практиці агропромислові інколи необґрунтовано нехтують внесенням належної кількості фосфорно-калійних добрив, що призводить до недобору врожаю через розбалансованість живлення, погіршує його якість (Morgun et al., 2010; Kratamov et al., 2014). Якщо в 1990 р. співвідношення азоту, фосфору і калію становило 1:0,8:0,5, то у 2015 р. – 1:0,2:0,1 (Vozhegova & Dimov, 2016).

Така практика хибна, адже численні дослідження переконують в необхідності більш близького співвідношення елементів живлення (Krivenko & Burikina, 2018). Наприклад, доведено, що нестача фосфору на початкових етапах онтогенезу не може бути компенсована посиленням фосфорного живлення в пізнішій фазі розвитку (Gospodarenko, 2010).

На жаль, діагностика причин дефіциту живлення, обумовлених невідповідністю удобрення фізіологічним потребам нових сортів та гібридів, залишається до цього часу невирішеною задачею. Е.Л. Klimashevsky (1991) ще 30 років тому запропонував ідею врахування генотипової обумовленості потреб рослин на рівні сорту. Згодом актуальність цього питання тільки збільшується, адже недобір урожаю зерна пшениці високопродуктивних сортів за недостатнього удобрення значно більший, ніж недобір урожаю старих сортів (Ahrends et al., 2018). За оцінкою Cormier et al. (2013), в останні 25 років селекційний прогрес обумовлював зростання ефективності споживання азоту щорічно на 0,20%. В Україні в 70-х роках минулого століття різниця вносу NPK сортами пшениці озимої (Харківська 63, Краснодарська 39, Миронівська 808) була в межах 6,5%, у 90-х роках (Харківська 81, Донецька 46, Напівкарлик 3) становила 13%, а на початку XXI ст. (Харус, Спалах, Василина) уже перевищує 16% (Kirichenko, 2009). За спостереженнями групи дослідників з університету Ньюкастла (Великобританія) в рамках проекту NUE-CROPS (2014), який фінансувався Єврокомісією у 2009–2014 рр., прирости врожаю від удобрення сучасних сортів значно збільшуються порівняно зі старими сортами за

сприятливих погодних умов вирощування. Agren & Weih (2012) вважають, що варіабельність концентрації біофільних елементів, спричинена умовами навколишнього середовища, є такою самою, як і та, що обумовлена генетичними чинниками.

Мало відомо й про варіабельність мікроелементного складу зернової продукції високопродуктивних сортів, хоча за балансом мікроелементів сучасні системи землеробства в Україні є, як правило, дефіцитними (Miroshnychenko & Fateev, 2008). З'ясовано, що генетичні поліпшення в США призвели до зниження концентрації Fe, Zn Se в зерні, хоча врожайність і збільшується (Garvin et al., 2006). Інші дослідники відзначають позитивну кореляцію між урожайністю та вмістом Mn, Zn, Cu, Fe в зерні трьох сортів пшениці, вирощених за різних рівнів живлення азотом на алювіальних ґрунтах північно-західної Хорватії (Svečnjak et al., 2013). Потреба сучасних сортів пшениці в мікроелементах значно посилюється за інтенсивного удобрення, а максимум акумуляції окремих елементів у рослинах припадає на різні стадії їх вегетації (Hamnér et al., 2017).

З викладеного стає зрозумілим, що ефективність мінерального живлення пшениці озимої залежить від взаємодії генотипу, умов навколишнього середовища та заходів управління, які мають бути максимально адаптованими до перших двох чинників. До таких висновків дійшли Hawkesford & Riche (2020) у нещодавно опублікованому узагальненні 16-річного експерименту Broadbalk на Ротамстедській дослідній станції.

Донині в системах удобрення пшениці озимої не враховуються особливі вимоги певних сортів щодо макро- та мікроелементів, хоча таке вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур дозволило б ще більше підняти рівень урожайності та окупність мінеральних добрив. Більш того, достеменно невідомо, чи відрізняється взагалі вимогливість українських сортів до живлення від вимогливості сортів закордонної селекції, які культивуються вітчизняними агровиборниками. Підґрунтям для такої гіпотези можуть слугувати результати окремих досліджень, які засвідчили не тільки вищий адаптивний потенціал місцевих генетичних ліній пшениці, але й притаманні ним особливості споживання елементів живлення (Nazarenko et al., 2019; Murphy et al., 2007). Європейські сорти були виведені, підкреслюють інші дослідники, в сприятливих, навіть розкішних режимах удобрення, що позначилося на ефективності використання елементів живлення за нижчих рівнів удобрення (Górny et al., 2011). Однак через брак даних та великий вплив умов середовища наявність генетично обумовленої специфіки живлення певних груп сортів не можна вважати доведеною. Тому метою наших досліджень було порівняння споживання елементів живлення рослинами пшениці озимої української та європейської селекції після відновлення весняної вегетації.

Матеріал та методи

Дослідження проводили у 2018–2019 рр. на сортовипробувальному полігоні дослідного поля “ДГ Елітне” Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН України (Харківський район Харківської області). Ґрунтовий покрив представляв чорноземи типовими важкосуглинковими, які характеризуються низьким рівнем вмісту мінерального азоту, високим фосфором та підвищеним вмістом калію відповідно національним критеріям (Yatsuk & Balyuk, 2019). Розміщення ділянок з різними сортами пшениці озимої рендомізоване, розміром 1,25×2,4 м кожна. Система удобрення пшениці включала внесення 100 кг/га нітроамофоски (30 кг/га д.р.) по мерзлоталому ґрунту в ранньовесняне підживлення та 25 т/га гною під попередник (чорний пар).

Для дослідження було обрано 4 сорти – національні стандарти пшениці озимої Розкішна (оригініатор – Інститут рос-

линництва імені В. Я. Юр'єва), Бунчук (Селекційно-генетичний інститут), Смуглянка та Подолянка (Інститут фізіології рослин та генетики)), а також 8 сортів закордонної селекції, серед яких Балітус, Панонікус (Saatzucht Donau, Австрія); Арктик, Матрикс (Deutsche Saatveredelung AG, Німеччина), Анніца, Мандіца (Zagreb Bc Institute, Хорватія); Бодічек і Дарія (RAGT Semences, Чехія).

Проби рослин пшениці озимої відбирали після відновлення весняної вегетації у такі фази: кушіння, вихід у трубку, цвітіння та досягання зерна. Для цього на випробувальних ділянках зрізали надземну частину рослин на висоті 5 см від поверхні. Проби відбирали в один день для всіх досліджуваних сортів у триразовій повторності, кожна проба складалася з 15–20 рослин. Уміст азоту, фосфору та калію в рослинному матеріалі визначали методом мокрого озолення (Methods for determining the composition and properties of soils, 2005) з аналітичним закінченням на спектрофотометрі СФ–4 та полумєновому фотометрі CL–22D. Уміст мікроелементів у рослинах визначали згідно з ГОСТ 26929–94 (Preparation of samples. mineralization for the determination of toxic elements, 1986) після мінералізації за ДСТУ 7670:2014 (Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements, 2015). Аналітична повторюваність вимірювань дворазова. Статистичний аналіз експериментальних даних виконували з використанням програми Statistica 10.

Метеорологічні умови в період досліджень були досить різними як за температурним режимом, так і за кількістю опадів під час вегетації пшениці озимої (таб. 1). Це дало можливість одержати достовірні дані відносно вимогливості сортів до мінерального живлення у відмінні за гідротермічним режимом роки.

Зокрема, кількість опадів у 2018 році була на 7–13% меншою за середньобаторічну, а у 2019 – на 26–38%. Середня температура повітря в усі роки досліджень перевищувала середньобаторічні показники. Для періоду вересень–серпень перевищення температури становило від 0,7 до 2,8 °С, для періоду березень–липень – від 1,3 до 2,7 °С. Окрім того, протягом досліджуваного періоду спостерігалися тимчасові аномалії гідротермічного режиму: посушливі квітень–травень у 2018 року та червень–липень у 2019 р. Таким чином, погодні умови в період проведення досліджень відрізнялися насамперед строкami посушливого періоду – у перший рік спостережень під час нарощування вегетативної маси, а в другий – під час досягання зерна.

Результати

Спостереження за динамікою вмісту азоту в надземній частині рослин за основними фазами вегетації показують доволі чітку тенденцію до більшого накопичення цього елемента сортами європейської селекції (табл. 2). Виняток становить лише фаза кушіння навесні 2019 р. з дуже добрим вологозабезпеченням за помірного температурного режиму. Аналогічна тенденція також простежується й за вмістом калію в рослинах від фази кушіння до виходу в трубку. Група європейських сортів мала вміст K₂O вищий, ніж вітчизняні сорти на 0,03–0,14% у 2018 р. та на 0,22–0,24% у 2019 р. На відміну від азоту та калію, концентрація фосфору в надземній частині рослин протягом вегетації не виявила значних розбіжностей.

Незважаючи на відмінність погодних умов 2018 та 2019 років, у кінцевій продукції пшениці озимої досліджуваних груп також простежується істотна різниця за рівнем накопичення калію, вміст якого в зерні європейських сортів становив $0,43 \pm 0,02\%$ у 2018 р. і $0,41 \pm 0,02\%$ у 2019 р., а в сортів національних стандартів – $0,38 \pm 0,01\%$ і $0,36 \pm 0,04\%$, відповідно (табл. 3). Звертає увагу значно менша варіабельність цих показників, аніж у надземній частині рослин протягом вегетації. Аналогічна відмінність була притаманна й накопиченню калію в соломі: $2,05 \pm 0,11\%$ у 2018 р. та $2,10 \pm 0,11\%$ у 2019 р. для закордонних сортів та $1,70 \pm 0,30\%$ у 2018 р. та $1,73 \pm 0,10\%$, відповідно, для вітчизняних.

Таблиця 1. Метеорологічні умови вирощування пшениці озимої до та після відновлення вегетації

Місяць	2017–2018 pp.		2018–2019 pp.		Середньобаторічні	
	t °C	RR, мм	t °C	RR, мм	t °C	RR, мм
Вересень (IX)	17,7	25,7	18,9	35,5	14,5	43,5
Жовтень (X)	8,5	44,3	11,4	19,1	7,5	39,2
Листопад (XI)	2,1	60,5	-1,8	20,8	0,6	43
Грудень (XII)	2,4	62,9	-3,5	76,5	-3,7	43,5
Січень (I)	-3,8	48	-5,1	49,8	-6,5	38,3
Лютий (II)	-3,6	37	-5,6	35,9	-5,8	30,5
Березень (III)	3,4	109,3	4,2	7,9	-0,3	28,3
Квітень (IV)	12,4	12,9	11,5	44,5	9,6	35,5
Травень (V)	19,9	15,9	18,4	43,4	16,1	43,7
Червень (VI)	21,6	43,5	24,8	15,2	20,2	63,3
Липень (VII)	23	28,7	21,4	38,8	21,4	71,7
Серпень (VIII)	24,6	-	21,2	-	20,6	46,9
Середнє за IX–VIII	10,7	-	8,6	-	7,9	-
Сума за IX–VIII	-	488,7	-	387,4	-	527,4
Середнє за III–VII	16,1	-	16,1	-	13,4	-
Сума за III–VII	-	210,3	-	149,8	-	242,5

Таблиця 2. Вміст NPK у надземній частині рослин пшениці озимої європейської (Eu) та української (Ua) селекції протягом вегетації

Елемент живлення	Селекція	Вміст NPK у сухій речовині, %					
		кущіння		трубкування		цвітіння	
		2018 р.	2019 р.	2018 р.	2019 р.	2018 р.	2019 р.
N	Eu	3,80 ± 0,08	3,98 ± 0,14	1,50 ± 0,06	2,94 ± 0,06	-	1,45 ± 0,09
	Ua	3,67 ± 0,11	4,00 ± 0,19	1,39 ± 0,11	2,79 ± 0,11	-	1,34 ± 0,15
P ₂ O ₅	Eu	0,73 ± 0,02	0,85 ± 0,01	0,32 ± 0,02	0,77 ± 0,02	-	0,48 ± 0,01
	Ua	0,81 ± 0,07	0,84 ± 0,04	0,31 ± 0,01	0,69 ± 0,04	-	0,47 ± 0,04
K ₂ O	Eu	4,48 ± 0,07	4,12 ± 0,08	2,52 ± 0,17	4,09 ± 0,11	-	1,68 ± 0,07
	Ua	4,34 ± 0,10	3,90 ± 0,11	2,49 ± 0,16	3,85 ± 0,13	-	1,71 ± 0,25

Таблиця 3. Вміст NPK в основній та нетоварній продукції пшениці озимої європейської та української селекції

Елемент	Селекція	Вміст NPK у продукції, %			
		зерно		солома	
		2018	2019	2018	2019
N	Eu	2,09 ± 0,07	1,85 ± 0,14	0,36 ± 0,02	0,48 ± 0,04
	Ua	2,17 ± 0,14	1,85 ± 0,15	0,32 ± 0,07	0,38 ± 0,04
P ₂ O ₅	Eu	0,60 ± 0,02	0,71 ± 0,03	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,01
	Ua	0,56 ± 0,04	0,61 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,05 ± 0,01
K ₂ O	Eu	0,43 ± 0,02	0,41 ± 0,02	2,05 ± 0,11	2,10 ± 0,11
	Ua	0,38 ± 0,01	0,36 ± 0,01	1,70 ± 0,30	1,73 ± 0,11

За накопиченням азоту в зерні істотної різниці між групами сортів не спостерігалось, а за накопиченням фосфору різниця між середніми значеннями була істотною лише у 2019 році, а саме: 0,71 ± 0,03% у зерні і 0,08 ± 0,01% у соломі європейських сортів та 0,61 ± 0,01% і 0,04 ± 0,003%, відповідно, для вітчизняних.

Концентрація мікроелементів у надземній частині рослин пшениці зазнала більш різких змін у період вегетації, ніж ос-

новних елементів живлення (табл. 4). Надзвичайно знизився вміст заліза та міді в період від фази трубкування до цвітіння у 2018 р. та міді – у 2019 р. Концентрація кобальту, навпаки, мала тенденцію до підвищення від трубкування до цвітіння, незважаючи на ростове розбавлення (“dilution effect”) у цей період. Найвища варіабельність була притаманна кобальту та міді, коефіцієнт варіації вмісту яких в окремі фази розвитку сягав 50%.

Таблиця 4. Вміст мікроелементів у надземній частині рослин пшениці озимої європейської та української селекції протягом вегетації

Елемент	Селекція	Вміст мікроелементів у сухій речовині за фазами розвитку, мг/кг			
		трубкування		цвітіння	
		2018 р.	2019 р.	2018 р.	2019 р.
Zn	Eu	17,5 ± 0,8	1,4 ± 0,6	7,67 ± 0,83	8,44 ± 0,45
	Ua	16,9 ± 2,1	13,1 ± 1,1	9,32 ± 0,67	10,1 ± 1,0
Co	Eu	0,84 ± 0,24	0,15 ± 0,03	1,32 ± 0,21	0,18 ± 0,03
	Ua	1,14 ± 0,48	0,08 ± 0,01	1,61 ± 0,30	0,20 ± 0,07
Fe	Eu	112 ± 16	56,9 ± 2,6	29,7 ± 0,9	33,4 ± 3,0
	Ua	105 ± 14	45,6 ± 4,5	33,3 ± 1,4	39,7 ± 6,9
Mn	Eu	47,7 ± 2,3	33,6 ± 2,7	31,1 ± 1,8	20,4 ± 2,1
	Ua	40,7 ± 1,4	30,3 ± 2,1	29,2 ± 1,8	17,6 ± 1,7
Cu	Eu	4,1 ± 0,4	0,99 ± 0,18	0,90 ± 0,11	0,32 ± 0,06
	Ua	4,1 ± 0,3	0,70 ± 0,10	0,79 ± 0,36	0,48 ± 0,11

Таблиця 5. Вміст мікроелементів в основній та нетоварній продукції пшениці озимої європейської та української селекції

Елемент	Селекція	Вміст мікроелементів у продукції, мг/кг			
		зерно		солома	
		2018 р.	2019 р.	2018 р.	2019 р.
Zn	Eu	18,4 ± 1,0	18,4 ± 0,85	2,04 ± 0,20	1,89 ± 0,27
	Ua	19,6 ± 1,1	19,5 ± 0,55	2,13 ± 0,26	2,11 ± 0,35
Co	Eu	0,31 ± 0,09	0,26 ± 0,07	0,43 ± 0,08	0,33 ± 0,05
	Ua	0,21 ± 0,11	0,24 ± 0,05	0,62 ± 0,23	0,27 ± 0,06
Fe	Eu	-	47,9 ± 0,94	59,8 ± 21,2	24,0 ± 2,1
	Ua	-	39,4 ± 1,7	71,7 ± 21,3	24,1 ± 6,4
Mn	Eu	25,4 ± 1,7	23,9 ± 1,4	25,1 ± 2,0	17,1 ± 1,0
	Ua	23,1 ± 1,3	21,7 ± 2,5	17,4 ± 1,5	11,9 ± 1,4
Cu	Eu	2,14 ± 0,12	1,55 ± 0,11	0,39 ± 0,07	0,48 ± 0,19
	Ua	1,57 ± 0,18	1,76 ± 0,20	0,68 ± 0,13	0,40 ± 0,05

Мікроелементний склад основної та нетоварної продукції пшениці більш сталий, ніж протягом вегетації рослин, коли фенотипова мінливість суттєво впливає на динаміку споживання елементів живлення (табл. 5). Разом з тим, порівнюючи сорти вітчизняної та європейської селекції, простежуємо певну закономірність: в обидва роки досліджень протягом вегетації пшениця європейських сортів накопичувала Mn більше за української сорти; і, як наслідок, уміст цього елемента в зерні європейської групи виявився вищим на 2,2–2,3 мг/кг, у солоні – на 5,2–7,7 мг/кг. Натомість пшениця українських сортів від фази цвітіння споживала більше цинку, і вміст цього елемента в зерні української групи був вищим на 1,1–1,2 мг/кг, у солоні – на 0,09–0,22 мг/кг. Різниця за іншими мікроелементами між українськими та європейськими сортами також була достатньо великою в окремі фази розвитку, але не мала такої чіткої динаміки, як для Mn та Zn. Зокрема, накопичення заліза в тканинах озимої пшениці виявилось вищим для європейських сортів на стадії трубкування, а для українських сортів – під час цвітіння.

Обговорення

Результати спостережень за динамікою поглинання елементів живлення рослинами пшениці озимої в основні фази розвитку після відновлення весняної вегетації показують наявність певних відмінностей між сортами української та європей-

ської селекції. Однак за даними, що одержані в процесі вегетації, не можна однозначно стверджувати, що різниця вмісту певного елемента обумовлена більш інтенсивним його поглинанням рослинами певного сорту, оскільки через ростове розбавлення під час нарощування вегетативної маси концентрація змінюється дуже швидко. Особливо наочно різниця в темпах росту проявляється під час виходу рослин у трубку, коли більш висока концентрація азоту в тканинах може свідчити не про високу потребу, а про відставання у рості. Подібний ефект було відзначено в дослідженнях за проектом NEW-CROPS (2014).

Підкреслимо, що за нормальних (не стресових) гідрометеорологічних умов урожайність зерна показує тісну кореляцію з концентрацією азоту в тканинах у фазу трубкування, колосіння та пізніше, коли розпочинається реутилізація азоту (Meng et al., 2013; Kyryziy & Ryzhikova, 2017; Zhang et al., 2020). Gaj (2013) зі співавторами відзначають зв'язок урожайності зерна і накопичення в надземній частині пшениці на початку трубкування низки біогенних елементів (P, Ca, Mg, Zn, Mn), важливих для живлення пшениці. За спостереженнями інших дослідників (Hamner et al., 2017) накопичення P, Mg, Zn, Cu, Mn та B збігається з накопиченням біомаси, тоді як N, K, Ca, S і Fe можуть поглинатися рослинами навіть швидше, ніж зростає біомаса.

Таким чином, хоча елементний склад рослин на ключових етапах розвитку і є діагностичним показником їхнього жив-

лення, використовувати дані тільки за одним з таких етапів ризиковано. Мінливість погодних умов також дуже збільшує ймовірність некоректного висновку щодо потреб рослин в елементах живлення. Відомо, що несприятливі погодні умови істотно порушують споживання елементів живлення, починаючи від самого початку росту рослин, що відображається й на наступних фазах їх розвитку та негативно впливає на врожайність (Brzozowska et al., 2018; Balla et al., 2011; Weih et al., 2016). Унаслідок індивідуальних темпів зростання і розвитку, рослини різних сортів проходять окремі періоди онтогенезу дещо в різні терміни і в неоднакових умовах зовнішнього середовища, що також збільшує варіабельність показників їхнього хімічного складу. Так, у посушливих умовах квітня 2018 р. накопичення фосфору надземною частиною пшениці українських сортів було вищим, а в добре зволоженому травні 2019 р. перевагу мали європейські сорти (табл. 2). Отже, на нашу думку, слід відрізнати особливі потреби рослин, обумовлені генотипом, від тих, що спричинені їхньою реакцією на стресові умови навколишнього середовища на тому чи іншому етапі онтогенезу. Достатньо переконливий висновок щодо особливих потреб будь-якого сорту або групи сортів у певних елементах живлення можна зробити лише тоді, коли ці відмінності зберігатимуться однаково за посухи і за доброго зволоження.

Для розвитку пшениці озимої найважливішими мікроелементами вважаються Cu, Mn, Zn, Fe, які належать до елементів редоксгемостазу та беруть участь у процесах фотосинтезу, дихання, вуглеводному та білковому обміні тощо (Schwartau et al., 2018). Як показують наші дослідження, найбільше відмінностей між окремими сортами виявлено саме щодо їхнього мікроелементного складу. Якщо за критерій прийняти коефіцієнт варіації, то найбільша сортова специфіка вмісту мікроелементів зерна мала місце для Co (51%), а найменша – для Mn. Але одночасно найбільшого споживання всіх мікроелементів (Fe, Mn, Zn, Cu, Co) жоден сорт не мав.

Накопичення мікроелементів за окремими фазами розвитку у 2018 та 2019 роках також виглядає більш строкатим, аніж накопичення NPK, що ми пов'язуємо насамперед із контрастними гідротермічними умовами вегетації у ці роки. Дослідники відзначають, що на постачання ґрунтом Cu та Zn найбільш негативно впливає посуха через зменшення рухомості цих дифузійно обмежених речовин (Rahman et al., 2020). На мобільність та доступність заліза впливає висока вологість ґрунту; марганцю – суха погода, низька температура ґрунту; цинку – низька температура, висока щільність ґрунту, низький вміст органічних речовин; міді – висока температура повітря (Mikhalskaya, & Schwartau, 2012). Можна припустити, що поглинання мікроелементів рослинами пшениці озимої під час вегетації визначається ще більш складною взаємодією чинників навколишнього середовища, ґрунту та рослин, аніж поглинання NPK.

Висновки

За однакових умов забезпеченості ґрунту елементами живлення, накопичення NPK та мікроелементів у надземній частині рослин пшениці озимої після відновлення весняної вегетації визначається погодними умовами та сортовими особливостями живлення. Особливі потреби сортів щодо мінерального живлення можуть бути сталими в часі, а можуть проявлятися тільки за певних гідротермічних умов протягом вегетації.

У погодних умовах 2018–2019 рр. рослини пшениці озимої європейської селекції накопичували в надземній частині, зерні та соломі більше калію й марганцю, але менше цинку, ніж вітчизняні сорти. Вміст азоту в надземній частині рослин від кушання до цвітіння також був переважно вищим у сортів європейської селекції. Накопичення заліза в тканинах озимої пшениці виявилось вищим для європейських сортів на стадії трубкування, а для українських сортів – під час цвітіння.

Подальші дослідження зосереджуватимуться на узагальненні характеристики особливостей мінерального живлення пшениці озимої кожного з досліджуваних сортів.

Висловлюємо щире вдячність авторів за сприяння у проведенні польових досліджень завідувачу лабораторії селекції та фізіології пшениці озимої Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва, доктору сільськогосподарських наук О. Ю. Леоненку та провідному інженеру відділу агрохімії ННЦ "ІА імені О. Н. Соколовського" Л. М. Бурлаковій за допомогу в проведенні аналітичних робіт.

References

- Agren, G. I., & Weih, M. (2012). Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*, 194, 944–952. doi: [10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x)
- Ahrends, H. E., Eugster, W., Gaiser, T., Rueda-Ayala, V., Hüging, H., Ewert, F., & Siebert, S. (2018). Genetic yield gains of winter wheat in Germany over 100 years (1895–2007) under contrasting fertilizer applications. *Environmental Research Letters*, 13, 104003. doi: [10.1088/1748-9326/aade12](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aade12)
- Balla, K., Rakszegi, M., Li, Z., Bekes, S., Bencze, S., & Veisz O. (2011). Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech J. Food Sci.*, 29(2), 117–128.
- Brzozowska, I., Brzozowski, J., & Cymes, I. (2018). Effect of weather conditions on spring triticale yield and content of macroelements in grain. *J. Elem.*, 23(4), 1387–1397. doi: [10.5601/jelem.2018.23.1.1589](https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.1.1589)
- Cormier, F., Foulkes, J., Hirel, B., Moenne-Loccoz, Y., & Le Gouis, J. (2016) Breeding for increased nitrogen-use efficiency: a review for wheat (*T. aestivum* L.). *Plant Breeding*, 135(3), 255–278. doi: [10.1111/pbr.12371](https://doi.org/10.1111/pbr.12371)
- Cormier, F., Faure, S., Dubreuil, P., Heumez, E., Beauchene, K., Lafarge, S., Praud, S., & Le Gouis, J. (2013). A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 126(12), 3035–3048. doi: [10.1007/s00122-013-2191-9](https://doi.org/10.1007/s00122-013-2191-9)
- DSTU 7670. (2015). Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements [Effective from 01.07.2015]. Kyiv (in Ukrainian).
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. (2020). The State of Food Security and Nutrition in the World. Transforming food systems to ensure the financial inclusion of healthy diets. FAO, Rome (in Russian). doi: [10.4060/ca9692ru](https://doi.org/10.4060/ca9692ru)
- Fedoruk, P. S., Fedoruk, S. P., & Mirenkov, S. N. (1999). Problems and prospects of food production for the population of the planet. Collection of scientific papers KNIISH named after P. P. Lukyanenko, 3–15 (in Russian).
- Gaj, R., Górski, D., & Przybył, J. (2013). The effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *Journal of Elementology*, 18(1), 55–67. doi: [10.5601/jelem.18.1.04](https://doi.org/10.5601/jelem.18.1.04)
- Garvin, D. F., Welch, R. M., & Finley, J. W. (2006). Historical shift in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2213–2220. doi: [10.1002/jsfa.2601](https://doi.org/10.1002/jsfa.2601)
- Górny, A. G., Banaszak, Z., Ługowska, B., & Ratajczak, D. (2011). Inheritance of the efficiency of nitrogen uptake and utilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse nutrition levels. *Euphytica*, 177. doi: [10.1007/s10681-010-0230-z](https://doi.org/10.1007/s10681-010-0230-z)
- Gospodarenko, G. M. (2010). Agrochemistry. NSC "IAE", Kyiv (in Ukrainian).
- GOST 26929–86 (1986). Raw materials and food products. Preparation of samples. mineralization for the determination of toxic elements [valid from 25.06.1986] SRSP (in Russian).
- Hamner, K., Weih, M., Eriksson, J., & Kirchmann, H. (2017). Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumula-

- tion during growth of winter wheat. *Field Crops Research*, 213, 118–129. doi: [10.1016/j.fcr.2017.08.002](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.002)
- Hawkesford, M. J., & Riche, A. B. (2020). Impacts of G×E×M on Nitrogen Use Efficiency in Wheat and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1157. doi: [10.3389/fpls.2020.01157](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01157)
- Kirichenko, V. (2009). Climate change and vitality the productivity of Polish cultures in the minds of the common part of Listep of Ukraine Agrotechnology of Polish cultures: Collection of Science Practitioners Institute of Growth, 6–21 (in Ukrainian).
- Klimashevsky, E. L. (1991). The genetic aspect of the mineral nutrition of plants. *Agropromizdat*, Moscow (in Russian).
- Kolyuchiy, V. T., Vlasenko, V. A., & Borsuk, G. Y. (2007). Selection, development and technology of growing grain crops at Lisostep of Ukraine. *Agrarian science*, Kyiv (in Ukrainian).
- Kramarov, S. M., Zhemela, G. P., & Shakaliy, S. M. (2014). The productivity and quality of grain of wheat of myakoi winter is fallow as a mineral livelihood in the minds of Livoberezhny Lisostep of Ukraine. *Bulletin to the Institute of the agriculture steppe zone NAAS of Ukraine*, 6, 61–67 (in Ukrainian).
- Krivenko, A. I., & Burikina, S. I. (2018). The productivity and quality of winter wheat 11 for a well-prepared victorian is kind. *Taurian Science Newsletter*, 101, 63–75 (in Ukrainian).
- Kyryziy, D. A., & Ryzhikova, P. L. (2017). Varietal features of nitrogen reutilization from vegetative parts of wheat shoot at different levels of mineral nutrition. *Plant physiology and genetics*, 49(1), 15–24 (in Ukrainian).
- Meng, Q., Yue, S., Chen, X., Cui, Z., Ye, Y., Ma, W., Tong, Y., & Zhang, F. (2013). Understanding Dry Matter and Nitrogen Accumulation with Time-Course for High-Yielding Wheat Production in China. *PLoS ONE*, 8(7), e68783. doi: [10.1371/journal.pone.0068783](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068783)
- Mikhalskaya, L. M., & Schwartz, V. V. (2012). Influence of Derby and Axial herbicides on the accumulation of nutrients by winter wheat plants. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 20(2), 38–4 (in Ukrainian).
- Miroshnychenko, M. M., & Fateev, A. I. (2008). Agrogeochemistry of microelements in soils of Ukraine. *Agrochemistry and soil science. Special issue for the VIII Congress of UTGA*. Book, 1, 98–107 (in Ukrainian).
- Morgun, V. V., Sanin, Y. V., & Shvartau, V. V. (2007). 100 centners club. Sorts of winter wheat to the Institute of Plant physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the system for the acquisition of the company “Syngenta”. Logos, Kyiv (in Ukrainian).
- Morgun, V. V., Shvartau, V. V., & Kirizi, D. A. (2010). Physiological basis for the formation of high productivity of cereals. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 42(5), 371–392 (in Russian).
- Murphy, K. M., Campbell, K. G., Lyon, S. R., & Jones, S. S. (2007). Evidence of varietal adaptation to organic farming systems. *Field Crops Research*, 102, 172–177. doi: [10.1016/j.fcr.2007.03.011](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.011)
- MVV 31–497058–019–2005 Plants. (2005). Determination of general forms of nitrogen, phosphorus, potassium in one sample of plant material: *Methods for determining the composition and properties of soils*, 2, 189–208 (in Ukrainian).
- Nazarenko, M., Mykolenko, S., & Okhmat, P. (2020). Variation in grain productivity and quality of modern winter wheat varieties in northern Ukrainian Steppe. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), 102–108. doi: [10.15421/2020_175](https://doi.org/10.15421/2020_175)
- Nazarenko, M., Solohub, I., & Izhboldin, O. (2019). Winter wheat variability according to local conditions. *Acta agriculturae Slovenica*, 114/1, 113–120. doi: [10.14720/aas.2019.114.1.13](https://doi.org/10.14720/aas.2019.114.1.13)
- NUE-CROPS. (2014). Improving nutrient efficiency in major European food, feed and biofuel crops to reduce the negative environmental impact of crop production. Final Report July 2014. Retrieved from <https://cordis.europa.eu/docs/results/222/222645/final1-nue-crops-core-final-report.pdf>
- Omara, P., Aula, L., Oyebiyi, F., & Raun, W. R. (2019). World Cereals Nitrogen Use Efficiency Trends: Review and Current Knowledge. *Agrosystems, Geoscience & Environment*. 2:80045, 1–8. doi: [10.2134/age2018.10.0045](https://doi.org/10.2134/age2018.10.0045)
- Rahman, M. N., Hang, R., & Schoenau, J. (2020). Influence of soil temperature and moisture on micronutrient supply, plant uptake, and biomass yield of wheat, pea, and canola. *Journal of Plant Nutrition*, 43(6), 823–833. doi: [10.1080/01904167.2020.1711941](https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711941)
- Schwartz, V. V., Mikhalskaya, L. M., & Makoveichuk, T. I. (2018). The content of microelements in winter wheat plants under the action of retardants. *Plant physiology and genetics*, 50(6), 474–483 (in Ukrainian). doi: [10.15407/irg2018.06.474](https://doi.org/10.15407/irg2018.06.474)
- Svečnjak, Z., Jenel M., Bujan, M., Vitali, D., & Dragojevic, I. V. (2013). Trace element concentration in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. *Agricultural and Food Science*, 22, 445–451.
- Vozhegova, R. A., & Dimov, O. M. (2016). The use of fertilizers as a guarantee of maintaining soil fertility and sustainable development of agricultural production. *Taurian Scientific Bulletin*, 96, 21–31 (in Ukrainian).
- Weih, M., Pourazari, F., & Vico, G. (2016). Nutrient stoichiometry in winter wheat: Element concentration pattern reflects developmental stage and weather. *Scientific reports*, 6:35958. doi: [10.1038/srep35958](https://doi.org/10.1038/srep35958)
- Yatsuk, I. P., & Balyuk, S. A. (2019). Methods of agrochemical certification of agricultural lands: guiding normative document. Kyiv (in Ukrainian).
- Zhang, L., He, X., Liang, W., Zou, C., & Chen, X. (2020). Tillers development affected by nitrogen fertilization in a high-yielding wheat production system. *Crop Science*, 60(2), 1034–1047. doi: [10.1002/csc2.20140](https://doi.org/10.1002/csc2.20140)