

АКУМУЛЯЦІЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ РОСЛИНАМИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО У ЗОНІ СТЕПУ УКРАЇНИ

В. І. Чабан, С. П. Клявзо, О. Ю. Подобед, кандидати сільськогосподарських наук
ДУ Інститут зернових культур НААН України

Узагальнено багаторічні дані мікроелементного складу основної і побічної продукції ячменю ярого в зоні Степу України. Встановлено високу варіабельність вмісту Mn, Cd ($V = 37-63\%$). Вміст Co характеризувався відносною стабільністю ($V = 22\%$). Виявлено, що дія об'єктивних факторів обмежує акумулювання рослинами окремих елементів. Відзначена більша залежність мікроелементного складу соломи від факторів навколишнього середовища порівняно із зерном. Коефіцієнти біологічного поглинання (КБП) підтверджують високу потребу культури в Zn і Cu. Запропоновано шкалу градації вмісту мікроелементів у зерні з урахуванням регіональних особливостей.

Ключові слова: ячмінь ярий, мікроелементи, акумуляція, варіабельність, градації вмісту.

Ячмінь ярий належить до найбільш поширених у світі зернових культур. В Україні він також займає вагому частку у зерновому балансі [1, 2]. Зерно ячменю відзначається високими технологічними якостями і широко використовується у харчовій та переробній промисловості, до того ж є цінним компонентом при виробництві кормів для сільськогосподарських тварин і птиці.

Традиційно комплексне поняття якості продукції рослинництва включає показники вмісту поживно-цінних органічних сполук – білків, жирів, вуглеводів, а також технологічні властивості. Поряд з цим вміст мікроелементів (МЕ) є важливою складовою якості продукції, бо свідчить про її збалансованість за мінеральним складом, а отже, про цінність виробів із зерна як джерела МЕ в продуктах харчування і кормах для худоби. Однак за надмірної їх кількості можливе порушення обміну речовин. Так, цинк і мідь є необхідними для всіх живих організмів, але проявляють токсичний ефект за накопичення у підвищених концентраціях. Свинець і кадмій вважають умовно необхідними для рослин і небезпечними для здоров'я людини навіть за відносно низьких концентрацій. Тому вміст Zn, Cu, Pb і Cd суворо регламентується нормативними документами.

Впровадження у сільськогосподарське виробництво сучасних технологій вирощування, комплексне застосування засобів хімізації, районування нових високоврожайних сортів інтенсивного типу вимагає створення умов для забезпечення належного рівня мінерального живлення, у тому числі і мікроелементного, розробки надійних методів його діагностування, а також уточнення й розширення диференційованих показників для оцінки якості продукції.

Важлива біологічна роль МЕ та обмеженість даних щодо їх вмісту в основній і побічній продукції ячменю ярого стали підставою для узагальнення багаторічного експериментального матеріалу. Виходячи з вищевказаного, мета дослідження – з'ясувати параметри акумуляції мікроелементів рослинами ячменю ярого в умовах північного Степу України.

Для оцінки потенційних можливостей культури накопичувати МЕ та визначення їх коливання в основній і побічній продукції використовували результати досліджень у стаціонарних дослідах лабораторій родючості ґрунтів, сівозмін та природоохоронних систем обробітку ґрунту. Дослідження проводились у різних ґрунтово-кліматичних точках степової зони. Вміст мікроелементів у рослинних зразках визначали в зольному залишку після сухої мінералізації [3] атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С-115М1 [4]. За допомогою прикладних програм математичної статистики в складі Excel 1998 та Statistica (version 6) розраховували статистичні характеристики вмісту МЕ: середнє арифметичне (\bar{x}); мода (M_0); межі коливань – мінімум і максимум (min-max); середньоквадратичне відхилення (S); коефіцієнт варіації (V); коефіцієнти асиметрії й ексцесу (A_s, E_x).

Рівень вмісту МЕ в рослинах і їх варіабельність в основному визначаються генотипом культур, станом розвитку, екологічними і антропогенними факторами [5].

Обробка багаторічних аналітичних даних в просторі (степова зона) й часі (об'єм

вибірки 25 років) вмісту МЕ в зерні та соломі ячменю ярого уможливили встановити основні статистичні характеристики. У зв'язку з різною фізіологічною значимістю елементів та відповідно вибірковою поглинання з ґрунту їх вміст у зерні істотно різнився. Середні значення концентрації елементів становили: Zn – 25,4; Mn – 9,92; Cu – 4,14; Co – 0,35; Ni – 0,87; Pb – 0,46; Cd – 0,029 мг/кг (табл. 1). Встановлені межі природного варіювання вмісту МЕ в зерні ячменю відповідали наведеним у літературі даним [5, 6]. За кількісною характеристикою мікроелементний склад зерна можна представити у вигляді наступного ряду: Zn > Mn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd. У цілому значення є характерними для даної культури і їх можна вважати фоновими для зони Степу України.

1. Статистичні характеристики вмісту мікроелементів у зерні ячменю ярого

Елемент	n	\bar{x} , мг/кг	Mo, мг/кг	S, мг/кг	lim, мг/кг	A _s	E _x	V, %
Zn	149	25,4	22,2	7,13	15,6–55,6	1,48	2,79	28
Mn	150	9,92	12,9	3,67	4,22–18,7	0,16	-0,89	37
Cu	153	4,14	4,58	1,25	1,88–7,20	0,27	-0,63	30
Co	140	0,35	0,32	0,08	0,17–0,58	0,26	0,36	22
Ni	131	0,87	0,72	0,27	0,44–1,94	1,07	1,26	31
Pb	152	0,46	0,40	0,14	0,15–0,82	0,33	-0,12	30
Cd	131	0,029	0,030	0,018	0,005–0,086	1,39	1,50	63

Мінімальний і максимальний вміст елементів у зерні характеризує потенційні можливості коливання, а розраховані коефіцієнти варіації та середньоквадратичне відхилення дають уявлення щодо мінливості їхніх середніх значень. За науковими даними [7], якщо ступінь варіювання ознак менше 10 %, то варіабельність відповідно до середньої арифметичної вважається слабкою, при 10–30 % – середньою, 30–60 % – високою, 60–100 % дуже високою, більше 100 % – аномальною. Вміст Zn, Cu, Co, Pb в зерні ячменю ярого варіював у межах 22–30 %, що характеризується як середня мінливість, Mn та Ni – висока (37 та 31 %). Встановлено значне варіювання вмісту Cd (63 %), для якого різниця між граничними (min-max) значеннями вмісту досягає 17 разів. Можливо, однією з причин високої варіабельності елементу є хімічні особливості Cd, пов'язані з безбар'єрним проникненням через кореневу систему до організму рослин і можливістю накопичуватися в основній продукції.

Підтвердження відповідного положення отримано і шляхом аналізу «змішаних» емпіричних варіаційних рядів вмісту елементів в зерні ячменю. За критерієм A_s і E_x, математично достовірно доведено наявність трьох законів розподілу: для Co – нормальний розподіл Гауса; для Zn, Ni, Cd – асиметричний (позитивний) розподіл Максвелла; для Mn, Cu, Pb – наявність декількох піків на кривій з від'ємним ексцесом. Вміст Co в зерні ячменю підпорядковується закону нормального розподілу та носить симетричний характер. Це означає, що змінам вмісту Co властивий випадковий характер. Наявність значної позитивної асиметрії свідчить про зміщення вмісту Zn, Ni, Cd у бік менших значень, що є ознакою впливу об'єктивних факторів, які обмежують їх надходження до зерна. Аналіз емпіричних кривих розподілу Mn, Cu і Pb в зерні показав, що існує два максимуму найбільш вірогідних значень цих елементів: для марганцю – 6,2 та 13,5; міді – 2,8 і 4,5; свинцю – 0,4 та 0,5 мг/кг.

Показники вмісту МЕ в побічній продукції ячменю ярого відповідали градації концентрацій, характерних культурі (табл. 2). Мікроелементний склад соломи має певні відмінності порівняно з зерном, а саме: значно менший (майже в 5 разів) вміст Zn; кількість Mn та Cu залишається на рівні зерна; Co, Ni, Pb, Cd значною мірою акумулюється побічною продукцією (табл. 2). Середній рівень накопичення елементів у соломі ячменю убуває в ряду: Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd.

Статистичний аналіз аналітичних даних свідчить про велику мінливість показників вмісту елементів, що підтверджують високі коефіцієнти варіації (40–64 %). Найбільшою варіабельністю відзначався Cu – його кількість у побічній продукції змінювалась від 0,30 до

5,55 мг/кг, або в 18,5 раза ($V = 64 \%$). Співставлення вмісту Mn, Zn, Cu, Co в соломі ячменю, який вирощувався в умовах північного Степу України, з аналогічними даними, отриманими в Лісостеповій зоні [8] свідчить, що середні концентрації Mn, Zn були в 2–3 рази нижчі, а Cu і Co в 2–5 разів вищі. Отже, мікроелементний склад соломи ячменю більшою мірою, ніж зерно, залежить від факторів навколишнього середовища.

2. Статистичні характеристики вмісту мікроелементів у соломі ячменю ярого

Елемент	n	\bar{x} , мг/кг	Mo, мг/кг	S, мг/кг	lim, мг/кг	A _s	E _x	V, %
Zn	149	5,17	7,72	2,04	1,17–10,0	0,06	-0,46	40
Mn	150	9,35	10,1	5,53	2,04–24,4	1,24	0,91	59
Cu	153	1,61	1,22	1,03	0,30–5,55	1,75	4,28	64
Co	140	0,65	0,62	0,32	0,17–1,56	0,99	0,80	49
Ni	131	1,42	1,14	0,70	0,50–3,93	1,75	4,17	49
Pb	152	0,83	1,12	0,38	0,20–1,56	0,08	-0,98	46
Cd	131	0,039	0,054	0,015	0,014–0,080	0,76	0,51	38

Інтенсивність надходження МЕ в рослини із ґрунту оцінювали на підставі коефіцієнта біологічного поглинання (КБП), який являє собою співвідношення між вмістом елемента в золі рослини до його вмісту у ґрунті. Використовуючи інформаційну базу даних мікроелементного складу рослин ячменю ярого степової зони нами були проведені відповідні розрахунки (табл. 3). КБП є інтегральною оцінкою, яка характеризує вибірккову здатність рослин до поглинання і деякою мірою відображає загальну потребу біологічного організму в тому чи іншому елементі. Розрахунки свідчать, що культура найбільш інтенсивно поглинала з ґрунту цинк і мідь (КБП > 3). Дещо менше акумулювались кобальт, нікель та свинець (КБП > 1) і найменше (КБП < 1) марганець. Отримані коефіцієнти для зерна утворюють такий ряд: Zn > Cu > Cd > Co > Ni > Pb > Mn.

3. Коефіцієнти біологічного поглинання мікроелементів рослинами ячменю ярого

Продукція	Zn	Mn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Зерно	21,3	0,95	10,5	1,54	1,51	1,36	4,86
Солома	1,82	0,36	1,71	1,20	1,03	1,02	2,73

Для соломи значення КБП практично для всіх елементів наближаються до рівня захвату (0,36–2,73) і розташовуються наступним чином: Cd > Zn > Cu > Co > Ni > Pb > Mn.

Високі значення КБП для цинку і міді в основній і побічній продукції вказують на високу потребу рослин саме в цих біогенних елементах, тим самим підтверджуючи важливу їх роль у формуванні генеративних і вегетативних органів, а отже, доводять необхідність достатньої забезпеченості ними живильного середовища.

Відомо, що акумулювання елементів рослинами піддається впливу численних взаємозалежних факторів, що ускладнює оцінку збалансованості живлення культури. Тому ми на основі методів статистичного аналізу та просторової інтерпретації отриманих результатів спробували побудувати шкалу градації вмісту мікроелементів у зерні ячменю з урахуванням регіональних особливостей (табл. 4).

Розрахунок узагальнюючих числових характеристик (середнє, дисперсія та ін.) варіаційних рядів вмісту МЕ в зерні ячменю можливий при заміні інтервальних рядів безінтервальними. Обчислення серединних (центральных) значень для кожного класу має вигляд варіаційного ряду і дає можливість розрахувати математично достовірні рівні вмісту мікроелементів в основній продукції, використовуючи такий статистичний показник, як 95 % довірчий інтервал центральных (серединних) значень кожного класу. Він уможливує статистично достовірно виділити три рівня забезпеченості зерна МЕ. Середній – охоплює усі значення, які з вірогідністю 95 % перебувають в межах довір-

чого інтервалу: $\bar{x} \pm 1,96 \times S \bar{x}$; низький – значення, які менші за $\bar{x} - 1,96 \times S \bar{x}$; високий – значення вищі за $\bar{x} + 1,96 \times S \bar{x}$ (де \bar{x} – середнє з центральних значень кожного класу, $S \bar{x}$ – помилка середньої, $t = 1,96$ – нормоване відхилення при вірогідності $P = 95 \%$).

4. Параметри вмісту мікроелементів в зерні ячменю ярого, мг/кг с. р.

Параметр	Zn	Mn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низький	13,2–26,4	3,3–8,2	1,56–3,32	0,14–0,28	0,35–0,87	0,11–0,33	0,005–0,032
Середній	26,5–43,9	8,3–14,6	3,33–5,64	0,29–0,46	0,88–1,57	0,34–0,61	0,033–0,068
Високий	44,0–57,3	14,7–19,5	5,65–7,41	0,47–0,60	1,58–2,10	0,62–0,83	0,069–0,096

Отримані параметри вмісту МЕ у зерні ячменю ярого можуть слугувати основою для діагностики мікроелементного живлення культури, оцінки харчової цінності продукції за мікроелементним складом, а також контролювання концентрації токсичних елементів. У зв'язку з цим вважаємо доцільним розширення диференційованих показників для оцінки якості сільськогосподарської продукції.

Таким чином, незважаючи на те, що вміст мікроелементів в зерні ячменю ярого генетично зумовлений і є стабільним за елементним складом, сукупна дія факторів (грунтови, кліматичні умови тощо) значною мірою впливає на мікроелементний склад культури в степовій зоні України. Встановлено високу варіабельність вмісту Mn, Ni, Cd ($V = 31–63 \%$). Вміст Co відзначався відносною стабільністю. Максимальні значення КБП у зерні і солоні ячменю відмічено для Zn (21,3 і 1,82) та Cu (10,5 і 1,71). Довірчий інтервал центральних значень дав можливість статистично достовірно виокремити низький, середній та високий вміст мікроелементів у зерні ячменю.

Бібліографічний список

1. Храмцов Л. И. Ландшафтное растениеводство: [моногр.] / Л. И. Храмцов, В. Л. Храмцов. – Днепропетровск: Пороги, 2007. – 372 с.
2. Економіка виробництва зерна (з основами організації і технології виробництва): [моногр.] / [В. І. Бойко, Є. М. Лебідь, В. С. Рибка та ін.]; за ред. В. І. Бойка. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 400 с.
3. Сировина і продукти харчові. Готування проб. Мінералізація для визначення вмісту токсичних елементів: ДСТУ 7670:2014. – [Чинний від 2015-07-01]. – К: Мінекономрозвитку України, 2015. – 18 с. – (Нац. стандарт України).
4. Методи аналізів ґрунтів і рослин [метод. посіб.] / За ред. С. Ю. Булигін, С. А. Балюк, А. Д. Міхновська [та ін.]. – Х., 1999. – 157 с. – (Кн. 1).
5. Вариабельность микроэлементного состава зерна основных злаковых культур и факторы ее определяющие / Б. А. Ягодин, С. П. Торшин, Н. Л. Кокурин, Н. А. Савидов // Агрехимия. – 1989. – № 3. – С. 125–133.
6. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. Д. В. Гричука, Е. П. Янина. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
7. Чертко Н. К. Математические методы в землеустройстве [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / Н. К. Чертко; Белорусский гос. ун-т. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://www.elib.bsu.by/bistream.Chertko2.pdf>.
8. Довідник поживності кормів / [авт.-уклад. Карпусь М М., Карпович С. І. Малієнко А. В. та ін.]. – К.: Урожай, 1988. – 399 с.