

ВМІСТ ТА РОЗПОДІЛ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В РОСЛИНАХ КУКУРУДЗИ В ЗОНІ СТЕПУ УКРАЇНИ

В. І. Чабан, С. П. Клявзо, кандидати сільськогосподарських наук;

О. Ю. Подобед

Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Узагальнено результати вивчення мікроелементного складу рослин кукурудзи в зоні Степу України. Встановлені середні значення вмісту мікроелементів в зерні та листостебловій масі кукурудзи. Максимальне значення коефіцієнта біологічного поглинання для Zn становить 30,5, а Cu – 11,1. Аналіз емпіричних кривих свідчить, що рослини кукурудзи під дією певних факторів не в змозі повною мірою реалізувати свої потенційні можливості щодо накопичення більшості мікроелементів.

Ключові слова: кукурудза, мікроелементи, вміст, варіабельність.

Останніми роками значення кукурудзи як зернової культури помітно зростає, про що свідчить збільшення площ її посіву за 2000–2010 рр. в 2,1 раза (з 1,278 до 2,648 млн га), середньої урожайності – в 1,5 раза (з 3,01 до 4,51 т/га), валового збору зерна – в 3,1 раза (з 3,85 до 11,95 млн т) [1]. Однак поряд з підвищенням урожайності велика увага повинна приділятися отриманню біологічно повноцінної продукції, що відповідає оціночним показникам [2, 3]. Одним з них є хімічний склад рослин, у тому числі й мікроелементний.

Специфічність накопичення рослинами мікроелементів (МЕ) сьогодні вивчена досить добре, але в сучасних умовах під впливом різних факторів (кліматичних, генетичних, антро-погенних та ін.) філогенетично закріплений для кожної культури діапазон поглинання хімічних елементів активно змінюється. Літературні джерела свідчать про суперечливість даних щодо вмісту та розподілу МЕ між товарною та нетоварною частинами врожаю зернових культур. Існує багато прикладів лабільності їх концентрацій в основній продукції рослин. У ряді випадків розходження за вмістом елементів в генеративних органах культур становлять десятки і навіть сотні разів, що свідчить про умовність поняття сталості елементного складу зерна [4, 5, 6].

В зв'язку з тим, що ґрунтові і кліматичні умови значною мірою впливають на показники біологічної цінності харчових і кормових продуктів, мета досліджень – оцінити мікроелементний склад та з'ясувати особливості розподілу мікроелементів в рослинах кукурудзи в умовах степової зони України. Це дасть можливість визначити константні та змінні величини, варіабельність вмісту елементів в зерні і листостебловій масі та спрямованість цього процесу. На підставі отриманих даних можливо діагностувати стан системи «ґрунт – рослина» і встановлювати екологічну чистоту врожаю.

Вміст Mn, Zn, Fe, Cu, Co, Ni, Pb і Cd в зерні та листостебловій масі кукурудзи визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115М1 з атомізацією в повітряно-ацетиленовому полум'ї. Експериментальні дані обробляли за допомогою прикладних програм математичної статистики в складі Excel 1998 та Statistica (version 6). Статистичній обробці піддавали масив аналітичних даних мікроелементного складу рослин кукурудзи, отриманих за останні 25 років в стаціонарних дослідках Інституту сільського господарства степової зони, які охоплюють найбільш поширені ґрунтові відміни та відображають кліматичні особливості північного Степу.

Результати обробки дають можливість розрахувати чисельні характеристики варіаційних рядів вмісту МЕ в зерні та листостебловій масі кукурудзи і встановити їх середні показники. Середні значення концентрації МЕ в зерні становлять: Zn – 17,7; Mn – 3,85; Cu – 2,15; Co – 0,30; Ni – 0,82; Fe – 32,4; Cr – 0,49; Pb – 0,39; Cd – 0,017 мг/кг сухої речовини (табл. 1). Розподіл МЕ в зерні кукурудзи наступний: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Cd. Високими значеннями характеризувалися такі елементи, як Fe – близько 50 %,

Zn – 30 %, Cu і Mn – 4–7 %, а решта елементів (Ni, Cr, Pb, Co, Cd) не перевищувала 1 %. Під-вищена концентрація в зерні Fe, Zn, Mn і Cu пов'язана з їхньою участю в синтезі білків, хлорофілу та вітамінів. Розраховані коефіцієнти варіації та помилка середньої величини дають уявлення про коливання значень елементного складу зерна кукурудзи. Так, відмічається висока варіабельність показників більшості елементів (Mn, Cu, Co, Fe, Pb, Cd), коефіцієнти варіації яких коливаються в межах 29,8–48,1 %. Найменше варіював вміст Zn ($V = 15,5\%$), а найбільше – Cd. Розходження між мінімальним і максимальним значеннями елементів у зерні досягали 2–10 разів.

1. Вміст мікроелементів в зерні та листостебловій масі кукурудзи, мг/кг с. р.*

Елемент	n*	\bar{x} **	lim***	V ****, %	\bar{x}	lim	V, %
		зерно			листочестеблова маса		
Zn	218	17,7	10,4–25,8	15,5	12,4	3,69–36,5	51,6
Mn	243	3,85	1,27–9,80	44,6	25,7	3,30–76,1	57,1
Cu	243	2,15	0,60–5,71	44,9	3,52	1,02–10,6	57,2
Co	231	0,30	0,15–0,72	34,2	0,79	0,30–1,66	37,6
Ni	214	0,82	0,42–1,86	29,8	1,46	0,64–3,88	44,4
Fe	63	32,4	18,4–60,0	30,7	101	44,8–159	31,8
Pb	220	0,39	0,14–0,80	39,0	1,12	0,25–2,83	50,0
Cd	156	0,017	0,006–0,068	48,1	0,073	0,012–0,317	92,6
Cr	68	0,49	0,22–0,89	31,9	1,94	0,40–7,75	92,3

* n – об'єм вибірки, ** \bar{x} – середній вміст,
 lim – границя коливань (min–max), * V – коефіцієнт варіації.

Вміст МЕ в листостебловій масі кукурудзи відзначався більшими коливаннями порівняно з зерном і характеризувався середніми значеннями: Zn – 12,4; Mn – 25,7; Cu – 3,52; Co – 0,79; Fe – 101; Cr – 1,94; Ni – 1,46; Pb – 1,12; Cd – 0,073 мг/кг сухої речовини. Для побічної продукції розподіл елементів дещо інший: Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Co > Cd. У листостебловій масі, на відміну від зерна, міститься значно більше Mn, а його частка від загальної суми мікроелементів, прийнятої за 100 %, становить 17 %, кількість Zn та Cu залишається на рівні зерна, а токсичні елементи (Pb, Cd, Ni, Cr) переважно накопичуються в побічній продукції. Але найвищі значення відмічені для Fe (66 %) – цей елемент накопичується у великій кількості як у зерні, так і у вегетативній масі кукурудзи. Статистичний аналіз даних МЕ складу побічної продукції показав значно більшу мінливість показників вмісту елементів, про що свідчать високі коефіцієнти варіації ($V = 31,8–92,6\%$). Різниця між мінімальним і максимальним вмістом елементів у вегетативній масі досягає 4–25 разів.

Отже, показники вмісту, а також коефіцієнти варіації свідчать про значну мінливість елементного складу як зерна, так і листостеблової маси кукурудзи, що є насамперед наслідком сукупної дії різноманітних факторів (властивості ґрунту, мінливість клімату, добрива, сортові ознаки) у кожному конкретному випадку.

Як відомо, рослини здатні вибірково поглинати і накопичувати елементи, необхідні для свого росту та розвитку. В зв'язку з цим у рослинах дещо інше співвідношення МЕ порівняно з ґрунтами. Для оцінки інтенсивності надходження мікроелементів в рослини кукурудзи були розраховані коефіцієнти біологічного їх поглинання (КБП) для умов степової зо-ни. Величини КБП дещо різняться для зерна та листостеблової маси, що може свідчити про наявність певного бар'єру між вегетативними і генеративними органами, практично для всіх елементів, крім Mn (табл. 2). Характерною особливістю культури є інтенсивне поглинання з ґрунту Zn, Cu та Cd, що підтверджують найвищі значення КБП (> 3), дещо менші показники для Pb, Co, Ni (> 1) і найнижчі (< 1) – для Fe та Mn. Високі показники КБП для цинку і міді, навіть за дуже низької концентрації цих елементів у ґрунті, вказують на їхню високу біологічну активність та важливе

фізіологічне значення для рослин кукурудзи.

2. Коефіцієнти біологічного поглинання мікроелементів рослинами кукурудзи

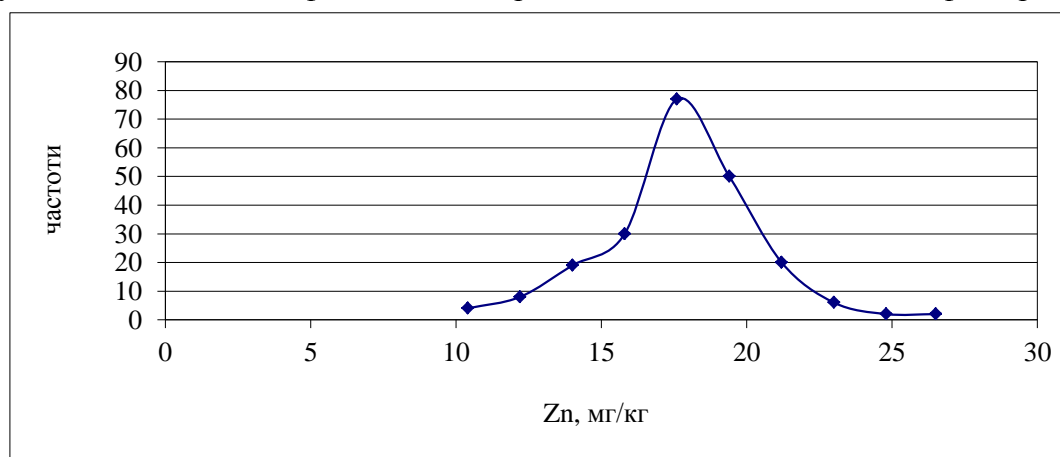
Продукція	Zn	Mn	Cu	Co	Ni	Fe	Pb	Cd
Зерно	30,5	0,73	11,1	2,70	2,90	0,12	2,36	5,69
Листостеблова маса	4,79	1,09	4,10	1,60	1,16	0,08	1,52	5,62

Важливу інформацію при аналізі варіаційних рядів можна одержати шляхом побудови емпіричних кривих розподілу частоти стрічання мікроелементів в просторі (зона Степу) і часі (25-річні дані). Емпіричні криві, на прикладі розподілу Zn, Mn, Cu та Pb в зерні кукурудзи, наведені на рисунках 1–4.

Рис. 1. Емпірична крива розподілу вмісту Zn в зерні кукурудзи.

Так, розподіл вмісту Zn носить симетричний характер (з вірогідністю 99 %) і свідчить, що фактор ґрунтово-кліматичних умов не має достовірного впливу на його значення. Тим- часом статистичний аналіз вмісту Mn, Cu, Co, Ni, Fe, Pb та Cd в зерні кукурудзи підтвердив припущення про невідповідність розподілів експериментальних даних моделі нормального розподілу, тобто тут має місце «змішаний» тип варіювання. Ці сукупності неоднорідні і можуть складатися з декількох нормальних сукупностей. Гіпотезу про закон розподілу можливо перевірити за значеннями коефіцієнтів асиметрії (As) і ексцесу (Ex) та на підставі статистичних таблиць. Для цих елементів характерна явно виражена права асиметрія і різноспрямований ексцес. Таке «змішане» варіювання в часі та просторі не піддається попередньому обліку і переважає в досліджених нами об'єктах. Тому для кожного елемента доцільно проводити аналіз емпіричних кривих. Згідно з літературними даними, з математичної точки зору варіаційні криві «змішаного» варіювання відрізняються від нормальної кривої розподілу Гаусса і можливий їх поділ на декілька кривих з різною асиметрією.

Емпірична крива розподілу Mn у зерні кукурудзи характеризується асиметричністю. Графічно асиметрія має вигляд скошеної варіаційної кривої зі зміщенням піку ліворуч від центру розподілу (позитивна асиметрія). Коефіцієнт ексцесу ($Ex = 1,21$) вищий критичного значення (0,826) при рівні значимості $\alpha = 0,01$. Отримані величини As і Ex свідчать, що даний розподіл має правобічну асиметрію і помітно виражений ексцес (рис. 2). Середня арифметична величина (мода) для марганцю становить 3,85 мг/кг, однак найчастіше – 3,19 мг/кг, отже, на даній емпіричній кривій значення Mn у зерні зміщені у бік зменшення. Цей факт свідчить про наявність більшої кількості факторів, які



обмежують надходження Mn в зерно.

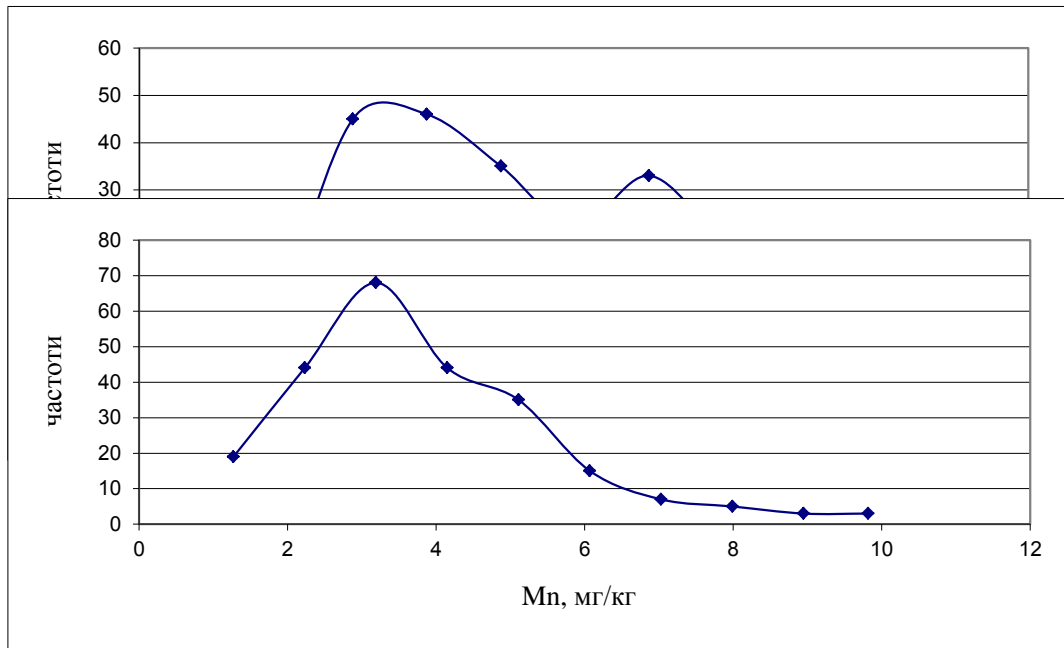
Рис 2. Емпірична крива розподілу вмісту Mn в зерні кукурудзи.

Емпірична крива розподілу Cu у зерні кукурудзи також має позитивну асиметрію і негативний ексцес – два піки, або складається з двох нормальних розподілів (рис. 3). Це можна пояснити суттєвими відмінностями кліматичних умов, що впливають на доступність рослинам міді, або генетичною різноманітністю гібридів кукурудзи, що також змінює елементний склад зерна. На емпіричній кривій для Co досить явно видно позитивну асиметрію

Рис. 3. Емпірична крива розподілу вмісту Si в зерні кукурудзи.

($As = 0,90$). Отже, крива зміщена у бік зменшення значень вмісту Co у зерні, що може бути наслідком зниження його доступності у ґрунті. В той же час в проаналізованому ряді слабо виражений позитивний ексцес ($Ex = 0,29$) при Ex критичному 0,823. При такому значенні асиметрії розподіл не підпорядковується закону нормального розподілу з імовірністю 99 %.

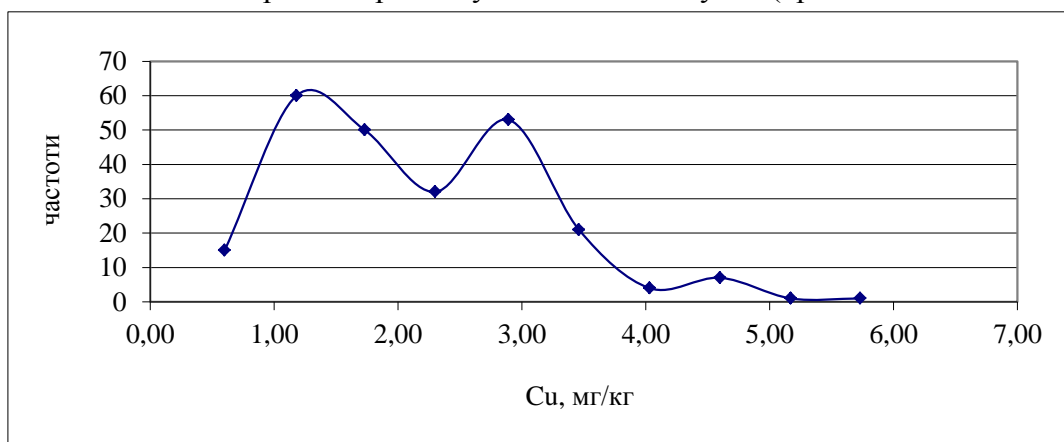
Варіаційна крива розподілу нікелю в зерні має значні величини асиметрії (As) і екс-



цесу (Ex). Це свідчить про широкі межі варіювання вмісту Ni в зерні кукурудзи в більшості регіонів зони.

Для Fe значення становлять: $As = 0,881$ та $Ex = -0,058$ і розподіл цього елемента не відповідає закону нормального розподілу з імовірністю 99 %. Слабко виражений негативний ексцес зумовлений наявністю значних площ ґрунтів з різним рівнем забезпеченості доступними для рослин формами заліза.

Аналогічна закономірність простежується для вмісту Pb (критичні значення $As =$



0,60 і $Ex = -0,43$) при наявності двох чітко виразних піків на варіаційних кривих «зміша-

ного» типу (рис. 4).

Рис. 4. Емпірична крива розподілу вмісту Pb в зерні кукурудзи.

Емпіричний варіаційний ряд для Cd має суттєвий негативний ексцес ($E_x = -0,95$) і незначну позитивну асиметрію ($A_s = 0,16$). Для його накопичення в зерні кукурудзи значною є дія об'єктивних факторів, що варіюють у просторі та часі.

Висновки. Визначено середні значення вмісту МЕ в основній та побічній продукції кукурудзи. Ці показники є фоновими для підзони північного Степу України. Мікроелемент-ний склад зерна і листостеблової маси кукурудзи зазнає суттєвих коливань. Відмічена висока варіабельність показників вмісту в зерні: Mn, Cu, Co, Fe, Pb, Cd ($V = 29,8-48,1\%$). Вміст Zn є стабільним ($V = 15,5\%$).

Максимальні значення КБП зерна кукурудзи відмічені для Zn (30,5) та Cu (11,1). Менш інтенсивне поглинання з ґрунту було таких елементів, як Ni (2,90), Co (2,70), Pb (2,36), Mn (0,73), Fe (0,12).

Оцінка емпіричних кривих розподілу вмісту МЕ в зерні кукурудзи дає можливість зробити наступні припущення: симетричний характер кривих розподілу Zn з вірогідністю 99% свідчить, що ґрунтово-кліматичні умови зони Степу як об'єктивні фактори не мають достовірного впливу на вміст цього елемента в зерні; позитивна асиметрія варіаційних кривих розподілу вмісту Mn, Cu, Co, Fe, Pb, Cd у бік зменшення їх значень пояснюється не-достатнім використанням рослинами потенційних можливостей для накопичення в зерновій продукції цих елементів.

Бібліографічний список

1. Технологія вирощування кукурудзи в різних ґрунтово-кліматичних зонах України / А. В. Черенков, В. С. Циков, Б. В. Дзюбецький [та ін.]. – Дніпропетровськ, 2011. – 51 с.
2. Жемела Г. П. Справочник по качеству зерна / Г. П. Жемела, Л. П. Кучумова, З. Ф. Аника-нова / Под ред. Жемелы Г. П. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Урожай, 1988. – 216 с.
3. Прикладна біохімія та управління якістю продукції рослинництва: [підручник] / М. М. Городній, С. Д. Мельничук, О. М. Гончар [та ін.]; за ред. Городнього М. М. – К.: Арістей, 2006. – 484 с.
4. Вариабельность микроэлементного состава зерна основных злаковых культур и факторы, ее определяющие / Б. А. Ягодин, С. П. Торшин, Н. Л. Кокурин, Н. А. Савидов // Агрохимия. – 1989. – № 3. – С.125–133.
5. Вариабельность микроэлементного состава семян основных зернобобовых культур и факторы, ее определяющие / Б. А. Ягодин, С. П. Торшин, Н. Л. Кокурин, Н. А. Савидов // Агрохимия. – 1990. – № 3. – С.126–139.
6. Перельман А. И. Геохимия ландшафтов / Перельман А. И. – М.: Астрей, 2000. – 768 с.