

© О.А. Орловская<sup>1</sup>, С.И. Вакула<sup>1</sup>,  
Л.В. Хотылева<sup>1</sup>, А.В. Кильчев-  
ский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГНУ «Институт генетики и цитологии» НАН Беларуси;

<sup>2</sup> НАН Беларуси

**Кукуруза** — единственная из основных зерновых культур, способная накапливать значительное количество каротиноидов, которые являются предшественниками провитамина А. Проведена оценка ассоциации уровня содержания каротиноидов в зерне кукурузы с аллельным полиморфизмом *PSY1 InDel1*. В работе использовали коллекцию из 54 генотипов кукурузы различного эколого-географического происхождения, методы ПЦР-анализа, спектрофотометрии, статистический анализ. Показано, что в эндосперме генотипов, несущих благоприятный аллель *InDel1*, содержание каротиноидов в среднем составило 0,60 мг/100 г, что достоверно выше, чем у образцов с неблагоприятным аллелем (0,43 мг/100 г). Таким образом, использование ПЦР-маркеров к полиморфизму *PSY1 InDel1* является надежным методом идентификации перспективных генотипов кукурузы с высоким уровнем накопления каротиноидов в зерне.

✿ **Ключевые слова:** кукуруза; каротиноиды; ген *PSY1*; ПЦР-маркеры.

## АССОЦИАЦИЯ УРОВНЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ КАРОТИНОИДОВ В ЗЕРНЕ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS L.*) С АЛЛЕЛЬНЫМ ПОЛИМОРФИЗМОМ САЙТА *INDEL1* ГЕНА *PSY1*

### ВВЕДЕНИЕ

Витамин А необходим для развития и нормального функционирования зрительной, иммунной и половой систем, поддержания целостности эпителиальных тканей [9]. По данным Всемирной организации здравоохранения, витамин А является одним из наиболее дефицитных витаминов, необходимых для жизнедеятельности человека [4]. Однако в организме человека он не синтезируется и, следовательно, должен поступать с пищей. Кукуруза — единственная из основных зерновых культур, способная накапливать значительное количество каротиноидов, которые, являясь предшественниками провитамина А (про-А) и антиоксидантами, обеспечивают защиту от рака и ряда хронических заболеваний [5]. Про-А включает в себя β- и α-каротин, β-криптоксантин, которые в результате окислительного расщепления могут быть преобразованы в витамин А. Тем не менее содержание про-А обычно составляет только 10–20 % от общего объема каротиноидов зерна кукурузы, в то время как содержание лютеина и зеаксантина достигает 45 и 35 % соответственно [3]. Концентрацию данного провитамина можно повысить селекционным путем, используя природную генетическую изменчивость уровня каротиноидов в зерне кукурузы. Одной из основных проблем селекции кукурузы с высоким уровнем накопления про-А является значительная стоимость анализа содержания компонентов каротиноидов в зерне методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Маркер-сопутствующая селекция, используя недорогие ДНК-маркеры, тесно сцепленные с целевыми локусами, может помочь в ее решении. Последние достижения в области молекулярной биологии позволили выявить ключевые гены, участвующие в регуляции биосинтеза каротиноидов. Установлено, что у кукурузы решающую роль в накоплении про-А играют три гена — *PSY1*, *LcyE* и *CrtRB1* [6]. Фермент фитоенсинтаза (кодируется геном *PSY1*) катализирует первый этап биосинтеза, ведущий к образованию фитоена из геранилгеранилпирофосфата. Следующим ключевым этапом является циклизация ликопина. Ликопин-ε-циклаза (*LCYE*) и/или ликопин-β-циклаза (*LCYB*) замыкает молекулу ликопина в кольцо, формируя молекулы α-каротина и β-каротина. β-каротингидроксилаза (*CRTRB*) катализирует превращение α-каротина и β-каротина в зеаксантин/лютеин и β-криптоксантин/зеаксантин соответственно. Гены *PSY1*, *LcyE* и *CrtRB1* по-разному влияют на содержание про-А. Высокий уровень естественной изменчивости компонентов про-А во многом связан с повышением активности *PSY1* [6] и со снижением экспрессии *LcyE* и *CrtRB1* [4], что соответствует биологическим функциям этих генов. Сочетание благоприятных аллелей *LcyE* и *CrtRB1* увеличивает содержание β-каротина за счет других компонентов каротиноидов, в то время как *PSY1* может повысить содержание β-каротина за счет роста количества субстрата, вступающего в биосинтез каротиноидов.

В эндосперме белосемянной кукурузы уровень содержания каротиноидов очень низок, но сверхэкспрессия в белом зерне гена *PSY1* приводит к существенному увеличению содержания каротиноидов, что подтверждает важную роль *PSY1* в их биосинтезе у кукурузы [14]. В результате изучения структуры гена *PSY1* найдено четыре главных полиморфизма (*InDel1*, 378 bp; *InDel2*, 644 bp; *InDel4*, 390 bp; *SSR7*, ССА тринуклеотидный повтор) в 5'-UTR-обла-

Поступила в редакцию 02.09.2016  
Принята к публикации 17.10.2016

сти, и два полиморфизма (InDel8, 345 bp и InDel9, 18 bp) выявлены в 3'-UTR. Кроме того, были определены три SNP, вызывающие аминокислотные замены: SNP3 (Thr на Ser), SNP5 (Gly на Arg) и SNP7 (Thr на Asn) [7]. Разработаны ДНК-маркеры к пяти InDels, одному SSR и трем SNPs [13], которые были использованы для проверки их ассоциации с общим содержанием каротиноидов и их отдельных компонентов на большой популяции из 527 линий кукурузы. Установлено, что с общим уровнем каротиноидов достоверно коррелировали только InDel1 и SNP7 [6].

**Целью** нашего исследования было оценить ассоциацию уровня содержания каротиноидов в зерне кукурузы с аллельным полиморфизмом сайта InDel1 гена *PSY1* в коллекции образцов кукурузы различного эколого-географического происхождения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовалась коллекция из 54 генотипов кукурузы различного эколого-географического происхождения, включающая 20 самоопыленных линий селекции РНДУП «Полесский институт растениеводства» (Гомельская обл., Беларусь), 10 самоопыленных линий из ГНУ «Всероссийский НИИ кукурузы» (г. Пятигорск, Россия), 22 образца селекции России, Молдовы, Украины, Италии, Венгрии, США и других стран из коллекции ГНУ «Всероссийский институт растениеводства» (г. Санкт-Петербург, Россия), 2 образца из Maize Genetics Cooperation Stock Center (USA).

Выделение ДНК осуществляли из зерна при помощи набора реагентов Genomic DNA Purification Kit (Thermo Scientific) согласно инструкции производителя. Использовали следующие последовательности праймеров, специфичные к *PSY1* InDel1: F: AGACATCACACACACGACAC и R: GTAACCTACCAGGCTCACTTGT [6].

Полимеразную цепную реакцию проводили в реакционной смеси объемом 15 мл, содержащей: 0,2 мМ каждого dNTP, по 10 пМ прямого и обратного праймеров, 7,5 нг ДНК, 0,2 ед. Taq-полимеразы в 2× буфере, содержащем 6 мМ MgCl<sub>2</sub>. Также в буфер входил желтый краситель, облегчающий нанесение пробы после ПЦР на гель. Краситель мигрирует ниже фрагментов длиной 20 н. п., что позволяет вести электрофорез до его полной элиминации из геля. Для амплификации использована следующая программа: предварительная денатурация 15 мин при 95 °С; 35 циклов, включающих: 1 минуту при 99 °С, 15 с при 68 °С, 30 с при 72 °С; финальная элонгация 2 мин при 72 °С.

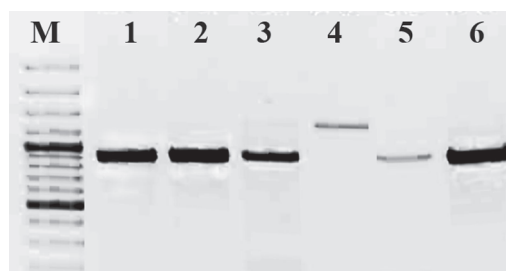
Продукты ПЦР-реакции разделяли в 1,5 % агарозном геле в 1× TAE буфере. Визуализацию продуктов ПЦР-анализа проводили при помощи системы для документирования электрофореграмм Bio-Print (Vilber Lourmat). Размеры амплифицированных фрагментов определяли относительно маркера GeneRuler 100bp DNA Ladder Plus (Thermo Scientific).

Анализ общего содержания каротиноидов в зерне образцов кукурузы проводился согласно Руководству по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище [1] в лабораторно-аналитическом центре оценки качества новых сортов и гибридов овощных культур при хранении и переработке Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур (Московская обл., Россия).

Для статистической обработки данных использовали программный пакет Statistica 10.0 для Windows.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Китайскими учеными проведен анализ ассоциаций между семью информативными сайтами гена *PSY1* и содержанием основных компонентов каротиноидов (лютеина, зеаксантина, β-криптоксантина, β-каротина, общих каротиноидов, про-А). Наиболее высокие ассоциации были установлены между содержанием общих каротиноидов и полиморфизмами InDel1 и SNP7 ( $p = 7,78E-04$  и  $0,0044$  соответственно). Показано, что данные полиморфизмы также связаны с уровнем содержания других пяти каротиноидов. Однако значимость их влияния на проявление этих показателей варьировала в зависимости от сезона проведения эксперимента, что, возможно, обусловлено эффектами среды [6]. Нами изучен полиморфизм сайта InDel1 гена *PSY1* в коллекции 54 образцов кукурузы различного происхождения. Благоприятный аллель 0 — делеция 378 п. н. (размер аллеля 870 п. н.) выявлен у 40 генотипов из 54 изученных нами. Делеция 378 п. н. встречалась с высокой частотой у большинства линий селекции РНДУП «Полесский институт растениеводства» (95 %) (рис. 1) и ГНУ «Все-



**Рис. 1.** Электрофореграмма продуктов амплификации с праймерами к полиморфизму *PSY1* InDel1 линий кукурузы Полесского института растениеводства: М — маркер молекулярного веса, 1 — БЛ 365, 2 — БЛ 333, 3 — Кос 28/07, 4 — БКР 710, 5 — ДК 276, 6 — Со 124-1 (благоприятный аллель 0: 870 п. н., неблагоприятный аллель 378: 1248 п. н.)

**Fig. 1.** Electrophoregram of amplification products with primers for *PSY1* InDel1 polymorphism of Plant Breeding Institute of Polesye maize lines: M — molecular weight marker, 1 — BL 365, 2 — BL 333, 3 — Kos 28/07, 4 — BKR 710, 5 — DK 276, 6 — Co 124-1, (favorable allele 0: 870 bp, unfavorable allele 378: 1248 bp)

российский НИИ кукурузы» (80 %). В коллекции ВИРа генотипов с благоприятным аллелем обнаружено меньше — 59,1 %.

Согласно данным литературы благоприятный аллель 0 сайта InDel1 встречается с высокой частотой у образцов желтосемянной кукурузы. Так, в коллекции из 278 линий кукурузы тропического/субтропического происхождения данный аллель обнаружен у 100 % генотипов, а в коллекции из 226 линий, адаптированных к условиям умеренного климата, — у 92 % [6]. Следует отметить, что в генофонде тропических линий кукурузы данный аллель встречается чаще, чем у линий, культивируемых в регионах умеренного климата, что указывает на потенциал увеличения общего содержания каротиноидов в зерне кукурузы данных генотипов.

На основании визуальной оценки определяли окраску зерна кукурузы по следующей шкале: светло-желтая, желтая, светло-оранжевая, оранжевая, оранжево-коричневая, красная. У 22 из 54 образцов кукурузы с различной окраской зерна методом спектрофотометрии было оценено общее содержание каротиноидов (табл. 1). Выявлены значительные различия по данному показателю у исследованных генотипов (0,21–1,16 мг/100 г). Наиболее высокая концентрация каротиноидов отмечена для линий белорусской селекции — Со 124–1, БЛ 990, МСП 1984/00 (более 1 мг/100 г). Высокая значимость влияния генотипа на уровень накопления каротиноидов в зерне кукурузы подтверждена результатами дисперсионного анализа (табл. 2). Общий уровень изменчивости по данному признаку составил 48,68 % (межгрупповая

Таблица 1

**Окраска и общее содержание каротиноидов в зерне 22 образцов кукурузы различного эколого-географического происхождения**

**Colour and total carotenoid content in maize grain of 22 samples of different eco-geographical origin**

№ п/п	Генотип	Страна происхождения	Окраска зерна	Общее содержание каротиноидов, мг/100 г
1	Belye-er-Pignoletta	Hungary	Оранжевая	0,59
2	Gehu	Italia	Оранжевая	0,47
3	Cinquantino rouge	Italia	Оранжевая	0,63
4	Ом275	Зап. Сибирь	Светло-желтая	0,32
5	Синтетик 802-1	Россия	Желтая	0,30
6	W629o2	Moldova	Светло-оранжевая	0,29
7	Coroico Flor	USA	Желтая	0,49
8	RDL1	Россия	Желтая	0,58
9	RDL5	Россия	Желтая	0,50
10	RDL6	Россия	Светло-оранжевая	0,30
11	RDL7	Россия	Светло-оранжевая	1,00
12	RDL9	Россия	Светло-желтая	0,83
13	RDL10	Россия	Светло-желтая	0,21
14	Б39/96	Беларусь	Красная	0,48
15	БЛ 365	Беларусь	Оранжевая	0,39
16	БЛ 333	Беларусь	Оранжевая	0,91
17	Кос28/07	Беларусь	Оранжево-коричневая	1,05
18	БКР710	Беларусь	Красная	0,64
19	ДК 276	Беларусь	Желтая	0,28
20	Со 124-1	Беларусь	Желтая	0,43
21	БЛ 990	Беларусь	Светло-оранжевая	1,16
22	МСП 1984/00	Беларусь	Желтая	0,41

Таблица 2

Дисперсионный анализ зависимости уровня накопления каротиноидов от генотипа кукурузы  
Analysis of variance of association between total carotenoid content and maize genotype

Фактор	Сумма квадратов	Степени свободы	Средние квадраты	F фактическое
Генотип	4,71	21	0,22**	251,77
Ошибка	0,04	44	0,00	

\*\* достоверно при  $\alpha < 0,01$

Таблица 3

Общее содержание каротиноидов (мг/100 г) в зерне кукурузы различных цветовых градаций  
Total carotenoid content (mg/100 g) in samples of different color gradations maize grain

Окраска зерна	Количество образцов	$X_{cp} \pm SE$	CV, %
Желтая	21	0,42 $\pm$ 0,02	26,19
Светло-желтая	9	0,45 $\pm$ 0,10	20,0
Красная	6	0,56 $\pm$ 0,04	16,07
Оранжевая	15	0,60 $\pm$ 0,05	31,67
Светло-оранжевая	12	0,69 $\pm$ 0,12	60,87
Оранжево-коричневая	3	1,05 $\pm$ 0,03	4,76
Всего	66	0,56 $\pm$ 0,03	48,21

дисперсия 0,07), вариация внутри образца значительно ниже и не превышает 5,48 % (внутригрупповая дисперсия от  $1,1 \times 10^{-4}$  до  $3,3 \times 10^{-3}$ ).

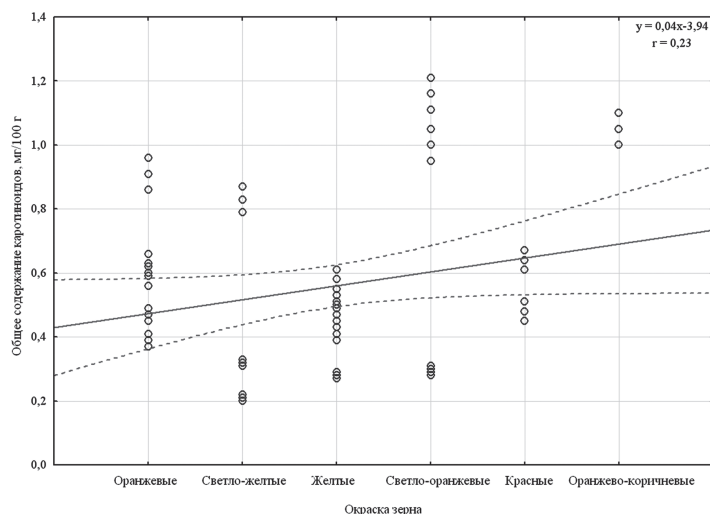
Полученные результаты согласуются с литературными данными. Так, в работе американских ученых проведена оценка фенотипической изменчивости содержания девяти каротиноидов в зерне 201 инбредной линии кукурузы [11]. Установленные высокие значения наследуемости данного признака для подавляющего большинства изученных каротиноидов позволяют предположить, что их изменчивость в значительной степени определяется генетическими, а не средовыми факторами. В данном исследовании выявлена высокая наследуемость уровня содержания основных компонентов про-А —  $\beta$ -каротина и  $\beta$ -криптоксантина (0,82 и 0,95 соответственно), что указывает на эффективность селекционного отбора генотипов кукурузы с высоким содержанием про-А. Fu et al., проводя количественный анализ каротиноидов у 129 линий кукурузы, адаптированных к условиям умеренного климата, выявили широкий диапазон изменчивости по признаку «содержание общих каротиноидов» (1,09–31,89 мг/г) и высокое значение наследуемости признака — 0,91, что свидетельствует о генетической обусловленности фенотипических различий данных линий кукурузы по этому признаку [6].

Согласно проведенному анализу установлено, что общее количество каротиноидов, накапливаемых в эндосперме семян, возрастает в ряду окраски: желтые < светло-желтые < красные < оранжевые < светло-оранжевые < оранжево-коричневые (табл. 3). Для оценки связи градаций окраски кукурузного зерна и содержания в них

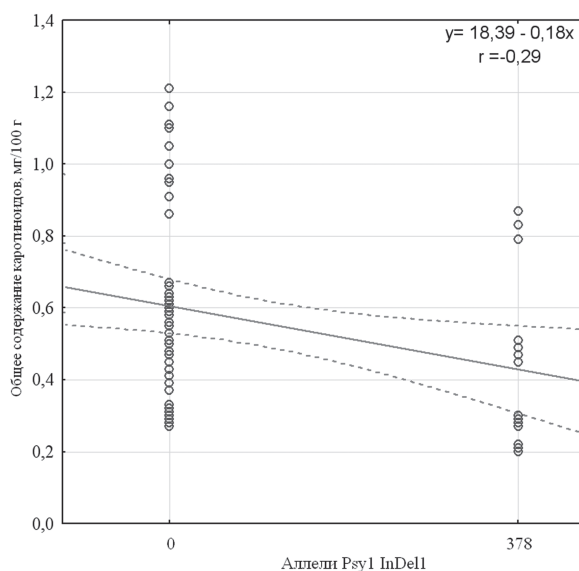
каротиноидов мы использовали непараметрический корреляционный анализ Спирмана. Выявлено, что связь между признаками слабая, недостоверная (коэффициент корреляции  $r = 0,23$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0,05$ ), что не позволяет отбирать образцы кукурузы с высоким уровнем каротиноидов на основании только визуальной оценки окраски зерна (рис. 2).

В литературе встречаются противоречивые данные о связи уровня содержания каротиноидов с окраской зерна кукурузы. В одних работах представлены результаты, согласно которым слабая корреляция выявлена между окраской зерна и общим содержанием каротиноидов ( $R^2 = 0,18$ ) и содержанием  $\beta$ -каротина ( $R^2 = 0,03$ ) [12], в других, напротив, показано, что более насыщенный цвет зерна связан как с более высоким накоплением общих каротиноидов, так и про-А каротиноидов [2]. Большинство авторов склоняются к мнению, что у кукурузы различия в интенсивности окраски зерна могут быть связаны с уровнем содержания общих каротиноидов, но не с концентрацией про-витамина-А [8, 10].

Так как отбор генотипов кукурузы с высокой концентрацией каротиноидов в зерне на основе его окраски не надежен, нами проведен анализ содержания каротиноидов в зерне образцов кукурузы, различающихся аллельным составом полиморфизма *PSY1* InDel1. Показано, что в эндосперме генотипов, несущих благоприятный аллель InDel1-0, содержание каротиноидов в среднем составило 0,60 мг/100 г, что согласно результатам *t*-теста Стьюдента ( $t = 2,44$ , достоверно при  $\alpha \leq 0,05$ ) достоверно выше содержания каротиноидов,



**Рис. 2.** Общее содержание каротиноидов в образцах зерна кукурузы различных цветовых градаций  
**Fig. 2.** Total carotenoid content in samples of different color gradations maize grain



**Рис. 3.** Эффект, оказываемый аллельными вариантами сайта InDel1 гена *PSY1* на накопление каротиноидов в зерне кукурузы  
**Fig. 3.** The effect of different alleles for *PSY1* InDel1 on the carotenoid content in maize grain

показанных для образцов с неблагоприятным аллелем 378 (0,43 мг/100 г).

Коэффициент корреляции Спирмана между общим содержанием каротиноидов в зерне и аллельным состоянием полиморфизма *PSY1* InDel1 статистически значим (при  $\alpha \leq 0,05$ ) и составляет 0,33 (рис. 3), что подтверждает достоверную ассоциацию уровня накопления каротиноидов в зерне кукурузы с аллельным полиморфизмом сайта InDel1 гена *PSY1*.

Известно, что кроме гена *PSY1* существенный вклад в изменчивость уровня содержания каротиноидов вносят гены *LcyE* и *CrtRB1*. При отборе генотипов с благоприятными аллелями полиморфных сайтов гена *LcyE* происходит перераспределение ликопина в сторону синтеза семейства  $\beta$ -каротиноидов, а отбор благоприятных алле-

лей полиморфизмов гена *CrtRB1* снижает степень конверсии  $\beta$ -каротиноидов в другие метаболиты, тем самым увеличивая концентрацию  $\beta$ -каротина и про-А в зерне кукурузы [3, 4]. Необходимо подчеркнуть важную роль гена *PSY1* не только в увеличении общего содержания каротиноидов, но и в накоплении  $\beta$ -каротина и провитамина А. Например, некоторые образцы кукурузы, несмотря на наличие благоприятных аллелей полиморфных сайтов *CrtRB1*, характеризуются низким содержанием  $\beta$ -каротина и про-А. Кроме того, для данных генотипов отмечается низкое содержание общих каротиноидов [3]. Данный факт позволяет предположить, что для реализации потенциала благоприятных аллелей гена *CrtRB1* необходимым условием является высокий уровень содержания общих каротиноидов. Таким образом, знание

путей биосинтеза каротиноидов в зерне кукурузы и ключевых генов, регулирующих каждый их этап, помогает создавать генотипы с высоким содержанием нужных компонентов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения полиморфизма сайта InDel1 гена *PSY1* у 40 генотипов из 54 изученных нами образцов кукурузы различного эколого-географического происхождения выявлен благоприятный аллель 0, который ассоциирован с высоким уровнем содержания общих каротиноидов. Показано, что эффективность визуального отбора высококаротиноидных линий кукурузы ограничена отсутствием достоверной зависимости между окраской зерна и уровнем накопления каротиноидов. С помощью корреляционного анализа Спирмана установлена значимая ассоциация концентрации каротиноидов в зерне с аллельным полиморфизмом *PSY1* InDel1. В связи с вышеизложенным использование молекулярно-генетического скрининга по функциональным маркерам к полиморфизму *Psy1* InDel1 является более точным и надежным методом идентификации перспективных генотипов кукурузы с высоким содержанием общих каротиноидов в зерне.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук С.М. Надежкину и д-ру с.-х. наук Н.А. Голубкиной (ВНИИССОК, Россия) за оценку уровня общего содержания каротиноидов в зерне 22 образцов кукурузы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. — 240 с. [Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche. Moscow: Federal'nyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii; 2004. P. 240 (In Russ.)]
2. de Almelda Rios S, Paes MCD, Cardoso WS, et al. Colour of corn grains and carotenoid profile of importance for human health. *American Journal of Plant Science*. 2014;5:857-862. doi: 10.4236/ajps.2014.56099.
3. Azmach G, Gedil M, Menkir F, et al. Marker-trait association analysis of functional gene markers for provitamin A levels across diverse tropical yellow maize inbred lines. *BMC Plant Biol*. 2013;13(1):227-243. doi: 10.1186/1471-2229-13-227.
4. Babu R, Rojas NP, Gao S, et al. Validation of the effects of molecular marker polymorphisms in *LcyE* and *CrtRB1* on provitamin A concentrations for 26 tropical maize populations. *Theor Appl Genet*. 2013;126(2):389-399. doi: 10.1007/s00122-012-1987-3.
5. Fraser PD, Bramley PM. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*. 2004;43(3):228-265. doi: 10.1016/j.plipres.2003.10.002.
6. Fu Z, Chai Y, Zhou Y, et al. Natural variation in the sequence of *PSY1* and frequency of favorable polymorphisms among tropical and temperate maize germplasm. *Theor Appl Genet*. 2013;126(4):923-935. doi: 10.1007/s00122-012-2026-0.
7. Fu ZY, Yan JB, Zheng YP, et al. Nucleotide diversity and molecular evolution of the *PSY1* gene in *Zea mays* compared to some other grass species. *Theor Appl Genet*. 2010;120:709-720.
8. Harjes CE, Rocheford TR, Bai L, et al. Natural Genetic Variation in Lycopene Epsilon Cyclase Tapped for Maize Biofortification. *Science*. 2008;319(5861):330-333. doi: 10.1126/science.1150255.
9. Krinsky NI, Johnson EJ. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Mol Aspects Med*. 2005;26(6):459-516. doi: 10.1016/j.mam.2005.10.001.
10. Mishra P, Singh NK. Spectrophotometry and TLC based characterization of kernel carotenoids in short duration maize. *Maydica*. 2010;55:95-100.
11. Owens BF, Lipka AE, Magallanes-Lundback M, et al. A foundation for provitamin A biofortification of maize: genome-wide association and genomic prediction models of carotenoid levels. *Genetics*. 2014;198:1699-1716.
12. Safawo T, Senthil N, Raveendran M, et al. Exploitation of natural variability in maize for  $\beta$ -carotene content using HPLC and gene specific markers. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2010;1(4):548-555.
13. Yang XH, Gao SB, Xu ST, et al. Characterization of a global germplasm collection and its potential utilization for analysis of complex quantitative traits in maize. *Mol Breeding*. 2011;28:511-526.
14. Zhu, CF, Naqvi S, Breitenbach J, et al. Combinational genetic transformation generates a library of metabolic phenotypes for the carotenoid pathway in maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008;105(47):18232-18237.

#### ASSOCIATION OF TOTAL CAROTENOID LEVEL IN MAIZE GRAIN (*ZEAMAYS L.*) WITH POLIMORPHIC SITE INDEL1 IN *PSY1* GENE

O.A. Orlovskaya, S.I. Vakula, L.V. Khotyleva, A.V. Kilchevsky

For citation: *Ecological genetics*. 2016;14(3):28-34

✳ **SUMMARY: Background.** The Maize is the only major cereal crop that can naturally accumulate appreciable levels of carotenoids which

are the source of provitamin A. The estimation of association of total carotenoid level in maize grain with polymorphism *PSY1* InDel1 was made. **Materials and Methods.** We used collection of 54 maize genotypes of different eco-geographical origin, methods of PCR analysis, spectrophotometry, statistical analysis in this study. **Results.** Total carotenoid content of genotypes with favorable allele of InDel1 was

0,60 mg/100 g, which was significantly higher than that of the samples with unfavorable allele (0,43 mg/100 g). **Conclusion.** Thus, the use of PCR-based markers for the *PSY1* InDel1 polymorphism is a reliable method for the identification of genotypes with high carotenoid accumulation in maize grain.

✿ **KEYWORDS:** maize; carotenoids; gene *PSY1*; PCR-based markers.

✿ Информация об авторах

**Ольга Александровна Орловская** — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория экологической генетики и биотехнологии. ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси». E-mail: O.Orlovskaya@igc.by.

**Светлана Ивановна Вакула** — младший научный сотрудник, лаборатория экологической генетики и биотехнологии. ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси». E-mail: svettera@yandex.ru.

**Любовь Владимировна Хотылева** — д-р биол. наук, главный научный сотрудник, лаборатория экологической генетики и биотехнологии. ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси». E-mail: L.Khotyleva@ igc.by.

**Кильчевский Александр Владимирович** — д-р биол. наук, главный ученый секретарь НАН Беларуси. НАН Беларуси. E-mail: Kilchev@presidium.bas-net.by.

✿ Information about the authors

**Olga A. Orlovskaya** — Leading researcher, laboratory of ecological genetics and biotechnology. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus. E-mail: O.Orlovskaya@igc.by.

**Svetlana I. Vakula** — Junior researcher, laboratory of ecological genetics and biotechnology. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus. E-mail: svettera@yandex.ru.

**Lubov V. Khotyleva** — Main researcher, laboratory of ecological genetics and biotechnology. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus. E-mail: L.Khotyleva@ igc.by.

**Alexander V. Kilchevsky** — Main scientific secretary. National Academy of Sciences of Belarus. E-mail: Kilchev@presidium.bas-net.by.