

Сравнительный анализ химического состава и размера крахмальных гранул в зерновках между диплоидными и тетраплоидными сортами сахарной кукурузы

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-53-62

УДК 633.15: 631.52

Поступление/Received: 15.06.2020

Принято/Accepted: 12.05.2021



Э. Б. ХАТЕФОВ¹, В. И. ХОРЕВА¹, Ю. А. КЕРВ¹,
Т. В. ШЕЛЕНГА¹, В. В. СИДОРОВА¹, Я. Н. ДЕДУРИН²,
В. Г. ГОЛЬДШТЕЙН³

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42, 44
✉ haed1967@rambler.ru, horeva43@mail.ru,
sidorova42@mail.ru, kerv@mail.ru,
tatianashelenga@yandex.ru

² Федеральный научный центр
Всероссийский научно-исследовательский институт
масличных культур имени В.С. Пустовойта,
350038 Россия, г. Краснодар, ул. Филатова, 17
✉ yakdemurin@yandex.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт
крахмалопроductов – филиал ФГБНУ «Федеральный
научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН,
140051 Россия, Московская обл., п. Красково,
ул. Некрасова, 11
✉ 6919486@mail.ru

Comparative analysis of the chemical composition and size of starch granules in grain between diploid and tetraploid sweetcorn cultivars

E. B. KHATEFOV¹, V. I. KHOREVA¹, YU. A. KERV¹,
T. V. SHELENGA¹, V. V. SIDOROVA¹, Y. N. DEMURIN²,
V. G. GOLDSTEIN³

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ haed1967@rambler.ru*, horeva43@mail.ru,
sidorova42@mail.ru, kerv@mail.ru,
tatianashelenga@yandex.ru
² V.S. Pustovoit All-Russian
Research Institute of Oil Crops,
17 Filatova St.,
Krasnodar 350038, Russia
✉ yakdemurin@yandex.ru

³ All-Russian Research Institute
for Starch Products,
branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of the RAS,
11 Nekrasova St., Kraskovo,
Moscow Province 140051, Russia
✉ 6919486@mail.ru

Актуальность. Улучшение вкусовых качеств и пищевой ценности сахарной кукурузы селекционно-генетическими методами актуально. Тетраплоидный сорт сахарной кукурузы 'Баксанская сахарная' (к-23426) имеет ряд преимуществ по вкусовым и товарным качествам перед традиционными диплоидными сортами. Цель исследования – определение отличительных биохимических особенностей, влияющих на вкусовые качества этого сорта, в сравнении с диплоидной кукурузой (сорт 'Ранняя Лаконка').

Материалы и методы. Проведена оценка различий фенотипических признаков растений диплоидной (2n) и тетраплоидной (4n) кукурузы. Методом инфракрасной спектроскопии изучено различие биохимического состава зерновок по содержанию белка, крахмала, масла. Методом газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией изучено накопление метаболитов в сухой зерновке.

Результаты. Сравнение фенотипических признаков растений диплоидной (2n) и тетраплоидной (4n) кукурузы показало, что структура початка, содержание белка и масла у тетраплоидной лучше. Анализ метаболитов показал, что в зерновках тетраплоидной кукурузы изменяются количественные показатели химических компонентов без изменения качественного состава. Химический состав метаболитов зерна 4n-кукурузы характеризуется усилением синтеза большинства органических кислот и свободных аминокислот, фосфорной кислоты, жирных кислот, некоторых моносахаридов, фенольных соединений и фитостеролов. Наблюдается снижение со-

Background. Improving the taste and nutritional value of sweetcorn using genetic selection techniques is an important trend. The tetraploid sugary maize cultivar 'Baksanskaya sakharnaya' (k-23426) has a number of advantages in terms of taste and marketability over traditional diploid varieties. The purpose of the research was to identify the distinctive biochemical characteristics that affect the taste of this cultivar in comparison with the diploid reference (cv. 'Rannaya Lakomka', c-1775).

Materials and methods. The differences in phenotypic traits between diploid (2n) and tetraploid (4n) maize plants were assessed. Infrared spectroscopy was used to study the difference in the biochemical composition of kernels in terms of protein, starch and oil content. Accumulation of metabolites in a dry kernel was studied using gas-liquid chromatography with mass spectrometry.

Results. Comparison of the phenotypic traits in 2n and 4n sweetcorn plants showed that 4n had a better ear structure, protein and oil content. Analysis of metabolites showed that quantitative indicators of chemical components changed in kernels of the 4n sweetcorn without changing the qualitative composition. The chemical composition of the metabolites in 4n sweetcorn grain was characterized by an increase in the synthesis of most organic acids and protein amino acids, phosphoric acid, fatty acids, some monosaccharides, phenolic compounds, and phytosterols. A decrease in the content of most polyhydric alcohols, disaccharides, trisaccharides, some monosaccharides, and phenolic compounds was observed. An inhibitory effect of a *su2* gene dose on the size of starch granules was found.

держания большинства многоатомных спиртов, дисахаридов, трисахаридов, некоторых моносахаридов и фенольных соединений. Обнаружен ингибирующий эффект дозы гена *su2* на размеры крахмальных гранул.

Заключение. Результаты исследований показали, что сорт тетраплоидной сахарной кукурузы 'Баксанская сахарная' имеет улучшенную структуру початка и существенные отличия от диплоидной по биохимическому составу, влияющие на вкусовые качества.

Ключевые слова: *Zea mays* L., *su2*, эндосперм, зародыш, маркер, тетраплоид, диплоид, биохимический состав, общие сахара, коллекция ВИР.

Conclusion. The studies showed the advantage of the 4n sweetcorn over the 2n one due to its improved ear structure and biochemical composition, which positively affected the taste qualities.

Key words: *Zea mays* L., *su2*, endosperm, germ, marker, tetraploid, diploid, biochemical composition, total sugars, the VIR collection.

Введение

Производство сахарной кукурузы и продуктов ее переработки с каждым годом приобретает все большую популярность и распространение в России и странах СНГ. Вкусовые качества сахарной кукурузы являются самыми важными показателями для повышения потребительского интереса к этому продукту и увеличения рентабельности производства оригинальных по пищевой ценности сортов. Потребление кукурузы в мире по странам на 2018–2019 гг. составило в США 315,341 млн т, в Китае – 276,987 млн т, в Европейском союзе – 63,185 млн т, в Бразилии – 66,5 млн т. Соединенные Штаты являются ведущим потребителем кукурузы во всем мире. В 2018 г. среднестатистический американец потреблял 3,06 кг свежей сладкой кукурузы, тогда как в 2010 г. потребление составляло 4,17 кг (Shahbandeh, 2019). В РФ культура сахарной кукурузы только начинает набирать популярность в производственных посевах: ее площади малозначительны и сосредоточены в основном в небольших фермерских и частных тепличных хозяйствах.

В России в 2012 г. впервые на мировом и отечественном рынке овощной кукурузы был создан сорт тетраплоидной сахарной кукурузы, который характеризовался крупным початком и крупными зерновками (Khatfov, Shcherbak, 2012). Сорт 'Баксанская сахарная' является единственным в мире тетраплоидным сортом сахарной кукурузы, внесенным в Реестр селекционных достижений РФ. В связи с ростом популярности как диплоидной, так и тетраплоидной сахарной кукурузы, среди селекционеров актуальны исследования генетического контроля морфобиологических признаков растения и качества биохимического состава, влияющих на цвет, запах и вкусовые качества зерна (Mahato et al., 2018; Flora, Wiley, 1974; Žilić et al., 2011).

В селекции пищевой кукурузы открытием генов *sugary endosperm (su)*, *sugary extender (se)*, *waxy endosperm (wx)*, *amylase extender (ae)*, *dull endosperm (du)*, *shrunk endosperm (sh)*, *opaque-2 (o₂)*, *floury-2 (fl₂)* и других, мутации которых изменяют характеристики эндосперма у кукурузы, ускорились исследования по искусственному моделированию вкусовых качеств за счет биохимического состава зерна (Paliy, 1989; Sotchenko, Novoselov, 1995; Boyer, Shannon, 2011; Wang, Larkins, 2001). До настоящего времени все селекционно-генетические исследования по введению таких мутаций в геном кукурузы проводили на диплоидных генотипах, и лишь отдельные авторы сравнивали биохимический состав генотипов кукурузы различной пloidности (Paliy, 1989; Khatfov, 2019). На пищевых подвидах кукурузы и, в частности, тетраплоидной сахарной кукурузе подобные вопросы и вовсе не изуча-

ли. Тетраплоидная кукуруза была впервые создана в 30-х годах прошлого века Л. Ф. Рэндольфом. Растения и особенно зерновки тетраплоидной зубовидной и сахарной кукурузы характеризуются большей изменчивостью размеров вегетативных частей и химического состава зерна по сравнению с диплоидной (Khatfov, Shcherbak, 2002; Novoselov, Khatfov, 2011).

Из 13 известных генов, контролирующих признак сахарного эндосперма, наибольшее распространение нашли три из них: *sugary (su)*, *shrunk (sh)*, *sugary extender (se)* (Paliy, 1989; Motto et al., 2010; Hartings et al., 2012). Наибольшее распространение в производстве имеют сорта и гибриды сахарной кукурузы, созданные на основе гена *su* с содержанием сахара 5–10%. Это объясняется большей технологичностью и удобством выращивания, пригодностью для механизированной уборки и переработки зерновок, несущих аллели этого гена, чем гены сладкой (*sh*) с содержанием сахара 7–15% и суперсладкой (*su*, *se*) с содержанием сахара 20–30% кукурузы (Garkushka et al., 2010; Pairochteerakul, 2018; Wilson, Mohan, 1998; Abd El-Hamed et al., 2011; Zhang et al., 2019).

Создавая диплоидные гибриды, сочетающие несколько рецессивных мутаций, селекционеры могут изменять вкусовые качества зерна. В случае селекции сахарной и других пищевых подвидов кукурузы на тетраплоидном уровне селекционеру приходится работать с числом хромосом в геноме в два раза больше диплоидного. Это позволяет объединить больше ценных аллелей генов, влияющих на химический состав зерна в одном гибридном генотипе (Khlestkina et al., 2016; Khatfov et al., 2018). Поэтому селекция гибридов сахарной кукурузы на тетраплоидном уровне существенно расширяет диапазон вкусовых и питательных качеств зерна, имеет больше возможностей для оптимального сочетания разных генов, влияющих на признаки как эндосперма, так и зародыша в одном геноме. Определение изменчивости накопления специфических метаболитов в зависимости от генотипа могут быть использованы в качестве биохимических маркеров кукурузы (Chesnokov, 2019; Nerling et al., 2018; Jompuk et al., 2020; Motto et al., 2010).

Цель данной работы – определение отличительных особенностей, влияющих на вкусовые качества сорта тетраплоидной сахарной кукурузы в сравнении с диплоидной.

Материалы и методы

Для исследований были использованы образцы, гомозиготные по гену *su2*, сортов диплоидной ('Ранняя Лакомка', с-1775) и тетраплоидной ('Баксанская сахарная', к-23426) сахарной кукурузы из коллекции Всерос-

сийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Исследования проведены в 2018–2019 гг. на территории Опытного-производственного хозяйства «Нартан» при Институте сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН (ИСХ КБНЦ РАН). Селекционный участок расположен в пределах предгорной зоны Северного Кавказа, на водоразделе рек Урвань – Нальчик.

Почвы в основном представлены луговыми черноземами. Содержание гумуса в пахотном слое не превышает 2,64%, реакция почвенного раствора по всему почвенному профилю среднещелочная (рН 8,1), со средней емкостью поглощения в пахотном слое (32 мг/экв. на 100 г почвы), которая уменьшается постепенно с увеличением глубины. Значения содержания карбонатов в пахотном слое варьируют от среднего (6,7%) на поверхности до высокого (13,6–14,7%) на глубине. Обеспеченность почвы подвижным фосфором очень низкая (0,4 мг/100 г почвы), а обменным калием – очень высокая (8 г/100 г).

Климат зоны характеризуется как умеренно жаркий при сумме активных температур 3000–3200°C и умеренном увлажнении (коэффициент увлажнения – 0,5–0,9), гидротермический коэффициент составляет 0,9–1,2. В целом за период исследований рост и развитие кукурузы проходили при избытке тепла и дефиците влаги.

Испытание всех образцов кукурузы проводили в двукратной повторности в одинаковых агротехнических условиях, что позволило нивелировать влияние внешней среды на показатели. Делянки двухрядковые, площадью 4,9 м². Ширина междурядий – 0,7 м, густота стояния – 50–60 тыс. растений на 1 га. Измерения и учеты проводили на 10 растениях и 10 початках в двукратной повторности.

Изучение фенотипических признаков линий осуществляли по методике ВИР (Shmaraev, 1985), агротехнические мероприятия – по методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы (Sotchenko et al., 2019). Определение общих сахаров в сухих зерновках проводили по ГОСТ 26176-91 (ГОСТ 26176-91..., 2018). Описание биометрических показателей даны согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L.» (Kukekov, 1977). Содержание в сухих зерновках белка, крахмала, масла определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infracrac 1241 Grain Analyzer (Швеция). Анализ метаболитов в зерне проводили с помощью газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ГЖХ МС) на хроматографе Agilent 6850 с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD (Agilent Technologies, США) в отделе биохимии ВИР. Жирнокислотный состав масла сухих зерен кукурузы определяли с помощью ГЖХ на хроматографе «Кристалл 200М» в лаборатории Всероссийского НИИ масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК). Полученные результаты обрабатывали с помощью программы UniChrom (Loskutov et al., 2016).

Морфологию выделенных гранул кукурузных крахмалов определяли с помощью световой микроскопии. Крахмал помещали на предметное стекло и окрашивали каплей раствора Люголя (раствор йода в водном растворе йодида калия). Затем препарат накрывали покровным стеклом и слегка прижимали для равномерного распределения крахмальных гранул под стеклом. Избыток красителя удаляли с помощью фильтровальной бумаги. Анализ гранул крахмала проводили при 400-кратном увеличении с применением синего фильтра под оптическим микроскопом «Микромед 3 ЛЮМ LED» в проходящем све-

те с фотонасадкой на микроскоп Oplenic psc600-15c (B51) (Oplenic Corp., USA). Экспериментальные данные анализировали методом биометрической статистики по Б. А. Доспехову, определяли $HCP_{0,5}$ и отклонение от $X_{\text{сред}}$ (Dospikhov, 2014).

Результаты

Результаты сравнительного анализа растений диплоидной и тетраплоидной сахарной кукурузы показали, что тетраплоидный генотип (сорт 'Баксанская сахарная') в сравнении с диплоидным (сорт 'Ранняя Лакомка') имеет преимущества по многим селекционно ценным признакам (табл. 1).

Размеры початка, зерновки и зародыша у тетраплоидного сорта значительно крупнее, чем у диплоидного, что является для сахарной кукурузы очень важным качественным признаком (рис. 1, 2). Поэтому проведение анализа динамики и особенностей накопления веществ, определяющих вкусовые качества зерна, при переводе с диплоидного уровня на тетраплоидный важно для определения векторов селекционного улучшения новых сортов и гибридов сахарной кукурузы.

Для селекционеров и технологов по переработке сырья сахарной кукурузы в виде початков молочной спелости важное значение имеют такие признаки, как крупный мощный стебель, способный выдержать 1-2 початка, крупный многорядный початок преимущественно цилиндрической формы, с крупными и высокими зерновками, ровной окраской зерна и содержанием сахаров от 7% до 30%, в зависимости от генотипа и требований потребителя. Важное значение имеет аромат сваренных початков, который должен быть без посторонних примесей. Сорт кукурузы 'Баксанская сахарная' полностью удовлетворяет всем этим требованиям, за исключением формы початка, которая ближе к слабоконусовидной, чем к цилиндрической.

Результаты анализа содержания метаболитов в зерновках 2n- и 4n-кукурузы показал, что увеличение дозы гена *su2* в два раза, не изменяя биохимического состава, приводит к модификации их количественного соотношения (табл. 2).

Анализ показал, что тетраплоидная сахарная кукуруза в сравнении с диплоидной содержит больше таких органических кислот, как молочная и 2-гидроксипропионовая, уступая ей по содержанию янтарной и яблочной кислот. От содержания органических кислот и их количества зависят вкусовые (кислые) и консервирующие качества зерновки, ее аромат.

Одним из важных элементов для внутриклеточных биохимических процессов является фосфор, который в виде фосфорной кислоты входит в состав нуклеиновых кислот. По содержанию фосфорной кислоты тетраплоидные зерновки в 3,94 раза превышают этот показатель у диплоидных. Многоатомные спирты участвуют в формировании сладковатого вкуса в зерновке сахарной кукурузы. Анализ количества многоатомных спиртов в зерновке показал, что тетраплоидная кукуруза уступает диплоидной по содержанию глицерола, эритритола, трейтола, арабинитола, дульцитолола, инозитола, миоинозитола, за исключением ксилитола, содержание которого равно таковому у диплоидной кукурузы.

Содержание белка и его аминокислотный состав значительно влияет на вкусовые и питательные качества сахарной кукурузы. Особую ценность представляют незаменимые аминокислоты, к которым отно-

Таблица 1. Основные селекционно ценные признаки сортов 'Баксанская сахарная' (4n) и 'Ранняя Лакомка' (2n) сахарной кукурузы, выращенных на орошении (ИСХ КБНЦ РАН; 2018/2019 г.)**Table 1. Main agronomic characters of sweetcorn cultivars 'Baksanskaya sakharnaya' (4n) and 'Rannaya Lakomka' (2n) under irrigation (Institute of Agriculture, Kabardino-Balkarian Scientific Center, RAS; 2018/2019)**

Признаки / Characters	Ранняя Лакомка (стандарт) / Rannaya Lakomka (ref.)	Баксанская сахарная / Baksanskaya sakharnaya	Стандарт / Reference (\pm)
Урожайность початков в технической спелости (без оберток), т/га (при НСР ₀₅ = 0,24 т/га)	4,8	9,8	+5,0
Выход кондиционных початков, %	93 \pm 22,32	94 \pm 20,68	+1,0
Группа спелости по системе ФАО	150	400	+250
Высота растения	156,3 \pm 34,3	225,8 \pm 56,25	+69,5
Число початков на растении	1,0 \pm 0,02	1,8 \pm 0,03	+0,8
Кустистость, шт.	1,3 \pm 0,39	1,0 \pm 0,15	-0,3
Длина початка	15,0 \pm 4,50	22,5 \pm 6,75	+7,5
Число рядов зерен на початке, шт.	14,5 \pm 4,35	18,3 \pm 5,49	+3,8
Число зерен в ряду на початке, шт.	36,2 \pm 4,34	45,5 \pm 5,46	+9,3
Высота зерновки, мм	8,0 \pm 0,96	12,0 \pm 1,44	+4,0
Масса 1000 зерен, г	170 \pm 42,5	260 \pm 65,0	+90
Содержание крахмала*	64,4 \pm 1,28	63,2 \pm 1,58	-1,2
Содержание белка*	13,1 \pm 0,26	16,3 \pm 0,32	+3,2
Содержание масла*	6,1 \pm 0,12	7,5 \pm 0,15	+1,4
Внешний вид**	Зерна средние, однородные	Зерна крупные, однородные	-
Вкус**	Сладкий	Сладкий	-
Запах**	Характерный для кукурузы	Характерный для кукурузы	-
Цвет**	Желтый	Светло-желтый	-

Примечание: * - анализ ИК-спектрометрии проведен на сухих зерновках;

** - определено органолептическим методом для сваренных початков молочной спелости

Note: * - IR spectrometry analysis was performed on dry kernels;

** - determined organoleptically for boiled milk-ripe sweetcorn ears

**Рис. 1. Размеры зерна диплоидной (слева) и тетраплоидной (справа) сахарной кукурузы (см)****Fig. 1. Grain sizes of diploid (left) and tetraploid (right) sweetcorn (cm)**



Рис. 2. Початки сахарной кукурузы (см) диплоидного сорта 'Ранняя Лакомка' (слева) и тетраплоидного сорта 'Баксанская сахарная' (справа)

Fig. 2. Sweetcorn ear sizes (cm) of the diploid cv. 'Rannaya Lakomka' (left) and tetraploid cv. 'Baksanskaya sakharnaya' (right)

Таблица 2. Содержание основных химических компонентов в сухом зерне диплоидной и тетраплоидной кукурузы

Table 2. The content of main chemical components in dry grain of diploid and tetraploid sweetcorn

Биохимические Компоненты / Biochemical components		Ранняя Лакомка, 2n (стандарт) / Rannaya Lakomka, 2n (ref.)	Баксанская сахарная, 4n / Baksanskaya sakharnaya, 4n
Органические кислоты	молочная	0,32 ± 0,05	0,44 ± 0,09
	2-гидроксипропионовая	0,06 ± 0,02	0,23 ± 0,21
	янтарная	0,22 ± 0,12	0,17 ± 0,04
	глицериновая	0,05 ± 0,01	0,08 ± 0,02
	яблочная	1,36 ± 0,37	0,73 ± 0,43
Неорганические кислоты	фосфорная	0,85 ± 0,40	3,35 ± 1,00
Многоатомные спирты	глицерол	2,40 ± 0,39	1,30 ± 0,27
	эритритол	3,91 ± 0,55	2,20 ± 1,77
	трейтол	0,07 ± 0,02	0,03 ± 0,02
	ксилитол	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,03
	арабинитол	0,26 ± 0,06	0,16 ± 0,09
	дульцитол	5,77 ± 2,80	3,69 ± 2,76
	инозитол	0,68 ± 0,10	1,26 ± 0,48
	миоинозитол	4,80 ± 0,32	1,69 ± 1,32
Свободные аминокислоты	α-аланин	0,60 ± 0,04	0,92 ± 0,41
	глицин	0,51 ± 0,03	0,84 ± 0,18
	валин	0,08 ± 0,02	0,20 ± 0,09
	пролин	1,19 ± 1,01	22,08 ± 14,72
	серин	0,05 ± 0,02	0,11 ± 0,09
	треонин	0,03 ± 0,01	0,14 ± 0,09
	аспарагиновая	0,14 ± 0,09	0,10 ± 0,04

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Биохимические Компоненты / Biochemical components		Ранняя Лакомка, 2n (стандарт) / Rannaya Lakomka, 2n (ref.)	Баксанская сахарная, 4n / Baksanskaya sakharnaya, 4n
Свободные аминокислоты	аспарагин	0,09 ± 0,04	0,39 ± 0,29
	оксипролин	0,09 ± 0,05	0,22 ± 0,11
	глутамин	0,16 ± 0,07	0,13 ± 0,07
Жирные кислоты	пальмитиновая	15,49 ± 1,13	16,56 ± 4,05
	линолевая	26,87 ± 1,61	28,41 ± 8,45
	вакценовая	14,41 ± 1,29	15,10 ± 3,69
	олеиновая	0,58 ± 0,04	0,82 ± 0,20
	стеариновая	2,96 ± 0,44	3,05 ± 1,14
	арахиновая	0,18 ± 0,06	0,19 ± 0,02
Треозы	глицерол-3-фосфат	0,43 ± 0,04	0,48 ± 0,23
Пентозы	арабиноза	0,20 ± 0,06	0,49 ± 0,16
	рибоза	0,24 ± 0,07	0,69 ± 0,28
Гексозы	фруктоза	24,24 ± 4,63	33,24 ± 24,07
	сорбоза	0,62 ± 0,16	2,03 ± 1,31
	галактоза	27,72 ± 25,71	6,38 ± 3,67
	глюкоза	207,03 ± 178,85	75,48 ± 43,34
	манноза	2,77 ± 2,18	1,03 ± 0,51
	α -метилглюкофуранозид	0,27 ± 0,24	3,26 ± 2,57
	глюкозамин	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02
Дисахариды	сахароза	613,14 ± 31,64	557,10 ± 24,04
	мальтоза	0,16 ± 0,06	0,11 ± 0,04
	мелибиоза	5,50 ± 2,51	2,85 ± 1,61
Трисахариды	раффиноза	21,02 ± 8,04	10,68 ± 5,02
Фенольные соединения	4-гидроксидиннамовая кислота	0,18 ± 0,15	0,16 ± 0,08
	феруловая кислота	0,08 ± 0,03	0,13 ± 0,08
Фитостеролы	кампестерол	0,67 ± 0,10	2,12 ± 1,76
	стигмастерол	0,30 ± 0,05	0,71 ± 0,14
	β -ситостерол	3,65 ± 0,44	6,63 ± 1,40

сятся валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин, гистидин и аргинин. Результаты анализа содержания незаменимых аминокислот в зерне сахарной кукурузы показали, что в тетраплоидных зерновках содержание валина в 2,5 раза, а треонина в 4,7 раза выше, чем у диплоидной. По количеству заменимых аминокислот тетраплоидные зерновки существенно превышают значения диплоидной, а содержание пролина в 18,5 раза выше значения стандарта. Содержание аспарагиновой кислоты в тетра-

плоидном образце близко к значению диплоидной кукурузы.

Жирные кислоты влияют на вкусовые качества и особенно запах пищевых продуктов, в том числе на характерный аромат и вкус зерна сахарной кукурузы. У высших растений доля основных жирных кислот в составе растительных жиров очень высока (до 90%). Ее составляют в основном пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты. Анализ жирнокислотного состава зерна сахарной кукурузы (пальмитиновая, линолевая, вакцено-

вая, олеиновая, стеариновая, арахидовая) показал, что в тетраплоидном образце значения как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот немного выше, чем у диплоидной. Такие же различия наблюдаются по содержанию незаменимых жирных кислот (линолевая, олеиновая).

Моносахариды представляют собой производные многоатомных спиртов и служат источником для синтеза дисахаридов (сахароза, мальтоза, лактоза), олигосахаридов и полисахаридов (целлюлоза и крахмал). Многие из них обладают сладким вкусом, но имеются градации от безвкусных до горьких веществ, влияющих на все вкусовые качества зерна, в том числе сахарной кукурузы. Анализ образцов выявил у диплоидных зерновок повышенное содержание в основном гексоз – галактозы, глюкозы и маннозы, тогда как тетраплоидные образцы имели высокие значения фруктозы, сорбозы, α -метилглюкофуранозида, глюкозамина, а также пентоз (арабиноза, рибоза) и триоз (глицерол-3-фосфат).

Дисахариды играют не менее значимую роль в структуре вкуса зерновок сахарной кукурузы. В природе самыми распространенными дисахаридами являются сахароза (тростниковый сахар), лактоза (молочный сахар) и мальтоза, причем последняя в свободном состоянии встречается довольно редко. Наиболее значимыми из них являются мальтоза и целлобиоза, которые представляют собой продукты гидролиза крахмала и целлюлозы соответственно. Результаты анализа показали более высокое содержание дисахаридов и трисахаридов у диплоидных образцов, чем у тетраплоидных.

Фенольные соединения обуславливают устойчивость плодов и овощей к фитопатогенным микроорганизмам, придают вкус, терпкость, аромат и окраску продуктам. Анализ содержания 4-гидроксициннамовой и феруловой кислот в зерновках сахарной кукурузы показал, что уровень 4-гидроксициннамовой кислоты в диплоидных образцах немного выше, а феруловой кислоты в 1,6 раза ниже, чем у образцов тетраплоидной сахарной кукурузы.

Из стерина растительного происхождения (фитостерина) в растениях наиболее часто содержатся си-

тостерин и стигмастерин, являющиеся предшественниками витамина D, поэтому при переработке и очистке растительного сырья потери стерина стараются свести к минимуму. Результаты анализа содержания стерина (кампестерол, стигмастерол, β -ситостерол) показали, что тетраплоидные зерновки содержат больше стерина, чем диплоидные. По содержанию кампестерола значения тетраплоидных образцов превысили диплоидные в 3,16 раза, а по содержанию стигмастерола и β -ситостерола – в 2,36 и 1,81 раза соответственно.

Ингибирование процесса полимеризации сахаров в крахмал вследствие эффектов гена *su2* проявляется в виде снижения накопления крахмала в зерне сахарной кукурузы. Ключевая роль в этом процессе принадлежит сахарным синтазам SS (sucrose synthase), образующим фитогликоген как предшественник амилопектина. Кроме того, эти мутанты характеризуются дефицитом таких ферментов, как изоамилазы и пуллулазазы, нарушающие ветвление крахмалов. Это, в свою очередь, приводит к высокому накоплению сахаров и снижению содержания крахмала (James et al., 1999; Myers et al., 2000; Zhang et al., 2007).

При переработке кукурузного зерна на крахмал и побочные продукты методом «Завод на столе», разработанным во ВНИИ крахмалопродуктов, крахмал от побочной продукции трудно отделяется при сепарировании крахмало-белковой суспензии. Анализ крахмальных гранул, выделенных по этой технологии из диплоидной и тетраплоидной сахарной кукурузы, показал, что в эндосперме 4n-кукурузы образуются более мелкие гранулы, размером от 0,7 до 5,0 мкм (рис. 3), чем у 2n, что подтверждает исследования, проведенные Цуй Л. с соавторами (Cui et al., 2014) на диплоидных подвидах кукурузы. При анализе содержания крахмала в зерне и его корреляций с содержанием белка и масла не было обнаружено каких-либо отклонений от существующей закономерности, характерной для диплоидных генотипов. Анализ показал, что у тетраплоидной кукурузы содержание белка и масла в зерне имеет обратную зависимость от содержания крахмала.

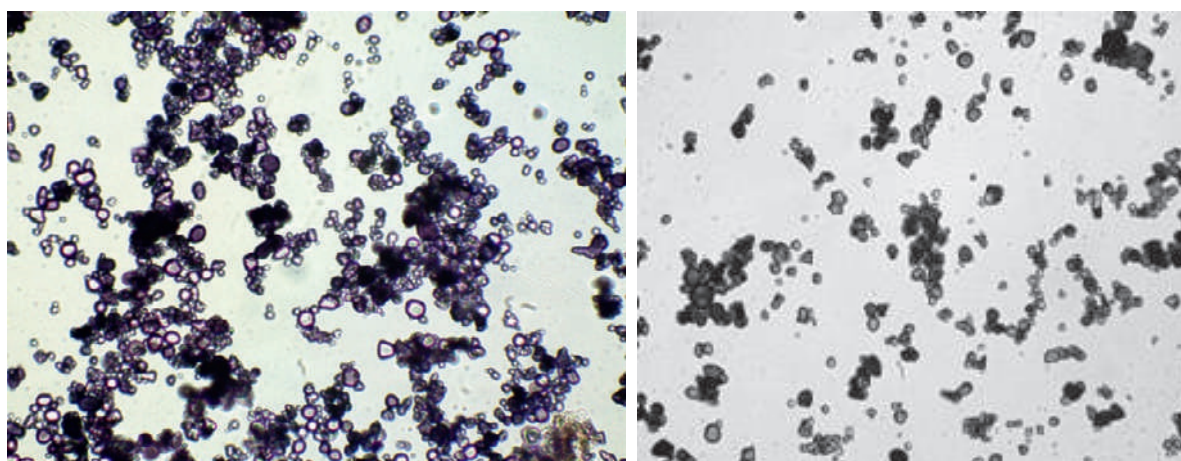


Рис. 3. Размеры крахмальных гранул, выделенных из эндосперма диплоидного сорта 'Ранняя Лакомка' (слева) в сравнении с гранулами тетраплоидного сорта 'Баксанская сахарная' (справа).

Увеличено в 400 раз (10×40) с синим светофильтром, окраска крахмальных зерен раствором Люголя

Fig. 3. The sizes of starch granules isolated from the endosperm of the diploid cv. 'Rannaya Lakomka' (left) in comparison with those of the tetraploid cv. 'Baksanskaya sakharnaya' (right).

Magnified 400× (10×40), with a blue optical filter; starch granules stained with Lugol's iodine

В лабораторных условиях удается выработать крахмал из тетраплоидной сахарной кукурузы с гранулами 2–5 мкм. Причем для этих гранул характерна не свойственная нативному кукурузному крахмалу пористая структура. Анализ оставшихся на ситах крахмальных гранул показал, что у диплоидного генотипа остаток незначительно больше, чем остаток у тетраплоидного, что косвенно свидетельствует о формировании более мелких крахмальных гранул у тетраплоидного сорта сахарной кукурузы, чем у диплоидного.

Обсуждение

Результаты исследований показали, что тетраплоидная сахарная кукуруза выгодно отличается от диплоидной по ряду селекционно ценных признаков. Основным признаком сахарной кукурузы, ради которого этот подвид возделывается и потребляется в свежем и консервированном виде, – это содержание сахаров, наравне с другими ее вкусовыми качествами. Анализ химического состава показал, что присутствие более чем трех аллелей гена *su2* в эндосперме тетраплоидной сахарной кукурузы не влияет на содержание общих сахаров, тогда как по содержанию некоторых из них (арабиноза, рибоза, сорбоза, α -метилглюкофуранозид, глюкозамин) наблюдали значения выше, а по другим (галактоза, глюкоза, манноза, сахароза, мальтоза, мелибиоза, раффиноза) ниже, чем у диплоидной сахарной кукурузы. При этом содержание крахмала в сухих зерновках у диплоидной и тетраплоидной сахарной кукурузы имеет одинаковые значения ($64,4 \pm 1,28$ мг/100 г и $63,2 \pm 1,58$ мг/100 г соответственно), что свидетельствует об отсутствии влияния дополнительных аллелей генов *su2* на процессы полимеризации сахаров при формировании крахмальных гранул. Выявлено лишь угнетающее действие дополнительных аллелей гена *su2* на размеры крахмальных гранул в зерновках тетраплоидной сахарной кукурузы. Метаболические процессы и их продукты, влияющие на вкусовые качества зерна тетраплоидной сахарной кукурузы, несомненно, представляют научный интерес как результат совокупного действия большего числа аллелей генов, чем имеется в геноме у диплоидной кукурузы. Исследования особенностей синтеза и накопления различных биохимических веществ в клетке и тканях зерна кукурузы создают перспективу для инновационных селекционных технологий с возможностью управления химическими реакциями внутри клеток эндосперма и зародыша за счет регулирования числа множества генов (*sugary*, *waxy*, *sugary extender*, *amylase extender*, *dull*, *shrunk*, *opaque-2*, *floury-2* и др.), влияющих на ее вкусовые качества. Поэтому определение особенностей биохимических продуктов обмена веществ в клетке, ткани, органе с учетом числа генов и их сочетания в сортах с диплоидным и тетраплоидным геномом становится перспективным и эффективным инструментом селекционных исследований, направленных на определение потенциала их генетической и фенотипической изменчивости, в том числе для выявления важных и ценных для селекции и производства признаков.

Заключение

Зерно тетраплоидной сахарной кукурузы сорта 'Баксанская сахарная' (к-23426), в сравнении с диплоидным сортом 'Ранняя Лакомка' (с-1775), характеризуется изменением количественных, но не качественных характери-

стик ее биохимического профиля, контролирующего вкусовые и товарные признаки, а также фенотипа растения, початков и зерновки. Сорт 'Баксанская сахарная' характеризуется максимальной выраженностью самых привлекательных для сахарной кукурузы признаков – урожая товарных початков, размеров початка и зерна. Анализ содержания основных химических компонентов, влияющих на вкусовые качества зерна, показал повышенное содержание белка и масла у сорта 'Баксанская сахарная' в сравнении с диплоидным сортом 'Ранняя Лакомка'.

Результаты более тонкого анализа метаболитов в зерне показали, что в зерне сорта 'Баксанская сахарная' наблюдается большее, чем у сорта 'Ранняя Лакомка', накопление таких веществ, как органические кислоты (за исключением яблочной кислоты), фосфорная кислота, свободные аминокислоты (за исключением аспарагиновой кислоты), жирные кислоты, некоторые моносахариды (фруктоза, сорбоза, α -метилглюкофуранозид, глюкозамин, арабиноза, рибоза, глицерол-3-фосфат), фенольные соединения (феруловая кислота) и фитостеролы. Снижение содержания биохимических компонентов в зерне сорта 'Баксанская сахарная' обнаружено по таким веществам, как многоатомные спирты (за исключением инозитола), дисахариды и трисахариды, а также некоторые моносахариды (галактоза, глюкоза и манноза) и фенольные соединения в виде 4-гидроксицианамовой кислоты. Анализ размеров крахмальных гранул, извлеченных из сортов сахарной кукурузы 'Ранняя Лакомка' и 'Баксанская сахарная' показал наличие более мелких гранул крахмала в тетраплоидных зерновках.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану:

– ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»;

– ВНИИ крахмалопродуктов – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН № 585-2018-0015 «Разработать теоретические и практические основы глубокой переработки крахмалсодержащего сырья на основе системного анализа его технологических свойств и разработать технологии извлечения крахмала и белковых концентратов с применением мембранных технологий и биоконверсии сырья».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plans of:

– VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production";

– All-Russian Scientific Research Institute for Starch Products, branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the RAS, No. 585-2018-0015 "To develop theoretical and practical foundations for deep processing of starch-containing raw materials based on a systematic analysis of their technological properties, and to develop technologies for extracting starch and protein concentrates using membrane technologies and bioconversion of raw materials".

References / Литература

- Abd El-Hamed K.E., Elwan M.W.M., Shaban W.I. Enhanced sweet corn propagation: Studies on transplanting feasibility and seed priming. *Vegetable Crops Research Bulletin*. 2011;75(1):31-50. DOI: 10.2478/v10032-011-0016-4
- Boyer C.D., Shannon J.C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. *Plant Breeding Reviews*. 2011;1:139-161. DOI 10.1002/9781118060988.ch5
- Chesnokov Yu.V. Biochemical markers in genetic investigation of cultivated crops: the pros and cons (review). *Agricultural Biology*. 2019;54(5):863-874. [in Russian] (Чесноков Ю.В. Биохимические маркеры в генетических исследованиях культурных растений: применимость и ограничения (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(5):863-874). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.863rus
- Cui L., Dong S., Zhang J., Liu P. Starch granule size distribution and morphogenesis in maize (*Zea mays* L.) grains with different endosperm types. *Australian Journal of Crop Science*. 2014;8(11):1560-1565.
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс; 2014).
- Flora L.F., Wiley R.C. Sweet corn aroma: Chemical components and relative importance in overall flavor response. *Journal of Food Science*. 1974;39(4):770-773. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1974.tb17976.x
- Garkushka V.G., Litvinova N.V., Frolov A.N. Sweetcorn is a promising vegetable crop (Sakharnaya kukuruza – perspektivnaya ovoshchnaya kultura). NGO “KOS-MAIS”; 2010. [in Russian] (Гаркушка В.Г., Литвинова Н.В., Фролов А.Н. Сахарная кукуруза – перспективная овощная культура. НПО «КОС-МАИС»; 2010). URL: http://kosmais.ru/maize_sugar.html [дата обращения: 10.06.2020].
- GOST 26176-91. Interstate standard. Fodders, mixed feeds. Methods for determination of soluble and hydrolysable carbohydrates. Moscow; 1993. [in Russian] (ГОСТ 26176-91. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. Москва; 1993). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26176-91> [дата обращения: 10.10.2018].
- Hartings H., Fracassetti M., Motto M. Genetic enhancement of grain quality-related traits in maize. In: Y.O. Çiftçi (ed.). *Transgenic plants – advances and limitations: monograph*. Rijeka: InTechOpen; 2012. p.191-218. DOI: 10.5772/32758
- James M.G., Robertson D.S., Myers A.M. Characterization of the maize gene *sugary1*, a determinant of starch composition in kernels. *The Plant Cell*. 1995;7(4):417-429. DOI: 10.1105/tpc.7.4.417
- Jompuk C., Jitlaka C., Jompuk P., Stamp P. Combining three grain mutants for improved-quality sweet corn. *Agricultural and Environmental Letters*. 2020;5(3):e20010. DOI: 10.1002/ael2.20010
- Khatefov E.B. Creating tetraploid lines of sweet corn (*Zea mays saccharata*) and studying biochemical content of their grain. *KnE Life Sciences*, 2019;4(14):1003-1012. DOI: 10.18502/kls.v4i14.5699
- Khatefov E.B., Khachidogov A.V., Kagermazov A.M., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S. Creation and study of the selection value of restored corn lines from tetraploid populations in the conditions of Kabardino-Balkaria. *Innovations and Food Safety*. 2018;2(20):104-116. [in Russian] (Хатефов Э.Б. Хачидогов А.В., Кагермазов А.М., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С. Создание и изучение селекционной ценности восстановленных линий кукурузы из тетраплоидных популяций в условиях Кабардино-Балкарии. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2018;2(20):104-116).
- Khatefov E.B., Shcherbak V.S. Cytogenetic studies of tetraploid corn seed productivity (Tsitogeneticheskiye issledovaniya semennoy produktivnosti tetraploidnoy kukurusy). *Vestnik Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta: Seriya: Biologicheskkiye nauki = Bulletin of the Kabardino-Balkarian State University. Series: Biological Sciences*. 2002;5:83-88. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Щербак В.С. Цитогенетические исследования семенной продуктивности тетраплоидной кукурузы. *Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Серия: Биологические науки*. 2002;5:83-88).
- Khatefov E.B., Shcherbak V.S. Sugar corn (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Korn). Cv. Baksan Sugar ('Baksanskaya Sakharnaya'). Russian Federation; breeding achievement patent number: 6335; 2012. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Щербак В.С. Кукуруза сахарная (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Korn). Сорт 'Баксанская сахарная'. Российская Федерация; патент на селекционное достижение № 6335; 2012).
- Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Usenko N.I., Otmakhova Yu.S. Prospective applications of molecular genetic approaches to control technological properties of wheat grain in the context of the "grain – flour – bread" chain. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):511-527. [in Russian] (Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отмахова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно – мука – хлеб». *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):511-527). DOI: 10.18699/VJ15.140
- Kukekov V.G. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Zea mays* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. / сост. В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).
- Loskutov I.G., Shelenga T.I., Konarev A.V., Shavarda A.L., Blinova E.V., Dzyubenko N.I. The metabolomic approach to the comparative analysis of wild and cultivated species of oats (*Avena* L.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(5):636-642. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Шеленга Т.И., Конарев А.В., Шаварда А.Л., Блинова Е.В., Дзюбенко Н.И. Метаболомный подход к сравнительному анализу диких и культурных видов овса (*Avena* L.). *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(5):636-642). DOI: 10.18699/VJ16.185
- Mahato A., Shahi J.P., Singh P.K., Kumar M. Genetic diversity of sweet corn inbreds using agro-morphological traits and microsatellite markers. *3 Biotech*. 2018;8(8):332. DOI: 10.1007/s13205-018-1353-5
- Motto M., Balconi C., Hartings H., Rossi V. Gene discovery for improvement of kernel quality-related traits in maize. *Genetika*. 2010;42(1):23-56. DOI: 10.2298/GENSR1001023M

- Myers A.M., Morell M.K., James M.G., Ball S.G. Recent progress toward understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. *Plant Physiology*. 2000;122(4):989-997. DOI: 10.1104/pp.122.4.989
- Nerling D., Coelho C.M.M., Brümmer A. Biochemical profiling and its role in physiological quality of maize seeds. *Journal of Seed Science*. 2018;40(1):7-15. DOI: 10.1590/2317-1545v40n1172734
- Novoselov S.N., Khatefov E.B. Biochemical composition of grain in tetraploid sugar corn. *Vestnik Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2011;4:40-42. [in Russian] (Новоселов С.Н., Хатефов Э.Б. Биохимический состав зерна тетраплоидной сахарной кукурузы. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2011;4:40-42).
- Pairochteerakul P., Jothityangkoon D., Ketthaisong D., Simla S., Lertrat K., Suriharn B. Seed germination in relation to total sugar and starch in endosperm mutant of sweet corn genotypes. *Agronomy*. 2018;8(12):299. DOI: 10.3390/agronomy8120299
- Paliy A.F. Genetic aspects of improving the quality of maize grain (Geneticheskiye aspekty uluchsheniya kachestva zerna kukuruzy). Chişinău: Ştiinţă; 1989. [in Russian] (Палий А.Ф. Генетические аспекты улучшения качества зерна кукурузы. Кишинев: Штиинца; 1989).
- Shahbandeh M. Global corn consumption 2018/2019 by country. Statista; 2019. Available from: <https://www.statista.com/statistics/691175/consumption-corn-worldwide-by-country/> [accessed June 10, 2020].
- Shmaraev G.E. (ed.). Studying and maintenance of maize collection accessions: guidelines (Izucheniye i podderzhaniye obraztsov kolleksii kukuruzy: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: методические указания / под ред. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1985).
- Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Bagrinceva V.N., Sotchenko E.F., Lavrenchuk N.F., Suprunov A.I., Toloyaya T.R., Zhukov N.I., Smirnova L.A. Guidelines for the production of hybrid maize seed (Metodicheskiye ukazaniya po proizvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy). Ryatigorsk: Kolos; 2019. [in Russian] (Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф., Лавренчук Н.Ф., Супрунов А.И., Толорая Т.Р., Жуков Н.И., Смирнова Л.А. Методические указания по производству гибридных семян кукурузы. Пятигорск: Колос; 2019).
- Sotchenko V.S., Novoselov S.N. The use of modified recurrent reciprocal selection in sweetcorn breeding (Primeneniye modifitsirovannogo rekurrentnogo otbora v selektsii sakharnoy kukuruzy). *Kukuruza i sorgo = Maize and Sorghum*. 1995;4:2-5. [in Russian] (Сотченко В.С., Новоселов С.Н. Применение модифицированного рекуррентного реципрокного отбора в селекции сахарной кукурузы. *Кукуруза и сорго*. 1995;4:2-5).
- Wang X., Larkins B.A. Genetic analysis of amino acid accumulation in *opaque-2* maize endosperm. *Plant Physiology*. 2001;125(4):1766-1777. DOI: 10.1104/pp.125.4.1766
- Wilson D.O. Jr., Mohan S.K. Unique seed quality problems of *sh2* sweet corn. *Seed Technology*. 1998;20(2):176-186. Available from: <https://www.jstor.org/stable/23433021> [accessed Aug. 13, 2020].
- Zhang H.Y., Dong S.T., Gao R.Q., Li Y.Q. Comparison of starch synthesis and related enzyme activities in developing grains among different types of maize. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*. 2007;33(1):25-32.
- Zhang X., von Mogel K.J.H., Lor V.S., Hirsch C.N., De Vries B., Kaeppler H.F. et al. Maize *sugary enhancer1 (se1)* is a gene affecting endosperm starch metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019;116(41):20776-20785. DOI: 10.1073/pnas.1902747116
- Žilić S., Milašinović-Šeremešić M., Terzić D., Barać M., Ignjatović-Mičić D. Grain characteristics and composition of maize specialty hybrids. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2011;9(1):230-241. DOI: 10.5424/sjar/20110901-053-10

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Хатефов Э.Б., Хорева В.И., Керв Ю.А., Шеленга Т.В., Сидорова В.В., Демуринов Я.Н., Гольдштейн В.Г. Сравнительный анализ химического состава и размера крахмальных гранул в зерновках между диплоидными и тетраплоидными сортами сахарной кукурузы. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):53-62. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-53-62

Khatefov E.B., Khoreva V.I., Kerv Yu.A., Shelenga T.V., Sidorova V.V., Demurin Y.N., Goldstein V.G. Comparative analysis of the chemical composition and size of starch granules in grain between diploid and tetraploid sweetcorn cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):53-62. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-53-62

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-53-62>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Khatefov E.B. <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>
Matveeva G.V. <https://orcid.org/0000-0001-6598-3480>
Khoreva V.I. <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>
Kerv J.A. <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

Shelenga T.V. <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>
Sidorova V.V. <https://orcid.org/0000-0002-5233-8949>
Demurin Ya.N. <https://orcid.org/0000-0003-3903-020X>
Goldstein V.G. <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>