

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. Дяченко¹, Ю. О. Гончаров

ДУ Інститут зернових культур НААН України;

¹Науково-виробниче фермерське господарство «Компанія Маїс»

Визначено вміст каротиноїдів в зерні кукурудзи за β -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, β -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 β -каротин є найбільш потужною і поширеною сполукою [7, 8]. Відомо, що у представників тваринного світу відсутні природні механізми синтезу β -каротину, тому він повинен надходити до організму, в основному, за рахунок продуктів рослинного походження. У подальшому β -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 β -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 β -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 зерні 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 β -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 β -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 уможливило розглядати їх як перспективний вихідний матеріал для селекції гібридів різних груп стиглості і напрямків використання.

Вміст β -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 β -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 середнього 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 β -каротину в зерні.

Визначення середнього вмісту β -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 β -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 β -каротину в зерні кременистих ліній, найвищі його значення були у лінії ДК2323 з групи кременисто-зубовидних.

1. Вміст β -каротину в зерні різних ліній кукурудзи

Показник	Лінії			
	кременисті	кременисто-зубовидні	зубовидні	у цілому
$x \pm \Delta_{0,05}$, 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 β -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 β -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 β -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 β -каротину в зерні ліній кременистої кукурудзи

№ пп	Лінія	ФАО	Вміст β -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 β -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 β -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 β -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 β -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 β -каротину та їх скоростиглістю. Кількість β -каротину була майже однаковою як у ранньостиглої лінії ДК6356, так і середньопізньої – ДК445 – $4,15$ та $3,87$ мг/кг відповідно.

3. Вміст β -каротину в зерні ліній кременисто-зубовидної кукурудзи

№ пп	Лінія	ФАО	Вміст β -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 β -каротину в зерні ліній зубовидної кукурудзи

№ пп	Лінія	ФАО	Вміст β -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 – середньопізня (ДК633/325), три – середньоранні (ДК239, ДК7408 і ДК2777), а решта – середньостиглі (табл. 4). У зубовидних ліній коливання вмісту β -каротину було найвищим, на що вказує коефіцієнт варіації – 48,1 %. Згідно з класифікацією 40 % ліній занесені до групи з високим вмістом β -каротину, 46,7 % – середнім, а 13,3 % – низьким.

В зерні ліній ДК44 і МС814 вміст β -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 β -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 β -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 β -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. Cherchel, 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.] // Спектриметрические 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.