

## ВМІСТ КАРОТИНОЇДІВ В ЗЕРНІ ЛІНІЙ КУКУРУДЗИ

**Б. В. Дзюбецький**, доктор сільськогосподарських наук;

**Т. М. Сатарова**, доктор біологічних наук;

**В. Ю. Черчель**, кандидат сільськогосподарських наук;

**Т. А. Дяченко<sup>1</sup>, Ю. О. Гончаров**

ДУ Інститут зернових культур НААН України;

<sup>1</sup>Науково-виробниче фермерське господарство «Компанія Маїс»

*Визначено вміст каротиноїдів в зерні кукурудзи за  $\beta$ -каротином залежно від генетичного походження селекційного матеріалу. Наведена порівняльна характеристика даного показника в зерні селекційно перспективних ліній кременистого, кременисто-зубовидного і зубовидного підвидів.*

*Ідентифіковано лінії (ДК2323, ДК44, МС814, ДК2442 та ін.), які мають підвищений вміст каротиноїдів і можуть слугувати донорами цієї ознаки окремим групам, для яких реалізується програма поліпшення кукурудзи.*

**Ключові слова:** кукурудза, селекція, самозапилена лінія, каротиноїди,  $\beta$ -каротин, зерно.

Кукурудза відіграє головну роль у світовому виробництві рослинницької продукції завдяки унікальності її генетичних, морфобіологічних і господарських складових, які зумовлюють різнопланове використання рослин цієї культури, значний ареал її посівів, високу технологічність вирощування, найбільший серед зернових потенціал продуктивності, особливі кормові та харчові якості [1]. Пріоритетним напрямком виробництва кукурудзи в різних країнах є вирощування на зерно, яке широко використовується на продовольчі, кормові й технічні цілі. В Україні кукурудза також є важливою кормовою культурою для забезпечення галузі тваринництва концентрованими кормами, силосом і зеленою масою [2].

Кукурудза – одна з найбільш опрацьованих у селекційному відношенні зернових культур, дослідженням якої в нашій країні постійно приділяється значна увага, особливо в напрямку створення і вивчення нового вихідного матеріалу з широким спектром використання та різноманітною генетичною основою.

Значний прогрес в селекції кукурудзи має місце завдяки великій кількості господарсько-цінних мутацій за їх моногенного чи полігенного успадкування, що дає можливість використовувати продукцію даної культури в різних галузях виробництва: харчовій, кормовій, технічній, медичній тощо. Насамперед, це пов'язано зі здатністю кукурудзи до значних змін хімічного складу зерна в будь-якому заданому напрямку. Одним з них є підвищення якості зерна шляхом збільшення вмісту вітамінів, зокрема каротиноїдного комплексу [3].

Каротиноїди являють собою значну кількість жиророзчинних сполук. Вони є одним з найбільш поширених класів рослинних пігментів, який відіграє важливу роль у профілактиці захворювань як людини, так і тварин та має широкі перспективи використання в клінічній практиці. Фізіологічна роль каротиноїдів досить різноманітна, до того ж ці біологічно активні речовини відзначаються фармакологічними властивостями [4].

Для людства сполуки каротиноїдів мають дуже важливе значення, оскільки беруть участь в посиленні імунітету і зниженні ризику системних чи хронічних захворювань, профілактиці раку, серцево-судинних захворювань, катаракти тощо.

Дія каротиноїдів проти хвороб пояснюється їх антиоксидантними властивостями, зокрема здатністю гальмувати дію синглетного кисню і взаємодіяти із вільними радикалами [5, 6].

Близько 50 каротиноїдів містять активний провітамін жиророзчинного вітаміну А (ретинолу). Ретинол вважають вітаміном зору, оскільки його дефіцит в організмі викликає захворювання очей. Крім того, вітамін А приймає участь в утворенні тканин, включаючи кісткові, і є надзвичайно важливим для підтримки фізіологічного стану організму та процесів його формування. Серед каротиноїдів  $\beta$ -каротин є найбільш потужною і поширеною спо-

лукою [7, 8]. Відомо, що у представників тваринного світу відсутні природні механізми синтезу  $\beta$ -каротину, тому він повинен надходити до організму, в основному, за рахунок продуктів рослинного походження. У подальшому  $\beta$ -каротин завдяки окислювальному розщепленню трансформується в печінці у вітамін А [6].

Згідно з наявною літературою, як вітчизняною, так і зарубіжною [5, 7, 9, 10], кукурудза характеризується значним вмістом каротиноїдів у самій рослині та зерні, що робить її основним джерелом  $\beta$ -каротину в харчуванні людей на територіях, де їхня чисельність становить понад 1,2 млрд – регіони Африки та Латинської Америки. Споживання продуктів, виготовлених з цього злаку, забезпечує добову потребу людини у вітаміні А, яка коливається від 1,5–2,5 до 3–5 мг.

Виходячи із наведених даних, ознака «вміст  $\beta$ -каротину» являє собою інтерес для селекційних програм при генерації нового вихідного матеріалу, призначеного для виробництва біофортифікованих харчових продуктів [7, 8].

Планування досліджень із вивчення вихідного матеріалу кукурудзи, неоднакового за концентрацією та співвідношенням каротиноїдів у зерні, базується на адитивному успадкуванні ознаки у форм із різними відтінками жовтого та червоного забарвлення алейронового прошарку ендосперму. Однак отримання гібридів кукурудзи з підвищеним вмістом провітаміну А в зерні побудоване не тільки на поєднанні ліній з максимальною експресією генів, які визначають вміст каротиноїдів, але й на пошуку комбінацій з проявом позитивного ефекту гетерозису за цією ознакою [11].

Накопичення каротину в зерніві гібрида можна передбачити з високою точністю ґрунтуючись на даних середнього вмісту батьківських компонентів; відповідна закономірність поширюється також на наступні покоління бекросних гібридів [11]. Це важливо в перспективі при виконанні програм з інбридингу та прогнозу добору необхідних генотипів.

Визначення каротиноїдів, зокрема  $\beta$ -каротину, можна проводити двома основними методами – спектрофотометричним і хроматографічним. Причому, обидва передбачають екстракцію цих речовин з рослинного матеріалу такими сполуками, як хлороформ, гексан, ацетон та деякими іншими [4–6, 12–14].

Дослідження проводилися на базі Інституту сільського господарства степової зони в лабораторії біотехнології, фізіології та методів селекції за фінансової підтримки Науково-виробничого фермерського господарства "Компанія Маїс".

Мета досліджень полягає у порівняльній оцінці вмісту каротиноїдів за  $\beta$ -каротином у зерні селекційно перспективних ліній кукурудзи кременистого, кременисто-зубовидного та зубовидного підвидів для дальшого їх використання як батьківських компонентів при створенні гібридів із бажаними показниками якості.

Об'єктом досліджень були 43 самозапилені лінії кукурудзи (*Zea mays* L.) різних груп стиглості і геноплазм селекції ДУ Інститут зернових культур, з яких 12 належали до кременистої групи, 16 – кременисто-зубовидної та 15 – зубовидної групи. Вони були відібрані виходячи з попередньої оцінки за комплексом селекційних ознак, в тому числі за комбінаційною здатністю, що уможливорює розглядати їх як перспективний вихідний матеріал для селекції гібридів різних груп стиглості і напрямків використання.

Вміст  $\beta$ -каротину визначали спектрофотометричним методом [6, 12]. Для аналізу використовували повністю достигле зерно. Відбирали середню пробу зерна (масою 200 г) кожної досліджуваної лінії. Аналіз проводили в триразовій аналітичній повторності. Маса наважки для аналізу становила 6 г, екстракцію здійснювали 30 мл хлороформу. Оптичну щільність отриманого екстракту встановлювали на спектрофотометрі СФ-2000 при довжині хвилі 450 нм. Вміст каротиноїдів за  $\beta$ -каротином розраховували в мг на 1 кг зерна у перерахунку на абсолютно суху речовину (АСР).

Статистична обробка отриманих даних виконана за Б. О. Доспеховим [15]. Дані в таблицях представлені у вигляді  $x \pm \Delta_{0,05}$ , де  $x$  – середнє арифметичне значення показника,  $\Delta_{0,05}$  – довірчий інтервал на рівні значущості 0,05, причому  $\Delta = mt_{0,05}$ , де  $m$  – похибка серед-

нього арифметичного,  $t$  – критерій Ст'юдента на рівні значущості 0,05. Проведена ідентифікація та класифікація ліній на групи із високим (більше 4,00 мг/кг), низьким (менше 2,00 мг/кг) і середнім ( $>2,00 < 4$  мг/кг) вмістом  $\beta$ -каротину в зерні.

Визначення середнього вмісту  $\beta$ -каротину у ліній з різною консистенцією зерна свідчить про відсутність достовірної різниці між ними за цим показником (табл. 1). Проте існує тенденція до підвищення рівня  $\beta$ -каротину в кременистих ліній і його зниження при переході до зубовидних. Про таку закономірність неодноразово згадується і в наукових джерелах [3, 11]. Так, кременисті лінії поступалися кременисто-зубовидним і зубовидним лініям за показниками варіювання ознаки за крайніми значеннями у середині групи, розмахом варіювання, дисперсією, стандартним відхиленням і коефіцієнтом варіації. Незважаючи на більш високий середній вміст  $\beta$ -каротину в зерні кременистих ліній, найвищі його значення були у лінії ДК2323 з групи кременисто-зубовидних.

### 1. Вміст $\beta$ -каротину в зерні різних ліній кукурудзи

Показник	Лінії			
	кременисті	кременисто-зубовидні	зубовидні	у цілому
$\bar{x} \pm \Delta_{0,05}$ , мг/кг	3,71 $\pm$ 0,07	3,68 $\pm$ 0,13	3,53 $\pm$ 0,18	3,65 $\pm$ 0,01
Lim, мг/кг	1,87 $\pm$ 5,21	2,28 $\pm$ 7,99	1,45 $\pm$ 6,93	1,45 $\pm$ 7,99
Діапазон розмаху, мг/кг	3,34	5,71	5,48	6,54
Дисперсія	0,74	1,88	2,89	1,83
Стандартне відхилення, мг/кг	0,86	1,37	1,70	1,35
Коефіцієнт варіації, %	23,2	37,2	48,1	37,0
n	12	16	15	43

Щодо аналізу вмісту  $\beta$ -каротину конкретних ліній, то у 12 зразків кременистої кукурудзи він коливався від 1,87 мг/кг у лінії ДК4538 до 5,21 у лінії ДК204/273 (табл. 2). До групи з високим вмістом  $\beta$ -каротину увійшли 4 лінії: ДК204/273, ДК200, ДК3472, ДК9527 і лише ДК4538 відзначалась низьким його рівнем. Кількість ліній, у яких цей показник коливався від 2,52 до 3,98 мг/кг, становила 58,3 % і вони являли собою окрему групу з середнім вмістом  $\beta$ -каротину. Нами не виявлено взаємозв'язку між вказаним показником і групою стиглості. Зокрема, досить високим вміст був як у середньоранньої лінії ДК204/273, так і у ранньостиглої ДК200.

### 2. Вміст $\beta$ -каротину в зерні ліній кременистої кукурудзи

№ пп	Лінія	ФАО	Вміст $\beta$ -каротину, мг/кг зерна у перерахунку на АСР
1	ДК204/273	220	5,21 $\pm$ 0,05
2	ДК200	160	4,54 $\pm$ 0,13
3	ДК3472	280	4,06 $\pm$ 0,27
4	ДК9527	220	4,02 $\pm$ 0,06
5	ДК253	200	3,98 $\pm$ 0,24
6	ДК247/959	230	3,85 $\pm$ 0,38
7	ДК247МВ	240	3,74 $\pm$ 0,40
8	МС239-2	260	3,73 $\pm$ 0,03
9	ДК206А	170	3,64 $\pm$ 0,41
10	ДК276	240	3,38 $\pm$ 0,31
11	ДК959	190	2,52 $\pm$ 0,03
12	ДК4538	190	1,87 $\pm$ 0,04

Отже, для селекції гібридів з підвищеним вмістом  $\beta$ -каротину в зерні, в першу чергу, можна рекомендувати кременисті лінії ДК204/273 та ДК200, а також ДК3472 і ДК9527 як донорів високого вмісту каротину.

За майже однакового середнього вмісту  $\beta$ -каротину з кременистими лініями, для групи з 16 ліній кременисто-зубовидної кукурудзи встановлено значно більший розмах його варіації ( $V = 23,2$  та  $37,2$  % відповідно) (табл. 3). Показники вмісту  $\beta$ -каротину коливалися від  $2,28$  мг/кг (лінія ДК2380) до  $7,99$  мг/кг (лінія ДК2323) і це найбільш високе значення серед усіх досліджуваних груп. Лише 25 % ліній характеризувались високим вмістом  $\beta$ -каротину – ДК2323 ( $7,99$  мг/кг), ДК9053 ( $5,14$ ), ДК2727 ( $4,52$ ) та ДК6356 ( $4,15$  мг/кг). У решти ліній цей показник мав середні значення. Слід зауважити, що дана група була представлена лініями, які найбільше відрізнялись за тривалістю вегетаційного періоду. Проте нами не виявлено достовірних зв'язків між вмістом  $\beta$ -каротину та їх скоростиглістю. Кількість  $\beta$ -каротину була майже однаковою як у ранньостиглої лінії ДК6356, так і середньопізньої – ДК445 –  $4,15$  та  $3,87$  мг/кг відповідно.

### 3. Вміст $\beta$ -каротину в зерні ліній кременисто-зубовидної кукурудзи

№ пп	Лінія	ФАО	Вміст $\beta$ -каротину, мг/кг зерна у перерахунку на АСР
1	ДК2323	230	$7,99 \pm 0,62$
2	ДК9053	350	$5,14 \pm 0,31$
3	ДК2727	240	$4,52 \pm 0,34$
4	ДК6356	190	$4,15 \pm 0,43$
5	ДК445	450	$3,87 \pm 0,43$
6	МС3672	230	$3,67 \pm 0,63$
7	ДК308	220	$3,45 \pm 0,11$
8	ДК285	380	$3,29 \pm 0,43$
9	ДК364	400	$3,21 \pm 0,25$
10	ДК2973	280	$3,06 \pm 0,44$
11	ДК2966	260	$2,98 \pm 0,48$
12	ДК4169	370	$2,98 \pm 0,06$
13	ДК273	230	$2,93 \pm 0,08$
14	ДК366	200	$2,82 \pm 0,23$
15	ДК3051	270	$2,48 \pm 0,45$
16	ДК2380	320	$2,28 \pm 0,26$

### 4. Вміст $\beta$ -каротину в зерні ліній зубовидної кукурудзи

№ пп	Лінія	ФАО	Вміст $\beta$ -каротину, мг/кг зерна у перерахунку на АСР
1	МС814	320	$6,93 \pm 0,85$
2	ДК44	330	$6,40 \pm 0,68$
3	ДК2442	320	$5,54 \pm 0,97$
4	ДК633/325	400	$4,61 \pm 0,22$
5	ДК4263	350	$4,21 \pm 0,10$
6	ДК3044	350	$4,13 \pm 0,27$
7	ДК680	300	$3,52 \pm 0,12$
8	ДК4273	320	$3,08 \pm 0,27$
9	ДК772/М2	350	$2,59 \pm 0,26$
10	ДК7774	350	$2,41 \pm 0,62$
11	ДК7337	320	$2,40 \pm 0,26$
12	ДК6337	340	$2,26 \pm 0,15$
13	ДК239	260	$2,14 \pm 0,06$
14	ДК7408	290	$1,76 \pm 0,37$
15	ДК2777	270	$1,45 \pm 0,10$

Так, до зубовидної групи ввійшло 15 ліній, серед яких лише одна – середньопізняя (ДК633/325), три – середньоранні (ДК239, ДК7408 і ДК2777), а решта – середньостиглі (табл. 4). У зубовидних ліній коливання вмісту  $\beta$ -каротину було найвищим, на що вказує коефі-

цієнт варіації – 48,1 %. Згідно з класифікацією 40 % ліній занесені до групи з високим вмістом  $\beta$ -каротину, 46,7 % – середнім, а 13,3 % – низьким.

В зерні ліній ДК44 і МС814 вміст  $\beta$ -каротину становив 6,40 та 6,93 мг/кг і перевищував середній показник ліній на 75,3 та 89,9 % відповідно. Заслуговує на увагу той факт, що найвищі показники за вмістом  $\beta$ -каротину виявлено у ліній, які пов'язані із плазмою Рейд (BSSS) (ДК2323, ДК44, МС814, ДК2442 та ін.), а найменші – Айодент (ДК7408, ДК2777). Проте для встановлення відповідних закономірностей необхідно розширити вибірку ліній. Враховуючи високу комбінаційну здатність ліній за врожайністю зерна, їх можна використовувати в селекційних програмах з поліпшення якості зерна гібридів кукурудзи.

**Висновок.** Ідентифіковано низку ліній (ДК2323, ДК44, МС814, ДК2442 та ін.), які вирізняються підвищеним вмістом  $\beta$ -каротину в зерні і можуть слугувати джерелом даної ознаки для окремих груп використання в селекційних програмах з поліпшення кукурудзи. Не виявлено тісних достовірних зв'язків між вмістом  $\beta$ -каротину, з одного боку, та консистенцією зерна і тривалістю вегетаційного періоду з іншого.

### Бібліографічний список

1. Янош Н. Кукурудза / Н. Янош; [ред. Д. Ю. Корзун]. – Вінниця.: ФОП, 2012. – 580 с.
2. Зінченко О. І. Рослинництво: [підруч.] / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; [За ред. О. І. Зінченка]. – К.: Аграр. освіта, 2001. – 591 с.
3. Samples with high carotenoid and anthocyan contents in maize heterosis breeding / [V. Yu. Cherschel, B. V. Dzubetskij, T. A. Myronenko et al.] // 57-th Annual Maize Genetics Conference. – 2015. – P. 224.
4. Курегян А. Г. Изучение каротиноидов тыквы методами спектрофотометрии и тонкослойной хроматографии / А. Г. Курегян // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/viewid=19732> (дата обращения: 10.08.2016)
5. Rios S. A. Color of corn grains and carotenoid profile of importance for human health / S. A. Rios, M. C. D. Paes, W. S. Cardoso // American Journal of Plant Sciences. – 2014. – № 5. – P. 857–862.
6. Rodriguez-Amaya D. B. HarvestPlus. Hand book for carotenoid analysis / D. B. Rodriguez-Amaya, M. Kimura. – Washington.: HarvestPlus, 2004. – 58 p.
7. Natural genetic variation in lycopene epsilon cyclase tapped for maize biofortification / [C. E. Harjes, T. R. Rocheford, L. Bai et al.] // Science. – 2008. – Vol. 319. – P. 330–333.
8. QTL and candidate genes phytoene synthase and z-carotene desaturase associated with the accumulation of carotenoids in maize / [J. C. Wong, R. J. Lambert, E. T. Wurtzel et al.] // Theor. Appl. Genet. – 2004. – Vol. 108, № 2. – P. 349–359.
9. Губський Ю. І. Біологічна хімія: [підруч.] / Ю. І. Губський. – К.-Тернопіль: Укрмедкнига, 2000. – 508 с.
10. Карнаухов, В. Н. Биологические функции каротиноидов / В. Н. Карнаухов. – М.: Наука, 1988. – 240 с.
11. Югенхеймер Р. У. Кукурудза: улучшение сортов, производство семян, использование / Р. У. Югенхеймер; Пер. з англ. Г. В. Дерягина, Н. А. Емельяновой; ред. с предисл. Г. Е. Шмараева. – М.: Колос, 1979. – 519 с.
12. Хроматографическое определение натуральных и искусственных каротиноидов в пищевых продуктах / [О. Б. Рудаков, Л. И. Перикова, В. М. Болотов и др.] // Вестн. ВГУ. – 2004. – № 1. – С. 78–84. – (Серия: Химия. Биология. Фармация).
13. Использование метода спектрофотометрии при определении наличия биологически активных веществ / [Л. С. Байдалинова, Е. С. Землякова, В. А. Мельникова и др.] // Спектрометрические методы анализа: II Всероссийская науч. Интернет-конф. с международным участием / Сервис виртуальных конференций РахGrid; [сост. Синяев Д. Н.]. – Казань; ИП Синяев Д. Н., 2014. – 224 с.
14. Девяткин В. А. Методы химического анализа в производстве витаминов / В. А. Девяткин. – М.: Медицина, 1964. – 361 с.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
16. ГОСТ Р 51443-99 Соки фруктовые и овощные. Метод определения содержания общих каротиноидов и их фракционного состава. – М.: Госстандарт, 1999. – 10 с.