

ВМІСТ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РОСЛИНАХ КУКУРУДЗИ ТА ОЦІНКА МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ

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

О. Ю. Подобед

Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Досліджена динаміка та закономірності надходження макро- та мікроелементів у рослини кукурудзи. Проведена оцінка потенційних можливостей накопичення цих елементів зерном і вегетативною масою. Встановлено, що елементний склад не є константним показником і змінюється залежно від функціонального значення елемента, віку рослин та умов їх вирощування. Запропоновані градації вмісту елементів є критерієм оцінки і коректування системи живлення рослин кукурудзи.

Ключові слова: кукурудза, хімічний склад, рослина, зерно, надходження, діагностика.

Кукурудза, поряд з пшеницею та рисом, найбільш поширена продовольча культура світового землеробства. Відзначається високою урожайністю, цінними властивостями і є сировиною широкого використання у комбікормовій, харчовій та переробній промисловості. Останнім часом відмічається значне розширення посівних площ кукурудзи в усіх ґрунтово- кліматичних зонах України [1]. При цьому застосування добрив є найбільш дієвим фактором підвищення урожайності, а відтак і зростання обсягів виробництва зерна цієї важливої культури. У середньому по Україні в 1986–1990 рр. під кукурудзу вносили 207 кг/га д. р. мінеральних добрив (93 кг азоту, 63 кг фосфору, 51 кг калію), а в Степу – 177 кг/га (86, 60, 31 кг відповідно) [2]. За останні 20 років їх використання під цю зернову культуру скоротилось у 3,2 раза і в степовій зоні (Дніпропетровська область) обмежується 55 кг/га туків (37 кг азоту, 12 кг фосфору, 6 кг калію). Існуючі рівні внесення мінеральних добрив поряд з посушливістю клімату стримують реалізацію високого генетичного потенціалу урожайності кукурудзи. Тому сучасне аграрне виробництво вимагає удосконалення підходу до агрохімічного забезпечення землеробства та раціонального використання наявних ресурсів шляхом моніторингу стану рослин впродовж вегетації [3, 4]. У даному випадку рослина є своєрідним індикатором, а вміст хімічних елементів – відображенням умов забезпечення їх поживними речовинами протягом онтогенезу. Виходячи з вищевикладеного, мета досліджень полягала у визначенні зональних особливостей елементного складу рослин кукурудзи і з'ясуванні можливих напрямків оптимізації мінерального живлення.

При підготовці статті узагальнено і опрацьовано значний обсяг аналітичних даних макро- і мікроелементного складу рослин кукурудзи, отриманих в лабораторії родючості ґрунтів за останні 25 років у стаціонарних дослідках Інституту сільського господарства степової зони. Після мокрого озолення за методом Гінзбург з одної наважки рослинного матеріалу визначали: вміст загального азоту – за методом К²ельдаля, фосфор – з закінченням на фотоелектроколориметрі, калій – на полум'яному фотометрі. Вміст мікроелементів (Mn, Zn, Fe, Cu, Co, Ni, Pb, Cd) в зерні та вегетативній масі кукурудзи встановлювали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115М1 з атомізацією в повітряно-ацетиленовому полум'ї. Експериментальні дані обробляли за прикладними програмами математичної статистики в складі Excel 2003 та Statistica (version 6).

1. Динаміка вмісту основних елементів живлення у вегетативній масі кукурудзи, %

Фаза розвитку	Фон живлення	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
5–6 листків	Без добрив	<u>3,36*</u> 3,02–3,70	<u>0,58</u> 0,48–0,70	<u>3,00</u> 2,17–3,68
	N ₆₀₋₉₀ P ₆₀₋₉₀ K ₃₀₋₆₀	<u>3,74</u> 3,40–4,20	<u>0,69</u> 0,57–0,84	<u>3,58</u> 2,46–4,71
9–10 листків	Без добрив	<u>3,77</u>	<u>0,76</u>	<u>4,05</u>

		3,58–4,07	0,70–0,88	3,76–4,36
	N ₆₀₋₉₀ P ₆₀₋₉₀ K ₃₀₋₆₀	<u>3,86</u> 3,63–4,26	<u>0,82</u> 0,75–0,90	<u>4,33</u> 3,92–4,91
Цвітіння	Без добрив	<u>1,33</u> 1,04–1,67	<u>0,40</u> 0,31–0,45	<u>1,56</u> 1,43–1,85
	N ₆₀₋₉₀ P ₆₀₋₉₀ K ₃₀₋₆₀	<u>1,53</u> 1,16–1,76	<u>0,44</u> 0,37–0,48	<u>1,70</u> 1,43–2,08
Молочно-воскова стиглість	Без добрив	<u>1,13</u> 1,08–1,21	<u>0,33</u> 0,28–0,40	<u>0,83</u> 0,72–0,90
	N ₆₀₋₉₀ P ₆₀₋₉₀ K ₃₀₋₆₀	<u>1,33</u> 1,19–1,49	<u>0,38</u> 0,29–0,46	<u>0,92</u> 0,74–1,19

* Чисельник – середні значення, знаменник – коливання вмісту (min-max) – відповідно в таблицях 2, 4, 5.

Кукурудза, порівняно з іншими зерновими культурами, досить вимоглива до умов мінерального живлення. Про закономірності поглинання поживних елементів свідчать показники хімічного складу рослин (див. табл. 1, 2), які суттєво варіюють залежно від фази розвитку і рівня живлення культури та погодно-кліматичних умов. На ранніх етапах росту для рослин характерний найбільш високий вміст азоту і зольних елементів. Надходження елементів від фази 5–6 до фази 9–10 листків перевищує накопичення сухої речовини і має місце їх кількісне підвищення. У подальшому, до фази повної стиглості зерна, інтенсивність процесу формування органічної речовини випереджає надходження елементів живлення з ґрунту, що призводить до відносного зниження вмісту азоту, фосфору і калію у вегетативній масі. До того ж слід відзначити значне коливання вмісту елементів по фазах розвитку – відхилення від середніх значень становить 5–28 %. Особливо суттєві відмінності проявлялись у фазі повної стиглості зерна і були характерні для листостеблової маси (31–86 %).

Добрива помітно впливають на вміст елементів у тканинах рослини, змінюючи умови живлення, активізуючи і прискорюючи темпи їх накопичення. Позитивна дія поживних елементів простежується починаючи з ранніх фаз розвитку. У вегетативній масі вміст азоту впродовж вегетації підвищувався на 11–18 %. Різниця за вмістом фосфору і калію між удобреними і неудобреними рослинами найбільш помітною була у фазі 5–6 листків (19 %) і утримувалась до кінця вегетації, хоча і з деяким зменшенням (7–16 %). Слід відзначити, що у фазі повної стиглості зміни валового вмісту основних елементів живлення відбувались головним чином за рахунок листостеблової маси, де кількість азоту, фосфору і калію зростала відповідно на 17,7 і 10,0 %. Хімічний склад зерна від дії добрив зазнавав менших змін, за винятком азоту, кількість якого в середньому зростала на 12 %. Щодо фосфору, то мала місце лише тенденція до підвищення (3 %) його вмісту, в той час як кількість K₂O утримувалася на одному рівні.

2. Вміст основних елементів живлення в рослинах кукурудзи у фазі повної стиглості, %

Фон живлення	Зерно			Листостеблова маса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив	<u>1,42*</u> 1,15–1,91	<u>0,64</u> 0,39–0,72	<u>0,39</u> 0,25–0,48	<u>0,69</u> 0,46–0,91	<u>0,20</u> 0,10–0,37	<u>1,16</u> 0,68–1,56
N ₆₀₋₉₀ P ₆₀₋₉₀ K ₃₀₋₆₀	<u>1,59</u> 1,26–2,06	<u>0,66</u> 0,41–0,79	<u>0,39</u> 0,24–0,58	<u>0,81</u> 0,56–1,03	<u>0,21</u> 0,11–0,39	<u>1,28</u> 0,80–1,75

Відповідно до хімічного складу визначено фізіологічну потребу рослин в основних елементах живлення по фазах розвитку (табл. 3). Надходження азоту і зольних елементів до рослинного організму йде нерівномірно. На ранніх етапах онтогенезу (до фази 9–10 листків) рослини використовують відносно невелику їх кількість (3–9 %). Пік використання елементів живлення (42–81 %) припадає на період активного приросту вегетативної маси. В подальшому споживання азоту та калію уповільнюється і триває за

рахунок реутилізації. У фазі молочно-воскової стиглості їх надходження практично завершується. Фосфор рослини використовують більш рівномірно, майже до настання повної стиглості зерна.

3. Надходження елементів живлення у рослини кукурудзи, %

Фаза росту	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
5–6 листків	0,7	0,3	0,8
9–10 листків	7	3	8
Цвітіння	60	42	81
Молочно-воскова стиглість	96	88	100
Повна стиглість	100	100	–

Статистична обробка експериментальних даних свідчить про наявність високих кореляційних зв'язків між вмістом основних елементів живлення в рослинах у ранні фази розвитку і зерном, що підтверджує доцільність діагностування живлення саме у цей період. Найбільш суттєвими вони були для азоту ($r = 0,65-0,79$) і калію ($r = 0,55-0,83$). Ступінь зв'язності для фосфору був нижчим ($r = 0,32-0,41$).

Дані мікроелементного складу рослин кукурудзи також свідчать, що він генетично зумовлений і його показники коливаються в досить широких межах (табл. 4, 5). Елементний склад зазнає суттєвих змін по фазах розвитку культури і ці зміни подібні до динаміки макроелементів. Найбільша кількість мікроелементів (МЕ) у вегетативній масі кукурудзи відмічена на початку вегетації рослин з закономірним зниженням від фази 4–5 листків до повної стиглості зерна. Для марганцю і міді характерна криволінійна динаміка накопичення з двома піками максимального вмісту на початку вегетації і в фазі цвітіння. Надходження цинку і кобальту в рослини змінюється більш поступово. Різке зниження вмісту МЕ у листостебловій масі простежувалось від фази цвітіння до повної стиглості. Особливо це помітно (у 1,6–3,4 раза) щодо Mn, Cu, Zn, а для Co зниження становило 8 %.

4. Динаміка вмісту мікроелементів у вегетативній масі кукурудзи по фазах розвитку, мг/кг

Фаза розвитку	Zn	Mn	Cu	Co
4–5 листків	<u>24,4*</u> 19,5–33,6	<u>79,0</u> 72,3–84,4	<u>9,41</u> 8,02–10,5	<u>1,15</u> 0,91–1,27
9–10 листків	<u>26,5</u> 18,2–32,3	<u>61,3</u> 50,6–81,1	<u>7,43</u> 6,04–8,75	<u>0,91</u> 0,85–0,99
Цвітіння	<u>20,3</u> 16,9–24,4	<u>86,8</u> 72,2–96,6	<u>7,84</u> 5,66–10,6	<u>0,86</u> 0,78–0,93

5. Вміст мікроелементів у рослинах кукурудзи в фазі повної стиглості, мг/кг

Елемент	Зерно	Листостеблова маса
Zn	<u>17,7</u> 10,4–25,8	<u>12,4</u> 3,69–36,5
Mn	<u>3,85</u> 1,27–9,80	<u>25,7</u> 3,30–76,1
Cu	<u>2,15</u> 0,60–5,71	<u>3,52</u> 1,02–10,60
Co	<u>0,30</u> 0,15–0,72	<u>0,79</u> 0,30–1,66
Ni	<u>0,82</u> 0,42–1,86	<u>1,46</u> 0,64–3,88
Fe	<u>32,4</u> 18,4–60,0	<u>101</u> 44,8–159,0
Pb	<u>0,39</u>	<u>1,12</u>

	0,14–0,80	0,25–2,83
Cd	<u>0,017</u> 0,006–0,068	<u>0,073</u> 0,012–0,317
Cr	<u>0,49</u> 0,22–0,89	<u>1,94</u> 0,40–7,75

Вміст МЕ в листостебловій масі кукурудзи відзначався більшими коливаннями порівняно з зерном із 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. Розподіл елементів у нетоварній продукції наступний: Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Co > Cd. У листостебловій масі, на відміну від зерна, міститься значно більше Mn, а його частка в загальній сумі мікроелементів, прийнятій за 100 %, становить 17 %, кількість Zn та Cu залишається на рівні зерна, а токсичні елементи (Pb, Cd, Ni, Cr) переважно накопичуються нетоварною продукцією. Але найвищі значення констатовані для Fe (66 %) – велика кількість його накопичується у вегетативній масі. МЕ склад побічної продукції відзначається значно більшою мінливістю показників вмісту елементів, що підтверджується високими коефіцієнтами варіації ($V = 31,8\text{--}92,6\%$). Різниця між мінімальним і максимальним вмістом елементів досягає 4–25 разів.

Для рослин кукурудзи характерне генетично зумовлене вибіркове засвоєння МЕ. За коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП) встановлена потреба рослин у МЕ за основними фазами розвитку (табл. 6). Характерною особливістю культури є інтенсивне поглинання з ґрунту, в першу чергу, цинку та міді. При цьому не спостерігається перерозподілу значущості елементів впродовж вегетації рослин.

6. Потреба кукурудзи в мікроелементах по фазах розвитку рослин

Фаза розвитку	Мікроелементи
4–5 листків у культури	Zn > Cu > Mn > Co
9–10 листків у культури	Zn > Cu > Mn > Co
Цвітіння	Zn > Cu > Mn > Co

Наведені параметри елементного складу рослин і зерна кукурудзи відзначаються значним діапазоном коливання. Разом з тим результати хімічного аналізу уможливають визначення стану мінерального живлення рослин за існуючими критеріями оцінки вмісту валових форм основних елементів (за А. Я. Гетьманцем). Рослинна діагностика дає можливість не тільки контролювати умови живлення на ранніх етапах росту, але й коригувати їх. У таблицях 7–9 наведені градації вмісту азоту, фосфору і калію в рослинах кукурудзи впродовж вегетації, які слугують фізіологічною характеристикою їх живлення. За низького вмісту макроелементів у рослинах виникає потреба у підживленні посівів.

7. Градації вмісту загального азоту в рослинах кукурудзи, %

Фаза розвитку	Низький	Оптимальний	Високий
4–6 листків (вся рослина)	2,5–3,0	3,3–4,0	4,0
8–10 листків (вся рослина)	2,2–2,6	3,0–3,6	4,0
8–10 листків (5-й листок)	2,3–2,6	3,2–3,5	3,8
Цвітіння (листки на качанах)	1,5–1,8	2,1–2,5	2,8

8. Градації вмісту загального фосфору (P_2O_5) в рослинах кукурудзи, %

Фаза розвитку	Низький	Оптимальний	Високий
4–6 листків (вся рослина)	0,4–0,6	0,7–1,2	1,5
8–10 листків (вся рослина)	0,4–0,6	0,7–1,0	1,2
8–10 листків (5-й листок)	0,45–0,6	0,75–0,95	1,0
Цвітіння (листки на качанах)	0,3–0,4	0,6–0,7	0,8

9. Градації вмісту загального калію (K_2O) в рослинах кукурудзи, %

Фаза розвитку	Низький	Оптимальний	Високий
4–6 листків (вся рослина)	2,4–2,9	3,2–4,0	4,4
8–10 листків (вся рослина)	2,3–2,8	3,1–3,9	4,2
8–10 листків (5-й листок)	2,4–2,7	3,2–3,8	4,1
Цвітіння (листки на качанах)	1,2–1,5	1,8–2,2	2,5

Для оцінки мікроелементного складу рослин кукурудзи нами на основі методів статистичного аналізу та просторової інтерпретації одержаних результатів була здійснена спроба нормувати вміст МЕ в зерні (табл. 10) [5]. Відповідно до отриманої шкали градації середній вміст біофільних елементів відповідає оптимальному рівню живлення.

10. Параметри вмісту мікроелементів в зерні кукурудзи, мг/кг

Вміст	Zn	Mn	Cu	Co
Низький	9,5–15,1	0,79–3,79	0,31–2,10	0,113–0,280
Середній	15,2–21,9	3,80–7,37	2,20–4,24	0,281–0,485
Високий	22,0–26,5	7,38–10,20	4,25–6,00	0,486–0,652

Таким чином, аналіз експериментальних даних, одержаних в умовах степової зони, свідчить про значну мінливість показників вмісту макро- і мікроелементів у рослинах кукурудзи, а ступінь їх концентрації у вегетативній масі та зерні відображує функціональне значення кожного елемента для відповідного виду і залежить від етапу розвитку та умов під час вирощування культури. Існуючі та запропоновані градації вмісту хімічних елементів у рослинах уможливають коректування системи живлення та оптимізацію дози внесення добрив під кукурудзу.

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. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України / Б. С. Носко, Б. С. Простер, М. В. Лобода [та ін.]; за ред. Б. С. Носка, Б. С. Простера, М. В. Лободи. – К.: Урожай, 1994. – 336 с.
3. Церлинг В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: [справочник] / В. В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
4. Диагностика стану хімічних елементів системи ґрунт – рослина / За ред. А. І. Фатєєва, В. Л. Самохвалової. – Х.: КП Міськдрук, 2012. – 146 с.
5. Чабан В. І. Оцінка вмісту мікроелементів у рослинах кукурудзи у степовій зоні України / В. І. Чабан, С. П. Клявзо, О. Ю. Подобед // Агрохімія і ґрунтознавство – 2014. – Вип. 81. – С. 73–79.