А. М. БОГАТЧУК

# ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА НАГРОМАДЖЕННЯ ТА СКЛАД ВІЛЬНИХ АМІНОКИСЛОТ У ЛИСТЯХ КУКУРУДЗИ*

Кукурудза — найважливіша кормова культура. Особливе значення для корму має зелена маса, яка йде на силосування. Цінність кукурудзи як кормової культури в значній мірі визначається складом її азотових сполук, причому зелена маса краща від насіння і за вмістом азотових сполук, і їх складом. Зелена маса містить деякі незамінимі амінокислоти, яких бракує в насінні. Тому вивчення азотового обміну у рослин кукурудзи набуває великого практичного значення.

У вивченні азотового обміну рослин за останній час набуває поширення дослідження вільних амінокислот. Ця група важлива тим, що вона є вихідним матеріалом для побудови білків, а також охоплює значно більшу кількість амінокислот, які не входять до складу білків. Зараз відомо близько 60 вільних амінокислот, тоді як до складу білків входить 20—25.

Дослідження амінокислот значно поширилося з появою високочутливого методу їх визначення — розподільної хроматографії.

З літератури відомо, що вміст амінокислот, зокрема вільних, у рослинах залежить від віку рослин та ряду зовнішніх факторів (температури, довжини дня, умов зволоження і т. д.), а також від умов живлення.

Зовнішні впливи змінюють азотовий обмін, що приводить до зміни кількості і складу вільних амінокислот.

Нестача окремих елементів живлення викликає зниження інтенсивності синтезу білків і приводить до нагромадження вільних амінокислот у рослинах. Підвищення вмісту вільних амінокислот в рослинах спостерігалося при недостатньому живленні рослин калієм (8, 10, 11), залізом, кальцієм і бором (12), цинком, міддю, марганцем (8), а також при збільшенні азоту в поживному середовищі (1). Нестача молібдену викликала зниження вмісту вільних амінокислот в рослинах ( 7, 8). При нестачі азоту, а також фосфору вміст амінокислот знижується (2). Однак у деяких дослідах зниження вмісту вільних амінокислот у листях при нестачі фосфору не спостерігалося (1).

В роботі Б. А. Плешкова, Ш. Іванко і Т. Антонової (4) було показано, що при нестачі фосфору і особливо калію, коли в рослинах має місце гальмування синтезу білків, вміст вільних амінокислот, зокрема аргініну, аспарагінової кислоти, серину та гліцину помітно зростає. При нестачі азоту, коли в рослинах використовуються всі резерви азоту для

* Науковий керівник — проф. С. О. Гребінський.

синтезу білків, вміст вільних амінокислот у листях знижується майже в півтора раза. Найбільш різко знижується вміст аргініну, аспарагінової кислоти, аланіну, валіну і фенілаланіну. Очевидно, при нестачі азоту ці амінокислоти в першу чергу використовуються для синтезу білків. Аналогічні дані були одержані в дослідах з ячменем (9).

А. Ф. Калінкевич та Г. В. Удовенко (3) вивчали вплив умов живлення на вміст амінокислот у стеблах кукурудзи та у конопель. Аналіз проводився на сухому матеріалі. В стеблах кукурудзи знайдені у вільному стані цистин, лізин, аспарагін, аргінін, глютамін, аспарагінова та глютамінова кислота, серин, гліцин, треонін, аланін, тирозин, $\gamma$-аміномасляна кислота, валін, лейцини. Досліди показали, що в кукурудзі, як і в коноплях, вміст вільних амінокислот у стеблах у другій половині вегетації сильно змінюється в залежності від умов калійного живлення. При калійному голодуванні вміст усіх амінокислот сильно знижується, а деякі з них не вдається взагалі відкрити. Виявилося також, що в міру старіння кількість вільних амінокислот у стеблах значно зменшується.

Вплив умов живлення рослин на зміну вмісту окремих амінокислот у листях і коренях кукурудзи вивчався Б. Плешковим, Т. Шмирьовою та Ш. Іванко (5). Досліди проводилися з водними культурами. При визначенні вмісту амінокислот було знайдено, що їх кількість у процесі розвитку рослин коливається. В процесі росту найбільш помітно змінювався вміст аланіну, аспарагінової та глютамінової кислот, гліцину, серину і $\gamma$-аміномасляної кислоти, які складають переважну кількість вільних амінокислот. Виключення азоту з поживного середовища помітно знижувало спочатку кількість лейцину, валіну, тирозину, а надалі — всіх амінокислот. Без фосфору різко знижувався вміст найбільш лабільних амінокислот: аланіну, гліцину, аргініну, аспарагіну, $\gamma$-аміномасляної кислоти.

Незначне калійне голодування збільшувало кількість вільних амінокислот, в основному за рахунок підвищення вмісту аланіну, гліцину, серину, аспарагінової кислоти, аспарагіну, та глютаміну. При більш різкому калійному голодуванні через 17 днів після виключення калію з поживного середовища спостерігалося зменшення вмісту як білку, так і вільних амінокислот.

Таким чином, вміст вільних амінокислот дуже чутливий до умов живлення. Але ці питання вивчались небагатьма дослідниками в лабораторних умовах і на ранніх стадіях розвитку рослин. Тому виникає необхідність докладного дослідження в цьому напрямку рослин при вирощуванні їх для силосування.

Метою даної роботи було вивчення складу основних закономірностей нагромадження амінокислот у листях кукурудзи під впливом мінеральних елементів азоту, фосфору та калію в польових умовах. Для вивчення окремих питань азотового обміну проводилися дослідження в лабораторних умовах.

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Ми проводили досвіди в ботанічному саду університету в 1961 році. Кукурудза Закарпатська жовта зубовидна та гібрид Буковинський 3 вирощувалися в польових умовах. Грунт сірий лісовий суглинистий. Добрива вносились у вигляді підживлення в два строки — у червні та в липні.

Варіанти досліду:

контроль — без внесення добрив (під попередники добрива теж не вносилися).

N (4 г $NH_4NO_3$* в лунку)
NP (4 г $NH_4NO_3$ + 8 г суперфосфату** в лунку)
NK (4 г $NH_4NO_3$ + 2 г KCl*** в лунку)
PK (8 г суперфосфату + 2 г KCl в лунку)
NPK (4 г $NH_4NO_3$ + 8 г суперфосфату + 2 г KCl в лунку)
2NPK (8 г $NH_4NO_3$ + 8 г суперфосфату + 2 г KCl в лунку)
N2PK (4 г $NH_4NO_3$ + 16 г суперфосфату + 2 г KCl в лунку)
NP2K (4 г $NH_4NO_3$ + 8 г суперфосфату + 4 г KCl в лунку).

Проби листя для аналізу бралися двічі: через 2 тижні після першого підживлення (15/VI) та у фазу молочної стиглості кукурудзи (5/IX). Використовували п'яті листки рослин знизу. Для визначення загального азоту матеріал фіксувався паром, а для аналізу вільних амінокислот — 96-проц. етиловим спиртом. Витяжка вільних амінокислот проводилася 80-проц. етанолом, кількісне визначення вільних амінокислот — методом хроматографії на папері. Хроматограми одномірні, низхідні. Використовувався розчинник *н*-бутанол-оцтова кислота—фосфатний буфер pH—6,0 (4 : 1 : 5). Папір № 2 Ленінградської фабрики, повільний («*М*»). Для кращого розділення амінокислот розчинник пропускався 3-кратно. Ідентифікація амінокислот проводилася за допомогою мітчиків. Проявлення 0,5-проц. нінгідрином в ацетоні і висушування протягом 24 год. при кімнатній температурі. Проявлені плями амінокислот вирізались, елюювались метиловим спиртом з азотнокислою міддю. Забарвлення визначалося через 1,5—2 год. на спектрофотометрі СФ-4 при довжині хвилі 510 *мμ*. Вміст амінокислот у пробах вираховувався за відповідними калібровочними графіками. При побудові цих графіків стандартні розчини кожної амінокислоти хроматографувалися в тих же умовах, що і досліджувані розчини, і так само фотометрувалися. Одержані дані є середніми з 4 паралельних визначень.

Загальний азот визначався по К'єльдалю.

## РЕЗУЛЬТАТИ

В таблиці 1 наведені результати визначення загального азоту та нагромадження зеленої маси рослин під впливом добрив.

З даних таблиці 1 видно, що вміст загального азоту під впливом азотового живлення зростає. Нагромадженню азотових сполук сприяють також калійні та фосфорні добрива, додані до азотових. Подвійні кількості азоту, фосфору та калію не вплинули на збільшення загального азоту.

Зростає врожай зеленої маси. Вміст загального азоту падає з віком рослин.

Результати кількісного визначення амінокислотного складу зелених листків кукурудзи наведені в таблиці 2. Визначалися вільні амінокислоти, які входять до складу білку. Інші вільні амінокислоти, що знаходяться у рослинах в дуже незначних кількостях, нами не визначалися.

З даних таблиці 2 видно, що у зеленому листі кукурудзи переважають аспарагінова і глютамінова кислоти, аланін, серин і гліцин, вони становлять близько 65% від загальної кількості амінокислот. Тому за-

* 39,6 *кг/га* N — одна норма
** 45,6 *кг/га* $P_2O_5$ — одна норма.
*** 33,6 *кг/га* $K_2O$ — одна норма.

*Таблиця 1*

**Вміст загального азоту в листях кукурудзи (% на суху вагу) та врожай зеленої маси**

| Варіанти | Закарпатська жовта зубовидна. | | | Гібрид Буковинський 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 15/V | 15/IX | | 15/VI | середня вага з 20 рослин (г) |
| | загальний азот | загальний азот | середня вага з 20 рослин (г) | загальний азот | |
| Контроль | 2,12 | 1,53 | 665±19,2 | 2,22 | 648±14,8 |
| N | 2,64 | 1,68 | 690±20,3 | 2,59 | 759±12,6 |
| NK | 2,84 | 1,99 | 809±18,5 | 2,94 | 805±12,5 |
| NPK | 3,64 | 2,23 | 875±16,8 | 3,0 | 842±10,2 |
| 2NPK | 3,77 | 2,45 | 965±25,1 | 3,35 | 955±13,0 |
| N2PK | 3,78 | 2,40 | 932±12,8 | 3,31 | 887±12,4 |
| NP2K | 3,74 | 2,44 | 927±10,7 | 3,34 | 958±10,2 |

*Таблиця 2*

**Амінокислотний склад листків кукурудзи без внесення добрив (в *мг*/100 *г* сухої ваги)**

| Амінокислота | Закарпатська жовта зубовидна | | Гібрид Буковинський 3 |
|---|---|---|---|
| | 15/VI | 5/IX | 15/VI |
| Цистеїн-цистин | сліди | сліди | сліди |
| Лізин | 4,0 | 4,9 | 2,03 |
| Аспарагінова кислота | 5,8 | 4,1 | 4,01 |
| Серин-гліцин | 8,32 | 5,3 | 3,3 |
| Глютамінова кислота | 19,4 | 17,0 | 28,7 |
| Треонін | 2,1 | 0,9 | 0,9 |
| Аланін | 14,3 | 12,7 | 27,2 |
| Тирозин | 5,2 | 3,9 | 1,2 |
| Метіонін | 5,7 | 5,1 | 5,7 |
| Валін | 2,6 | 1,9 | |
| Фенілаланін | 5,4 | 8,3 | 5,0 |
| Лейцини | 4,2 | 4,0 | 3,2 |

гальний вміст амінокислот кукурудзи визначається саме ними. Малі кількості лізину, треоніну, валіну, сліди цистеїн-цистину. Проміжне становище займають метіонін, фенілаланін, група лейцинів. З віком вміст вільних амінокислот зменшується, зокрема кількість аспарагінової кислоти, серину і гліцину, що збігається з літературними даними.

Результати визначення кількісного вмісту вільних амінокислот під впливом мінеральних добрив наведені в таблиці 3.

*Таблиця 3*

**Кількісний вміст амінокислот у листях кукурудзи при звичайних дозах добрив (в *мг*/100 *г* сухої ваги)**

| Амінокислоти | Закарпатська жовта зубовидна | | | | | | | Гібрид Буковинський 3 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | контроль | N | NK | NP | PK | NPK | приріст амінокислот (*мг*) NPK/контроль | контроль | N | NK | NPK | приріст амінокислот (*мг*) NPK/контроль |
| Цистин-цистеїн | сліди | сліди | 0,9 | сліди | сліди | сліди | — | сліди | сліди | сліди | сліди | — |
| Лізин | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 3,01 | 6,0 | 8,0 | 4,0 | 2,03 | 2,07 | 2,7 | 3,57 | 1,54 |
| Аспарагінова кислота | 5,8 | 7,8 | 15,7 | 13,1 | 11,0 | 21,2 | 15,4 | 4,01 | 6,8 | 8,1 | 12,2 | 8,19 |
| Серин-гліцин | 8,32 | 8,02 | 8,2 | 8,0 | 9,8 | 9,8 | 1,48 | 3,3 | 6,1 | 6,1 | 6,2 | 2,9 |
| Глютамінова кислота | 19,4 | 31,3 | 44,4 | 30,2 | 24,5 | 50,9 | 31,5 | 28,7 | 31,5 | 33,2 | 31,6 | 2,9 |
| Треонін | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 3,3 | 4,6 | 2,5 | 0,9 | 1,6 | 1,8 | 2,8 | 1,4 |
| Аланін | 14,3 | 20,5 | 18,7 | 18,1 | 25,4 | 24,9 | 10,6 | 27,2 | 31,5 | 32,6 | 41,8 | 14,6 |
| Тирозин | 5,2 | 5,9 | 6,6 | 5,5 | 8,8 | 8,9 | 3,7 | 1,2 | 3,5 | 3,3 | 4,6 | 3,4 |
| Метіонін | 5,7 | 7,6 | 10,7 | 9,1 | 9,9 | 10,7 | 5,0 | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 8,0 | 2,3 |
| Валін | 2,6 | 3,0 | 5,1 | 3,8 | 5,2 | 5,2 | 2,6 | | | | | |
| Феніл-аланін | 5,4 | 6,0 | 10,0 | 8,2 | 10,0 | 14,5 | 9,1 | 5,0 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 0,2 |
| Лейцини | 4,2 | 5,3 | 7,9 | 7,2 | 8,6 | 11,5 | 7,3 | 3,2 | 4,0 | 4,0 | 4,8 | 1,6 |
| Сума амінокислот | 77,0 | 101,5 | 127,2 | 108,1 | 122,5 | 179,2 | 102,18 | 81,2 | 96,1 | 102,9 | 120,4 | 39,1 |

*Таблиця 4*

**Вплив підвищених доз мінеральних добрив на вміст вільних амінокислот у листях кукурудзи (в *мг*/100 *г* сухої ваги)**

| Амінокислоти | Закарпатська жовта зубовидна | | | | | | | | Гібрид Буковинський 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NPK | 2NPK | NP2K | N2PK | NPK | 2NPK | NP2K | N2PK | NPK | 2NPK | NP2K | N2PK |
| | 15/VI | | | | 5/IX | | | | 15/VI | | | |
| Цистеїн-цистин | 2,9 | 5,3 | 5,0 | 5,6 | сліди | сліди | сліди | сліди | сліди | сліди | сліди | сліди |
| Лізин | 8,0 | 5,3 | 5,3 | 5,0 | 6,3 | 6,6 | 7,3 | 5,1 | 3,57 | 5,35 | 5,0 | 4,0 |
| Аспарагінова кислота | 21,2 | 20,8 | 21,0 | 21,8 | 5,3 | 6,4 | 5,3 | 5,2 | 12,2 | 12,0 | 17,8 | 11,8 |
| Серин-гліцин | 9,8 | 8,0 | 8,1 | 8,0 | 8,4 | 7,0 | 8,7 | 6,9 | 6,2 | 7,5 | 6,5 | 7,2 |
| Глютамінова кислота | 50,9 | 51,6 | 50,2 | — | 17,9 | 20,7 | 24,3 | 20,5 | 31,6 | 54,8 | 50,0 | 45,0 |
| Треонін | 4,6 | 4,1 | 4,0 | 3,0 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 1,7 | 2,3 | 3,0 | 2,3 | 2,3 |
| Аланін | 24,9 | 31,2 | 33,0 | — | 30,1 | 30,1 | 30,0 | 31,7 | 41,8 | 57,0 | 50,0 | 51,1 |
| Тирозин | 8,9 | 10,8 | 11,0 | 8,0 | 3,2 | 5,6 | 6,8 | 5,7 | 4,6 | 4,9 | 3,5 | 4,5 |
| Метіонін | 10,7 | 10,1 | 10,3 | 8,0 | 6,9 | 9,6 | 16,0 | 9,9 | 8,0 | 10,5 | 5,8 | 8,5 |
| Валін | 5,2 | 7,4 | 7,8 | 5,1 | | | | | | | | |
| Фенілаланін | 14,5 | 8,1 | 12,9 | 8,1 | 9,3 | 8,8 | 11,2 | 8,3 | 5,2 | 8,2 | 5,5 | 7,7 |
| Лейцини | 11,5 | 8,3 | 10,2 | 8,3 | 10,3 | 11,0 | 12,4 | 10,8 | 4,8 | 5,6 | 4,8 | 4,8 |
| Сума амінокислот | 173,1 | 171,0 | 178,8 | — | 99,9 | 107,7 | 114,7 | 105,4 | 120,4 | 168,8 | 156,2 | 152,9 |

Дані табл. 3 показують, що варіант NPK дає найбільш значне зростання амінокислот. Порівняно з контролем зростають аспарагінова кислота, аланін, глютамінова кислота, менше серин і гліцин. У Закарпатській жовтій зубовидній бачимо збільшення фенілаланіну та групи лейцинів.

В таблиці 4 показаний вплив підвищених доз добрив на вміст вільних амінокислот кукурудзи.

З даних таблиці 4 випливає, що внесення подвійних кількостей азоту, фосфору та калію на фоні NPK не відбилося на вмісті амінокислот у сорті Закарпатська жовта зубовидна і збільшило їх кількість у гібриді Буковинський 3 за рахунок зростання аланіну та глютамінової кислоти. Однак вміст більшості амінокислот майже не змінювався або збільшувався в незначних межах.

Одержані дані по вивченню вмісту вільних амінокислот у листях кукурудзи та впливу на них мінеральних добрив показали, що головними вільними амінокислотами є аспарагінова і глютамінова кислоти, аланін.

При внесенні під кукурудзу звичайних норм добрив не лише азот, але й фосфор з калієм (варіант PK) збільшують вміст вільних амінокислот. Однак найбільший вміст амінокислот спостерігається у варіанті NPK. Зростання кількості амінокислот у варіанті NPK досягається в основному за рахунок нагромадження глютамінової, аспарагінової кислот та аланіну.

У варіанті PK значно підвищується вміст аспарагінової кислоти та аланіну і менше — глютамінової кислоти.

Варіант NK відрізняється від NP лише збільшеною кількістю глютамінової кислоти. Отже, азот сприяє нагромадженню глютамінової кислоти, тоді як фосфор і калій — нагромадженню аланіну.

Можна також відмітити, що у варіанті NK вміст вільних амінокислот був більшим порівняно з варіантом NP.

Застосування підвищених доз добрив показало, що вміст вільних амінокислот найбільше зростає при додатковій дозі азоту, в меншій мірі при подвійній дозі фосфору (у гібрида Буковинського 3). Це зростання знов обумовлене збільшенням кількості глютамінової кислоти, аланіну та аспарагінової кислоти.

Одержані результати показують, що в азотовому обміні кукурудзи центральне місце займає глютамінова кислота, яка стоїть у центрі процесів переамінування. За своїм значенням в обміні амінокислот до неї наближаються аланін та аспарагінова кислота.

Звертає увагу те, що вміст багатьох амінокислот, які знаходяться в незначних кількостях, не зазнає значних змін при різних режимах живлення.

## ВИСНОВКИ

1. Застосування мінеральних добрив не лише підвищує врожай кукурудзи, але й значно збільшує кількість азоту, зокрема вільних амінокислот у листі.

2. Особливо помітне нагромадження вільних амінокислот спостерігається при внесенні звичайних доз добрив, тоді як подвоєння норм окремих елементів дає менше зростання. Порівняння однобічного удобрення азотом, фосфором, калієм з внесенням азоту, фосфору та калію разом показує перевагу повного удобрення.

3. Порівняння удобрення азотом і калієм (варіант NK) з азотом і

фосфором (варіант NP) показало, що калій в більшій мірі впливає на нагромадження вільних амінокислот, ніж фосфор.

4. Зростання кількості амінокислот обумовлене в основному нагромадженням глютамінової кислоти, аланіну та аспарагінової кислоти. Вміст інших амінокислот змінювався незначно.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дадыкин В. П., Игумнова З. С. О содержании аминокислот в молодых растениях пшеницы при изолированном питании. «Физиология растений», т. 3, вып. 5, 1956.

2. Курсанов А. Л., Туева О. Ф., Верещагин А. Г. Углеводно-фосфорный обмен и синтез аминокислот в корнях тыквы. «Физиология растений», т. 1, вып. 1, 1954.

3. Калинкевич А. Ф., Удовенко Г. В. К вопросу о влиянии условий питания на содержание аминокислот в растениях. ДАН СССР, т. 126, 1959, № 3.

4. Плешков Б. П., Иванко Ш., Антонова Т. В. Влияние условий питания на содержание свободных аминокислот в листьях фасоли. ДАН СССР, т. 117, 1957, № 6.

5. Плешков Б. П., Шмырева Т. В., Иванко Ш. Изменение содержания отдельных аминокислот в листьях и корнях кукурузы в зависимости от условий питания растений. «Физиология растений», т. 6, вып. 6, 1959.

6. Плешков Б. П., Фауден Л. Содержание свободных аминокислот и аминокислотный состав белков листьев ячменя в зависимости от условий минерального питания и возраста растений. Изв. ТСХА (5/30), 1959.

7. Собачкин А. А. Влияние молибдена на синтез амидов и аминокислот в растениях. Доклады ТСХА, вып. 34, 1958.

8. Hewitt E. J., Jones E. W., Williams A. H. Relation of molybdenum and manganese on the free amino-acid content of the canli-flower. «Nature» vol. 163, № 4148, 1949.

9. Pleshkov B. P., Fowden L. Aminoacid composition of the proteins of barley leaves in relation to the mineral nutrition and age of plants. «Nature», vol. 183, № 4673, 1959.

10. Richards F. J., Coleman R. G. Occurence of putrescine in potassium-deficient barley. «Nature» vol. 170, № 4324, 1952.

11. Richards F. J., Berner E. A general surwey of the free amino-acids of barley leaves as affected by mineral nutrition, with special reference to potassium supply. Annals of Botany, vol. 18, 1954, № 69.

12. Steinberg R. A., Bowling J. D., Mc Murtry J. E. Accumulation of free amino-acids as a chemical basis for morphological symptoms in tobacco manifesting trenching and mineral deficiency symptoms. «Plant Physiology», vol. 25, № 2, 1950.

А. М. БОГАТЧУК

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ И СОСТАВ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В ЛИСТЬЯХ КУКУРУЗЫ

### Резюме

Применение минеральных удобрений не только повышает урожай кукурузы, но и значительно увеличивает содержание азота, в частности свободных аминокислот в листьях.

Заметное накопление свободных аминокислот наблюдается при внесении обычных доз удобрений, тогда как удвоение норм отдельных элементов дает меньшее увеличение.

Сравнение одностороннего удобрения азотом, калием и фосфором с внесением азота, фосфора и калия вместе показывает преимущество полного удобрения.

Сравнение удобрения фосфором и калием (вариант РК) с азотом и фосфором (вариант NP) показало, что калий в большей степени влияет на накопление свободных аминокислот, чем фосфор.

Увеличение количества аминокислот обусловлено в основном накоплением глютаминовой кислоты, аланина и аспарагиновой кислоты, содержание других аминокислот изменялось незначительно.