

## АГРОХІМІЯ

УДК 633.15:631.81.095.337](477)

### ОЦІНКА ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИНАХ КУКУРУДЗИ У СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

**В.І. Чабан, С.П. Клявзо, О.Ю. Подобед**

**ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України**  
(*inst\_zerna@mail.ru*)

Узагальнено результати мікроелементного складу рослин кукурудзи зони Степу України. Встановлено середні значення вмісту мікроелементів в зерні та листостебловій масі. Максимальні значення коефіцієнту біологічного поглинання відмічено для Zn (30,5) і Cu (11,1). Аналіз емпіричних кривих свідчить, що дія певних факторів не дозволяє рослинам кукурудзи повністю реалізувати потенційні можливості щодо накопичення більшості мікроелементів. Запропоновано шкалу градації вмісту мікроелементів у зерні з урахуванням регіональних особливостей.

**Ключові слова:** кукурудза, мікроелементи, вміст, варіабельність.

**Вступ.** Останніми роками у зерновиробництві зростає роль кукурудзи, про що свідчить збільшення площ її посіву за 2000-2010 рр. в 2,1 раза (з 1,278 до 2,648 млн га), зростання 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]. Поряд з підвищенням урожайності велика увага повинна приділятися отриманню біологічно повноцінної продукції, яка характеризується системою оцінювальних показників [2, 3]. Одним з них є хімічний склад рослин, у тому числі і мікроелементний.

Специфічність накопичення рослинами мікроелементів (МЕ) на даний час вивчена досить добре, але в сучасних умовах, під впливом різноманітних факторів (кліматичних, генетичних, антропогенних 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 у вмісті елементів у генеративних органах культур досягають десятки і навіть сотні разів, що свідчить про умовність поняття сталості елементного складу зерна. [4, 5, 6].

У зв'язку з тим, що ґрунтові і кліматичні умови значною мірою впливають на показники біологічної цінності харчових і кормових продуктів, мета досліджень – дати оцінку мікроелементного складу та виявити особливості розподілу МЕ в рослинах кукурудзи в умовах степової зони України. Це дасть можливість визначити константні і змінні величини, варіабельність вмісту елементів у зерні та листостебловій масі і встановити спрямованість змін. Отримані дані дозволитимуть діагностувати стан системи ґрунт-рослина, встановити повноцінність мікроелементного складу та екологічну чистоту врожаю.

**Методичні особливості роботи.** Вміст Mn, Zn, Fe, Cu, Co, Ni, Pb та 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 у стаціонарних досліджах Інституту сільського господарства степової зони, які охоплюють найбільш поширені ґрунтові відміни та відображують кліматичні особливості північного Степу.

**Результати роботи і їх обговорення.** Результати обробки дозволили розрахувати чисельні характеристики варіаційних рядів вмісту МЕ в зерні та листостебловій масі кукурудзи та встановити їх середні параметри. 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 має ряд: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Cd. Максимальний вміст серед елементів приходить на Fe – близько 50 %, на Zn – 30 %, Cu і Mn – 4-7 %, а кількість інших елементів (Ni, Cr, Pb, Co, Cd) не перевищує 1 %. Помітна 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 становили 29,8-48,1 %. Менш усього варіював вміст Zn ( $V = 15,5$  %), а найбільше змінювався вміст Cd. Розходження між мінімальним і максимальним значеннями вмісту елементів у зерні досягали 2-10 разів.

#### 1. Вміст мікроелементів у рослинах кукурудзи у фазу повної стиглості

Еле-мент	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	3,30-76,10	57,1
Cu	243	2,15	0,60-5,71	44,9	3,52	1,02-10,60	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	44,8-159,0	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

Примітка: n - об'єм вибірки;  $\bar{x}$  - середнє значення, мг/кг с. р.; lim - границя коливань (min – max), мг/кг с. р.; V - коефіцієнт варіації, %

Вміст МЕ в листостебловій масі кукурудзи відзначався більшими коливаннями порівняно з зерном, із такими 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 і має вигляд: Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Co > Cd. У листостебловій масі, на відміну від зерна, міститься значно більше Mn, а частка його вмісту, із загальної суми мікроелементів, прийнятої за 100 %, складає 17 %, кількість Zn та Cu залишається на рівні зерна, а токсичні елементи (Pb, Cd, Ni, Cr) значною мірою накопичуються саме побічною продукцією. Але найвищі значення констатовано 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 свідчить про значно більшу мінливість показників вмісту елементів, що

підтверджується високими коефіцієнтами варіації ( $V = 31,8-92,6 \%$ ). Різниця між мінімальним і максимальним вмістом елементів у вегетативній масі досягає 4-25 разів.

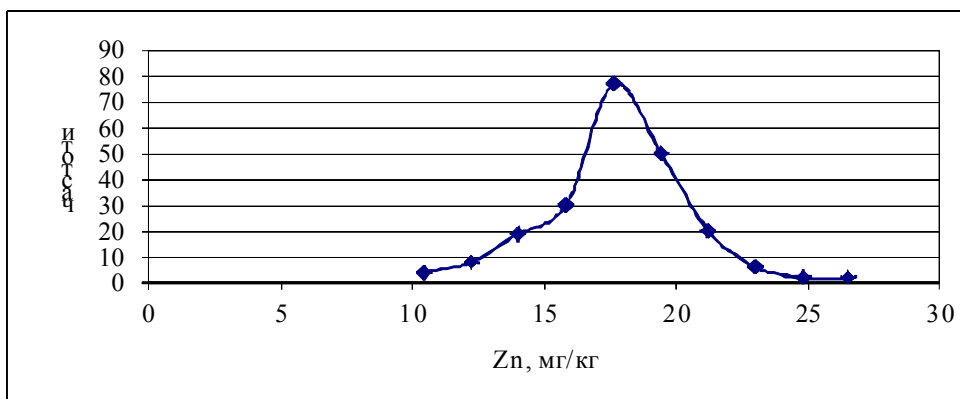
Як відомо, рослинам властива вибіркова поглинальна здатність і концентрування елементів, необхідних для росту та розвитку, у зв'язку з чим співвідношення МЕ є іншим, порівняно з ґрунтами. Для оцінки інтенсивності їх надходження в рослини кукурудзи в умовах степової зони були розраховані коефіцієнти біологічного поглинання (КБП). Величини КБП розрізнялись для зерна і листостеблової маси, що може свідчити про наявність бар'єру на границі 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 вони для Pb, Co, Ni ( $> 1$ ) і найнижчі ( $< 1$ ) – для Fe та Mn. Високі показники КБП для цинку і міді, навіть за дуже низької концентрації у ґрунті, вказують на їх 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 з аналізу варіаційних рядів можна одержати шляхом побудови емпіричних кривих частоти розподілу вмісту елементів у 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.

Так, розподіл вмісту Zn носить симетричний характер і, з вірогідністю 99 % свідчить, що фактор ґрунтово-кліматичних умов на нього достовірно не впливає.

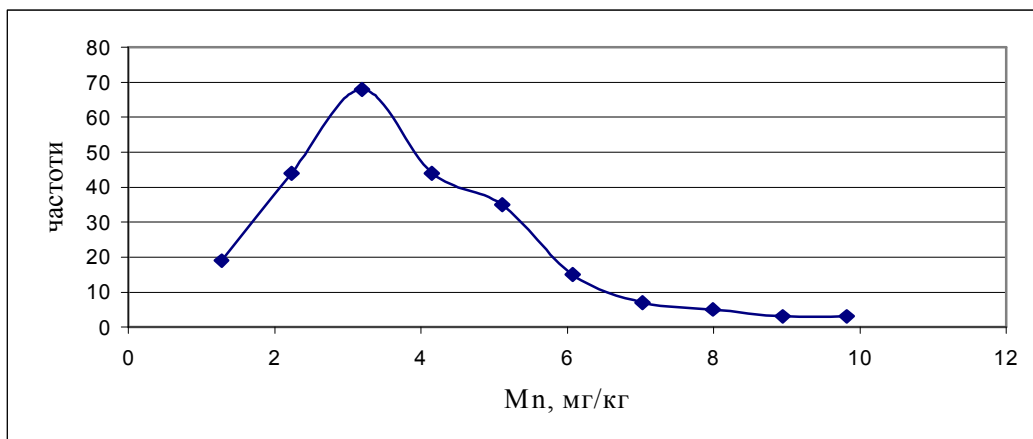


**Рис. 1.** Емпірична крива розподілу вмісту Zn в зерні кукурудзи

У той же час 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 вони відносяться до «змішаного» типу варіювання. Ці сукупності неоднорідні та можуть складатися з декількох нормальних сукупностей. Гіпотезу про закон розподілу можна перевірити за значеннями коефіцієнтів асиметрії (As) і ексцесу (Ex) та за допомогою статистичних таблиць. Для цих елементів спостерігається явно

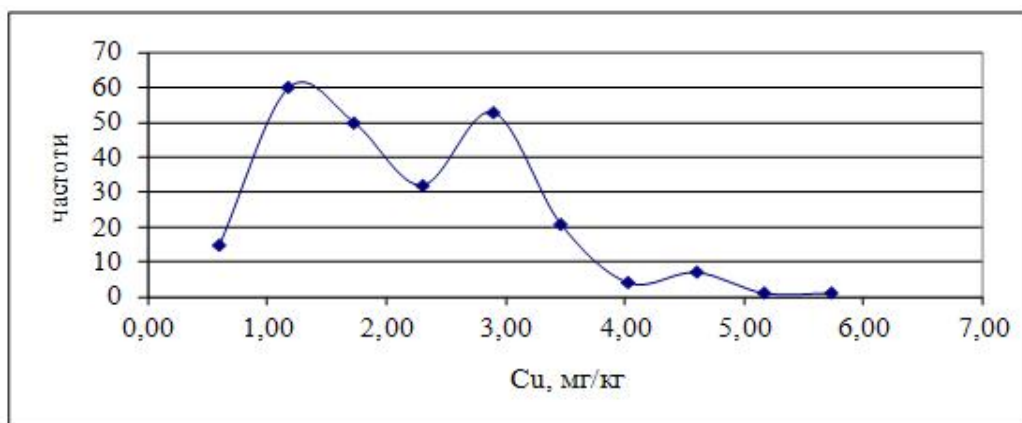
виражена права асиметрія і різнонаправлений ексцес. Таке «змішане» варіювання в часі і просторі не піддається попередньому обліку і переважає в досліджуваних нами об'єктах. Тому, для кожного елемента потрібний аналіз їх емпіричних кривих. Згідно з літературними даними, з математичної точки зору, варіаційні криві «змішаного» варіювання відрізняються від нормальної кривої розподілу Гаусса і можливий поділ їх на декілька кривих з різною асиметрією.

Емпірична крива розподілу Mn у зерні кукурудзи носить асиметричний характер. Графічно асиметрія має вигляд скошеної варіаційної кривої із зміщенням піку ліворуч від центру розподілу (позитивна асиметрія). Коефіцієнт ексцесу ( $E_x = 1,21$ ) вищий за критичне значення (0,826), за рівня значущості  $\alpha = 0,01$ . Отримані значення величини  $A_s$  і  $E_x$  свідчать, що даний розподіл має правобічну асиметрію і помітно виражений ексцес (рис. 2). Середня арифметична величина для марганцю становить 3,85 мг/кг, однак, найбільш часто трапляється значення (мода) 3,19 мг/кг, отже на даній емпіричній кривій значення вмісту 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 (рис. 3) розподілів. Це можна пояснити суттєвими відмінностями кліматичних умов, які впливають на доступність рослинам міді або генетичною різноманітністю гібридів кукурудзи, що також може позначатися на елементному складі зерна.



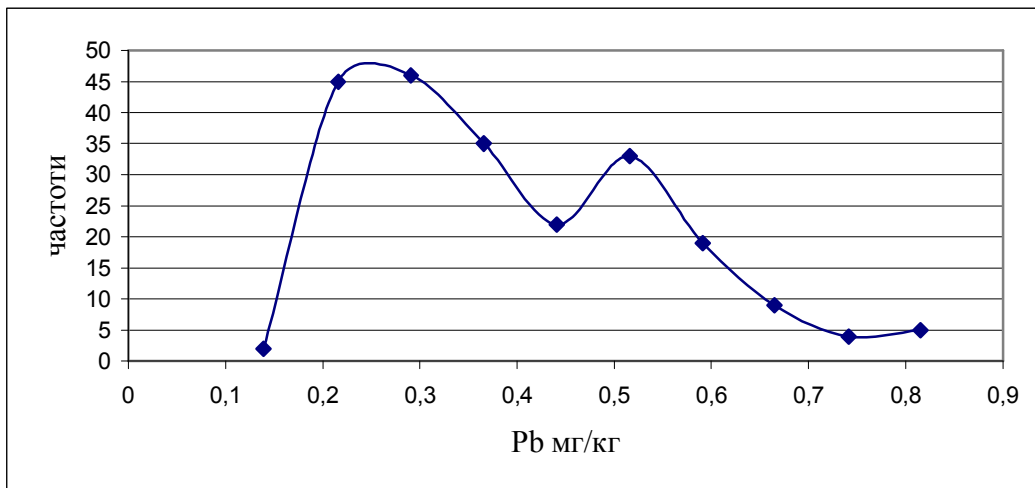
**Рис. 3.** Емпірична крива розподілу вмісту Cu в зерні кукурудзи

На емпіричній кривій для Co досить чітко спостерігається величина позитивної асиметрії ( $As = 0,90$ ), 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  $0,823$ . За такого значення асиметрії розподіл не підкоряється закону нормального розподілу з імовірністю 99 %.

Варіаційна крива розподілу нікелю в зерні має значні величини асиметрії ( $As$ ) і ексцесу ( $Ex$ ). Це свідчить про значне варіювання вмісту Ni в зерні кукурудзи в більшості регіонів зони.

Для Fe значення складають  $As = 0,881$  і  $Ex = -0,058$  і його розподіл не підкоряється закону нормального розподілу з імовірністю 99 %. Слабовиражений негативний ексцес обумовлений наявністю значних площ ґрунтів з різним рівнем вмісту доступних рослинам форм заліза.

Аналогічна закономірність відзначена для вмісту Pb (критичні значення  $As=0,60$  і  $Ex=-0,43$ ), за наявності двох чітко виражених піків на варіаційних кривих «змішаного» типу (рис. 4).



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

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

Як відмічалось вище, параметри елементного складу рослин кукурудзи відзначаються значним діапазоном коливань, що ускладнює оцінку збалансованості живлення культури. Тому, на основі методів статистичного аналізу та просторової інтерпретації результатів ми здійснили спробу побудувати шкали градації вмісту мікроелементів у зерні з урахуванням регіональних особливостей (табл. 3).

### 3. Параметри вмісту мікроелементів у зерні кукурудзи, мг/кг сухої речовини

Рівень	Вміст мікроелементів, мг/кг сухої речовини						
	Zn	Mn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низький	9,5-15,1	0,79-3,79	0,31-2,10	0,113-0,280	0,337-0,850	0,100-0,337	0,0048-0,0123
Середній	15,2-21,9	3,80-7,37	2,20-4,24	0,281-0,485	0,860-1,470	0,338-0,619	0,0124-0,0213
Високий	22,0-26,5	7,38-10,20	4,25-6,00	0,486-0,652	1,480-1,990	0,620-0,852	0,0214-0,0288

Розрахунок узагальнених числових характеристик (середнє, дисперсія та ін.) варіаційних рядів вмісту МЕ в зерні можливий у разі заміни 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. Використання довірчого інтервалу центральных значень дозволяє статистично достовірно виділити три рівня забезпеченості мікроелементами зерна кукурудзи. Середній – охоплює усі значення, які з вірогідністю 95 % знаходяться в межах довірчого інтервалу:

$$\bar{x} \pm 1,96 S_{\bar{x}}$$

Низький – значення, які менші за:

$$\bar{x} - 1,96 S_{\bar{x}}$$

Високий – значення вищі за:

$$\bar{x} + 1,96 S_{\bar{x}}$$

де:  $\bar{x}$  – середнє з центральных значень кожного класу;

$S_{\bar{x}}$  – помилка середнього;

$t = 1,96$  – нормоване відхилення при вірогідності  $P = 95 \%$ .

Відповідна статистична обробка не тільки показує як осереднення результатів по зоні Степу нівелює статистично достовірні відмінності між вмістом МЕ у зерні під впливом сукупності факторів але й демонструє характер змін у просторі і часі вмісту кожного досліджуваного елемента.

**Висновки.** Мікроелементний склад зерна і листостеблової маси кукурудзи зазнає значних коливань. Відмічено високу варіабельність вмісту в зерні Mn, Cu, Co, Fe, Pb, Cd ( $V=29,8-48,1 \%$ ), вміст Zn характеризувався стабільністю ( $V = 15,5 \%$ ). Такі параметри є фоновими для підзони північного Степу України.

Максимальні значення КБП зерна кукурудзи відмічені для Zn (30,5) та Cu (11,1). Менш інтенсивно поглинались із ґрунту Ni (2,90), Co (2,70), Pb (2,36), Mn (0,73), Fe (0,12).

Аналіз варіаційних рядів вмісту мікроелементів у зерні кукурудзи дозволив виявити наявність 3-х видів імовірностних функцій: одномодальні, перехідні і бімодальні. Їх динамічна еволюція визначається, як внутрішніми флуктуаціями (генетичний фактор), так і мінливістю умов зовнішнього середовища. Найбільш стійкий стан властивий одномодальним функціям з позитивною асиметрією, що свідчить про недостатнє використання рослинами потенційних можливостей щодо накопичення зерном Mn, Cu, Co, Fe, Pb, Cd в умовах зони.

Довірчий інтервал центральных значень дозволив статистично достовірно виокремити низький, середній та високий рівні вмісту мікроелементів у зерні кукурудзи.

### Список використаної літератури

1. Черенков А.В. 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. Справочник по качеству зерна / Г.П. Жемела, Л.П. Кучумова, З.Ф. Аниканова; Под ред. Г.П. Жемелы – 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. М.М. Городнього. – К.: Арістей, 2006. – 484 с.

4. Ягодин Б.А. 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. Ягодин Б.А. 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* / А.И. Перельман. – М.: Астрей, 2000. – 768 с.

*Стаття надійшла до редколегії 21.07.2013*

#### **ASSESSMENT OF THE MICROELEMENTS CONTENT IN THE CORN PLANTS IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE**

**V.I. Chaban, S.P. Kliavzo, O.Yu. Podobed**

**Agricultural Steppe Zone Institute of the NAAS of Ukraine**

*(inst\_zerna@mail.ru)*

The data on microelement composition determination of corn plants in the Steppe zone of Ukraine are summarized. The averages of microelements content in grain, foliage and stems mass are determined. Maximal values of biological uptake factor in the corn grain are marked for Zn (30,5) and Cu (11,1). The analysis of empirical curves specifies that action of the certain factors does not allow corn to realize completely potential opportunities on accumulation of the majority of microelements. The gradation scale of the microelements contents in the grain is offered in view of regional features.

**Key words:** *corn, microelements, contents, variability.*