

Изучение хозяйственно ценных признаков и технологических свойств коллекции *Zea mays* L. ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-56-64



УДК 633.15:631.52

Поступление/Received: 13.05.2020

Принято/Accepted: 23.12.2020

М. Р. ГОНИКОВА¹, В. И. ХОРЕВА¹, В. Г. ГОЛЬДШТЕЙН²,
Л. П. НОСОВСКАЯ², Л. В. АДИКАЕВА², Э. Б. ХАТЕФОВ^{1*}

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* [✉ haed1967@rambler.ru](mailto:haed1967@rambler.ru)

² Всероссийский научно-исследовательский институт
крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный
научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН,
140051 Россия, Московская обл., Красково,
ул. Некрасова, 11

Study of economically valuable traits and technological properties in maize from the *Zea mays* L. collection of VIR

M. R. GONIKOVA¹, V. I. KHOREVA¹, V. G. GOLDSTEIN²,
L. P. NOSOVSKAYA², L. V. ADIKAEVA², E. B. KHATEFOV^{1*}

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* [✉ haed1967@rambler.ru](mailto:haed1967@rambler.ru)

² 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

Актуальность. Инновационные технологии глубокой переработки зерна широко применяются при переработке зерна кукурузы с выделением зародыша зерна с последующим получением из него масла, крахмала и производством из него заменителей сахара в виде фруктозного сиропа и спирта, хлебопекарного или кормового белка. Поиск хозяйственно ценных источников крахмала кукурузы, ценных побочных продуктов его переработки и природной модификации крахмала для глубокой переработки актуален. **Материалы и методы.** Исследованы 10 образцов высококрахмалистой кукурузы из коллекции ВИР, выделенных методом ИК-спектроскопии. Определение крахмала проведено по ГОСТ 10845-98, ГОСТ 13586.5-93, ГОСТ 10847-74, ГОСТ ISO 6647-1-2015; переработка зерна на крахмал с определением содержания амилозы и побочных продуктов осуществлялась во ВНИИК – филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» в 2018 г. по Л. П. Носовской и др. Определяли значение фактического содержания крахмала и его побочных продуктов при глубокой переработке зерна. Определяли значения фактического содержания в зерне доли сухих веществ (СВ, %), массовой доли крахмала, зольности, а также выход экстракта, мезги, зародыша, глютен, процессовой воды и крахмала. **Результаты.** Определены образцы с высоким выходом крахмала (к-4520; к-9301; к-24730), зародыша (к-4520; к-8785; к-24731), мезги (к-4520, к-8785, к-9991, к-24732), белка (к-8785), с долей амилопектина в крахмале выше 82% (к-24730, к-24733) и 100% (к-5461, к-9991), амилозы выше 30% (к-4520, к-9301). **Заключение.** Практический интерес по фактическому выходу крахмала (% сухих веществ зерна) представляют образцы: к-4520; к-9301; к-24730; к-9991; к-5461; к-4520, а по результатам селекционного испытания образцы: к-24730; к-24732; к-24733 со значением сбора крахмала в пересчете с урожая зерна 4,66 т/га, 4,41 т/га и 4,18 т/га соответственно.

Ключевые слова: кукуруза, крахмал, белок, зародыш, сухие вещества, процессовая вода, мезга, глубокая переработка зерна, урожай зерна, сбор крахмала.

Background. Innovative technologies for deep processing of grain are widely used in maize grain processing with the release of the grain germ for subsequent extraction of oil and starch from it or production of sugar substitutes in the form of fructose syrup and alcohol, bakery or feed protein. A search for economically valuable sources of maize starch, useful byproducts of its processing, and natural modification of starch for deep processing is vital. **Materials and methods.** Ten high-starch maize accessions from the VIR collection, isolated by IR spectrometry, were studied. Starch content was measured according to GOST 10845-98, GOST 13586.5-93, GOST 10847-74 and GOST ISO 6647-1-2015 standards. Processing of grain into starch and assessment of the content of amylose and byproducts were carried out at the All-Russian Scientific Research Institute for Starch Products in 2018 according to L. P. Nosovskaya et al. The actual content of starch and its byproducts during deep grain processing was determined. The values of the actual percentage of dry matter (DM, %) in grain, mass fraction of starch, ash content, as well as the yield of extract, pulp, embryo, gluten, process water and starch were determined. **Results.** Accessions with a high yield of starch (k-4520, k-9301 and k-24730), germ (k-4520, k-8785 and k-24731), pulp (k-4520, k-8785, k-9991 and k-24732) and protein (k-8785) were identified as well as those with a percentage of amylopectin in starch above 82% (k-24730 and k-24733) and 100% (k-5461 and k-9991), and amylose above 30% (k-4520 and k-9301). **Conclusion.** Of practical interest in terms of the actual yield of starch (% DM in grain) are accessions k-4520, k-9301, k-24730, k-9991, k-5461 and k-4520. According to the results of breeding tests, accessions k-24730, k-24732 and k-24733 had the following values of starch harvest calculated for grain yield: 4.66, 4.41 and 4.18 t/ha, respectively.

Key words: maize, starch, protein, germ, dry matter, process water, pulp, deep processing of grain, grain yield, starch yield.

Введение

В Российской Федерации производство зерна занимает одно из ключевых мест в обеспечении ее продовольственной безопасности. За последнее десятилетие в России наблюдается стабильный рост высоких урожаев зерновых культур. Согласно данным Росстата, урожай зерна и зернобобовых культур в 2019 году составил почти 120,7 млн т в весе после доработки (+7,4 млн т к уровню 2018 г.). В том числе урожай кукурузы составил более 13,9 млн т (+2,5 млн т) (Cereal crop yield ..., 2020).

Одним из инновационных направлений развития агропромышленного комплекса является глубокая переработка зерна, базирующаяся на передовых технологиях и технических средствах. Такая технология широко применяется при глубокой переработке зерна кукурузы с выделением зародыша зерна и последующим получением из него масла, крахмала, из которого производят заменители сахара в виде глюкозных и глюкозно-фруктозных сиропов, крахмальной и мальтозной патоки, кристаллической глюкозы, мальтодекстринов, а также модифицированных крахмалов, кукурузного глютенa и кормопродуктов. Модифицированные крахмалы получают путем обработки крахмала химическими веществами (щелочи или кислоты) или физическим воздействием (нагревание), и они не являются генетически модифицированным продуктом. Использование достижений биотехнологии предусматривает производство на основе глюкозного сиропа пищевых кислот, аминокислот, полиолов (мальтит, ксилит, сорбит) и биопластиков.

Усилиями генетиков представляется возможным разрабатывать коммерческие сорта кукурузы, способствующие высокому извлечению крахмала из кукурузного зерна и природной модификации крахмала. Коммерческие сорта восковиной кукурузы содержат крахмал, состоящий из 100% амилопектина. Другие коммерческие сорта позволяют при их переработке получать крахмал с массовой долей амилозы до 70%. Эти виды крахмала обладают разными уникальными свойствами: так, крахмал, полученный из восковиной кукурузы желируется так же, как и традиционный кукурузный крахмал, но образует гели, обладающие высокой вязкостью. По данным Ассоциации переработчиков кукурузы США (Corn Starch..., 2006), крахмал, выработанный из зерна с высокой массовой долей амилозы в крахмале, не превращается в желе даже при кипячении и обладает высокими резистентными свойствами.

Резистентные крахмалы, в отличие от гликемических, не расщепляются в желудочно-кишечном тракте человека, но улучшают его перистальтику и используются кишечными бактериями с получением жирных кислот с короткой цепью, которые могут снижать уровень онкологических молекул, способствующих развитию рака прямой и толстой кишки (Koptelova et al., 2017). Интенсивное развитие этой отрасли активно вовлекает в производство ряд других, смежных отраслей промышленности: металлургическую, строительную, машиностроение и др. Глубокая переработка зерна начинается с производства крахмалов из зерна (пшеница, кукуруза), выработке которого сопутствуют такие побочные продукты, как кормовые добавки и их компоненты, различные модифицированные крахмалы, сиропы и мальтодекстрины, кристаллическая глюкоза, незаменимые аминокислоты (L-лизин сульфат) и прочие. По данным аналитического центра «Агроинвестор» (Karabut, 2019), первое место в доле на внутреннем рынке (по данным 2018 г.) занима-

ют корма на основе помолов зерна пшеницы и кукурузы, составляющих 2,1 и 0,8 млн т соответственно. На втором месте – производство кормовых дрожжевых белков, составившее 331 тыс. т. Третье место на внутреннем рынке занимают производства крахмальной патоки, мальтодекстринов и глюкозно-фруктозных сиропов. По данным Ассоциации российских производителей крахмалопаточной продукции, в России работают 10 кукурузо-крахмальных комбинатов. Ежегодно отрасль осваивает около 1,5 млн т зерна, из них почти 1 млн т кукурузы и 500 тыс. т пшеницы (Karabut, 2019). Принятая в Российской Федерации программа развития биотехнологий до 2020 года (An integrated program..., 2012) предусматривает увеличение объема производства продуктов с использованием биотехнологий более чем в 30 раз. Ресурсный потенциал России в развитии отрасли по глубокой переработке зерна имеет тенденцию активно развиваться уже в ближайшем будущем. Такие оптимистические прогнозы основываются на наличии большой сырьевой базы и перепроизводстве зерна до 10 млн тонн в год, которое при низких темпах прироста животноводства может быть использовано в целях глубокой переработки (Skryabin et al., 2020).

Крахмал относится к полимерам, получаемым из возобновляемых растительных источников. Производство нативного крахмала в РФ имеет тенденцию роста. Объем производства с 2017 по 2019 г. вырос с 228,9 до 290 тыс. т, при этом объем импорта сократился с 37,2 до 25,1 тыс. т.

Нативный кукурузный крахмал и кукурузный амилопектиновый крахмал применяются в различных отраслях пищевой промышленности, чаще всего в качестве загустителя. Клейстеры, полученные из амилопектинового крахмала, обладают высокой вязкостью и прозрачностью. Для амилопектиновых крахмалов свойственна низкая температура желатинизации, устойчивость к интенсивной температурной обработке и к циклам замораживания и оттаивания.

Кукурузный крахмал после различных операций модифицирования химическими или ферментативными методами можно применять в самых различных областях человеческой деятельности. Объем производства модифицированных крахмалов в РФ вырос с 20,5 тыс. т в 2017 г. до 51,4 тыс. т в 2019 г. Вместе с ростом производства наблюдается рост импорта модифицированных крахмалов от 95,0 тыс. т в 2017 г. до 96,9 тыс. т в 2019 г. Около 25% от общего объема модифицированных крахмалов использует пищевая промышленность (хлебопекарная, кондитерская, мясная, производство мороженого и замороженных полуфабрикатов, молочная и другие отрасли), а основной объем модифицированных крахмалов используется на непивцевые цели в текстильном производстве, химической промышленности, фармацевтике.

Одним из таких направлений является модифицированный кукурузный крахмал для бурения. Этот продукт используют в своей деятельности различные зарубежные и отечественные компании. Такой кукурузный крахмал применяют в качестве бурильного реагента в процессе бурения нефте- и газодобывающих скважин в различных регионах нашей страны и мира. Этот крахмал также активно используют в разных регионах России и в странах СНГ при строительстве скважин месторождений для обработки буровых минерализованных растворов. Лидеры на российском рынке нефтегазовых компаний – «Газпром», «Лукойл». В результате увеличения производства картона и бумаги были востребованы различные модификации крахмала (в том числе катионного) для бумажной промышленности.

Для производства нативного и модифицированного крахмала используется около 50% кукурузного зерна импортного происхождения, а для производства амилопектинового крахмала наблюдается 100-процентная импортозависимость от семян восковидных сортов кукурузы.

Создание линий и гибридов высококрахмалистой кукурузы с амилозным и амилопектиновым крахмалом обеспечит вытеснение импортных гибридов кукурузного зерна, используемого для переработки на крахмал, и позволит обеспечить импортозамещение нативного и модифицированного крахмала.

Целью исследований являлось выявление источников сырья для производства крахмала из зерна кукурузы для селекции отечественных сортов и гибридов крахмалистой кукурузы в целях обеспечения замещения импорта в Российской Федерации.

Материалы и методика

Материалом для эксперимента послужили 10 образцов из коллекции кукурузы ВИР с высоким содержанием крахмала в зерне. Для проведения эксперимента были подобраны образцы, показавшие содержание крахмала в сухом зерне выше 70% по данным лаборатории биохимии ВИР. Содержание в зерновках крахмала определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infratec 1241 Grain Analyzer (Швеция) (табл. 1).

«ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» в 2018 г. по методу, предложенному Л. П. Носовской и др. (Nosovskaya et al., 2018). Кукурузное зерно замачивали в 0,4-процентном растворе метабисульфита натрия в течение 48 ч при температуре 48–50°C. Затем от зерна отделялась заварочная жидкость (кукурузный экстракт), и зерно подвергалось грубому дроблению. Из зерновой массы извлекался кукурузный зародыш, который промывался от свободного крахмала и высушивался. Отделенную от зародыша зерновую массу направляли на тонкий мокрый помол зерна, осуществляемый на блендере Braun. Из измельченной зерновой массы ситованием на сетке с ячейками 70 мкм отделялась клетчатка (мезга), содержащая различную массовую долю крахмала. Клетчатка (мезга) многократно (9 промывок) промывалась на сите до отсутствия крахмала в промывной воде (по йодной пробе), после чего высушивалась. Крахмалобелковую суспензию разделяли центрифугированием на кукурузный белок (глютен) и крахмал. При этом из суспензии с белком удаляются мелкие зерна крахмала, который по удельной массе идентичны частицам белка. Белок и крахмал высушивались. Определяли выход продуктов и массовую долю крахмала в побочных продуктах, в том числе СВ в промывной воде.

Селекционные испытания образцов кукурузы проводили в степной зоне на территории Кабардино-Балкарии в 2018/2019 г. Фенологические наблюдения проводили по методике ВИР (Shmagaev, 1985), агротехнические ме-

Таблица 1. Исходный материал кукурузы коллекции ВИР, включенный в исследования в 2018/2019 г.

Table 1. The source material from the VIR collection of maize used in the research in 2018/2019

№ по каталогу ВИР	Цвет зерна	<i>Zea mays</i> L.
к-24733	Желтое	subsp. <i>indentata</i> (Sturt.) Zhuk.
к-24731	Желтое	subsp. <i>indurate</i> (Sturt.) Zhuk.
к-23994	Белое	subsp. <i>indentata</i> (Sturt.) Zhuk.
к-4520	Белое	subsp. <i>indurate</i> (Sturt.) Zhuk.
к-24732	Желтое	subsp. <i>indurate</i> (Sturt.) Zhuk.
к-8785	Желтое	subsp. <i>indurate</i> (Sturt.) Zhuk.
к-9301	Желтое	subsp. <i>amylacea</i> (Sturt.) Zhuk.
к-24730	Желтое	subsp. <i>indentata</i> (Sturt.) Zhuk.
к-5461	Желтое	subsp. <i>ceratina</i> (Kulesh.) Zhuk.
к-9991	Желтое	subsp. <i>ceratina</i> (Kulesh.) Zhuk.

Определение фактического содержания крахмала и побочных продуктов его переработки в зерне представленных образцов проведено по ГОСТ 10845-98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала»; определение массовой доли сухих веществ (влажности зерна) – по ГОСТ 13586.5-93 «Зерно. Метод определения влажности»; определение зольности – по ГОСТ 10847-74 «Зерно. Методы определения зольности»; определение амилозы в крахмале – по ГОСТ ISO 6647-1-2015 «Рис (*Oryza sativa* L.). Определение содержания амилозы». Переработка зерна на крахмал и побочные продукты осуществлялась на лабораторной установке «завод на столе», разработанной во ВНИИК – филиал ФГБНУ

роприятия – по методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы (Sotchenko et al., 2019). Описание биометрических показателей даны согласно Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L. (Kukekov, 1977). Статистическая обработка полученных данных проводилась при помощи пакета программ Statistica 10.0 (Statistica 10.0..., 2018).

Результаты и обсуждение

Для обнаружения источников и доноров высокого содержания амилозы и амилопектина в зерне кукурузы были проведены исследования качества крахмала

10 образцов кукурузы с выделением оригинальных образцов крахмала на базе НИИ крахмалопродуктов им. В.М. Горбатого (табл. 2). Результаты анализа были близки к данным анализа, проведенного в лаборатории биохимии ВИР методом ИК-спектроскопии. Значения фактического соотношения в крахмале амилозы и амилопектина показали, что образцы к-5461 и к-9991 представляют собой восковидный тип кукурузы со 100-процентным амилопектиновым крахмалом. Восковидная кукуруза служит источником генов и может служить ценным исходным материалом для создания гибридов восковидной кукурузы. Образцы к-4520 и к-9301 можно характеризовать как высокоамилозные, с содержанием амилозы выше 30%. Такие образцы служат ценным источником генов *ae* для селекции гибридов высокоамилозной кукурузы. По содержанию крахмала в зерне, определенного методом ИК-спектроскопии и его фактическим извлечением, максимальное значение (%) из изученных образцов обнаружено у к-24730 (75,3/75,3%).

в антибиотиков и в качестве питательной среды для выращивания различных микроорганизмов (Yarovenko et al., 1965). При глубокой переработке кукурузного зерна наравне с крахмалом выделяют несколько продуктов (экстракт, мезга, зародыш, глютен, процессовая вода), имеющих важное хозяйственное значение (табл. 3). Результаты анализа выхода продуктов при глубокой переработке зерна показали, что высокие значения выхода экстракта (6,0% и выше) обнаружены у образцов к-4520 и к-5461, а минимальные значения – у образца к-23994 (4,0%). Зародыш кукурузы содержит до 50% жиров, поэтому эта часть побочных продуктов переработки после сушки служит источником кукурузного масла. Анализ выхода зародышей в зерне показал, что у образцов к-24731, к-8785 и к-4520 выход зародышей выше 9,0% (9,9; 9,5 и 9,1% соответственно), а у образцов к-24733 и к-24730 – процент минимальный (по 7,7%). Остатки зародышей после отжима масла входят в состав кукурузного белкового корма. Образующиеся оболочки эндосперма

Таблица 2. Содержание крахмала (ИК-спектроскопия, ВИР) в зерне кукурузы и значения выхода продуктов его переработки (ВНИИК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», 2018 г.)

Table 2. The starch content (IR spectrometry, VIR) in maize grain and the values of the yield of its processing products (All-Russian Research Institute for Starch Products, 2018)

№ по каталогу ВИР	Содержание крахмала в зерне, % (ИК-спектрометр)	Соотношение амилоза/амилопектин в крахмале, % СВ крахмала	Фактическое содержание в зерне массовой доли		
			крахмала, % СВ зерна*	сухих веществ (СВ), %	зольности, % СВ зерна
к-24733	71,1	15,2 / 84,8 ± 1,0	69,4 ± 0,3	92,1 ± 0,4	1,43 ± 0,16
к-24731	71,3	26,4 / 73,6 ± 0,9	70,9 ± 0,1	92,1 ± 0,3	1,35 ± 0,14
к-23994	72,7	21,0 / 79,0 ± 0,9	73,0 ± 0,1	91,4 ± 0,3	1,50 ± 0,13
к-4520	70,4	38,0 / 62,0 ± 0,1	69,3 ± 0,3	91,2 ± 0,5	1,50 ± 0,12
к-24732	70,9	23,0 / 77,0 ± 0,7	69,7 ± 0,4	91,7 ± 0,2	1,60 ± 0,12
к-8785	71,0	29,0 / 71,0 ± 1,0	69,2 ± 0,2	92,7 ± 0,4	1,69 ± 0,15
к-9301	71,9	32,0 / 68,0 ± 0,9	71,3 ± 0,3	92,0 ± 0,3	1,48 ± 0,17
к-24730	75,1	17,5 / 82,5 ± 1,0	75,3 ± 0,2	92,1 ± 0,2	1,30 ± 0,10
к-5461	70,6	0,0 / 100 ± 0,9	70,5 ± 0,1	92,2 ± 0,2	1,65 ± 0,17
к-9991	72,0	0,0 / 100 ± 0,8	71,9 ± 0,3	92,3 ± 0,4	1,45 ± 0,11

* Определение массовой доли крахмала проводилось с поправкой на растворимые углеводы

* The mass fraction of starch was determined with a correction for soluble carbohydrates

Отличить фенотип зерновки только с амилопектином от зерновок с присутствием амилозы в крахмале сложно, если не пользоваться специальным йодным тестом. Амилопектиновый крахмал окрашивается йодом в светлый, красно-коричневый цвет (рисунок, С), тогда как присутствие амилозы дает темную, синюю окраску (рисунок, А). Зерновки всех изученных в опыте образцов были подвергнуты тесту на йодную реакцию крахмала на срезе эндосперма зерновки. Окрашивание зерновок образцов к-4520 и к-9301 раствором Люголя подтвердило присутствие в зерне только амилопектинового крахмала.

Кукурузный экстракт в упаренном виде находит применение в приготовлении кормов, а также в производст-

и клеточных стенок в виде клетчатки после удаления воды относят к кукурузной мезге. Питательность кукурузной мезги варьирует в зависимости от влажности. Ее используют на корм животным как в сыром и засыпанном виде, так и после высушивания. Среди изученных в опыте образцов кукурузы значения выше 12% показали образцы к-4520, к-8785, к-9991, к-24732 (12,9, 12,4, 12,2 и 12,0% соответственно), а наименьшие значения (8,9%) – у образца к-24733.

Кукурузный белок (ГОСТ Р 55489-2013 «Глютен кукурузный. Технические условия») представляет собой высокобелковое растительное сырье, которое получают отделением от остальных частей зерна (крахмала, клетчатки и жира) в процессе его переработки; он состоит

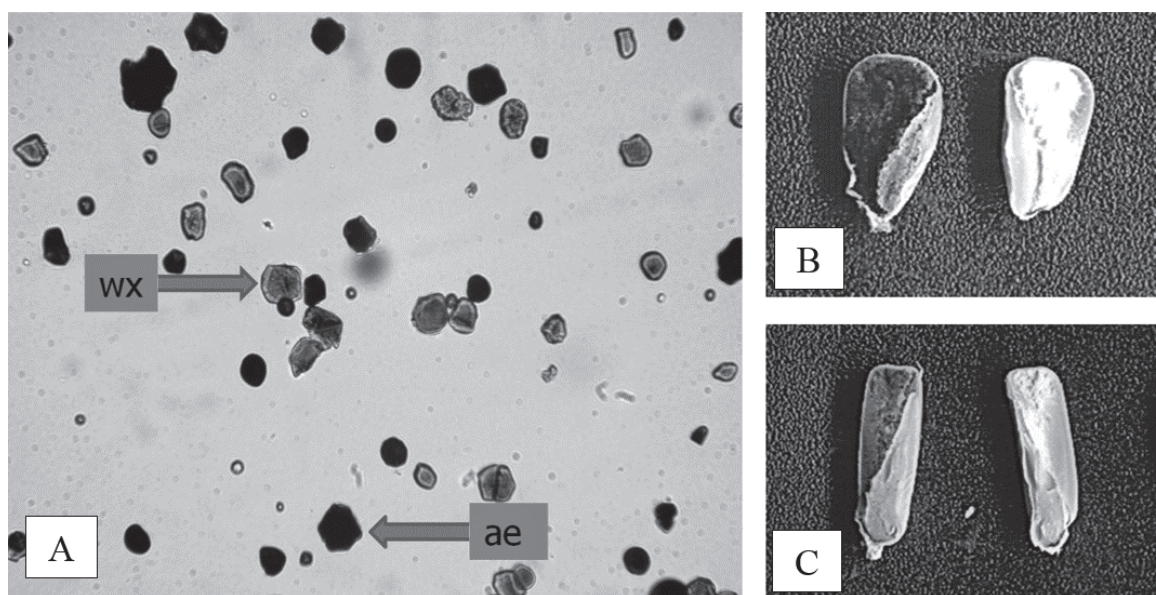


Рисунок. Крахмальные зерна амилопектинового (*wx*) и амилозного (*ae*) крахмалов под микроскопом (А) и зерновки высокоамилозной (В) и амилопектиновой (С) кукурузы, окрашенные раствором Люголя
Figure. Starch grains of amylopectin (*wx*) and amylose (*ae*) starches under the microscope (A), and high amylose (B) and amylopectin (C) maize kernels stained with Lugol's iodine

Таблица 3. Выход продуктов глубокой переработки зерна
 (ВНИИК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», 2018 г.)

Table 3. The yield of deep grain processing products (All-Russian Research Institute for Starch Products, 2018)

№ по каталогу ВИР	Выход продуктов, % СВ зерна					
	Экстракт	Мезга	Зародыш	Белок*	Крахмал	Процессовая вода
к-24733	5,6 ± 0,3	8,9 ± 0,6	7,7 ± 0,4	10,9 ± 0,8	62,2 ± 0,5	4,7 ± 0,1
к-24731	5,7 ± 0,1	10,1 ± 0,4	9,9 ± 0,6	11,3 ± 0,7	56,8 ± 0,4	7,2 ± 0,3
к-23994	4,0 ± 0,1	11,9 ± 0,5	8,5 ± 0,3	12,3 ± 0,9	59,9 ± 0,6	0,7 ± 0,1
к-4520	6,3 ± 0,2	12,9 ± 0,4	9,1 ± 0,6	12,2 ± 0,8	62,6 ± 0,7	1,9 ± 0,1
к-24732	5,4 ± 0,3	12,0 ± 0,6	8,6 ± 0,7	12,6 ± 0,8	57,8 ± 0,5	3,6 ± 0,2
к-8785	4,8 ± 0,1	12,4 ± 0,6	9,5 ± 0,4	15,1 ± 0,6	56,0 ± 0,6	2,2 ± 0,2
к-9301	5,2 ± 0,1	10,1 ± 0,4	8,5 ± 0,3	13,5 ± 0,9	62,0 ± 0,8	0,7 ± 0,1
к-24730	4,8 ± 0,3	9,1 ± 0,6	7,7 ± 0,6	11,9 ± 0,7	64,7 ± 0,7	1,8 ± 0,2
к-5461	6,0 ± 0,3	9,3 ± 0,5	8,3 ± 0,4	13,7 ± 0,9	58,6 ± 0,7	4,1 ± 0,3
к-9991	5,3 ± 0,1	12,2 ± 0,6	8,1 ± 0,6	12,6 ± 0,8	59,9 ± 0,5	1,9 ± 0,2

* ГОСТ Р 55489-2013 «Глютен кукурузный. Технические условия»

* GOST R 55489-2013 "Maize gluten. Technical specifications"

в основном из зеина и глютелина. Несмотря на название, «кукурузный глютен» не содержит истинный глютен, который образуется в результате взаимодействия между белками глиадином и глютелином (Heuzé et al., 2018). Кукурузный белок относится к малоценным белкам из-за низкого содержания незаменимых аминокислот.

На его основе синтезируют кукурузный белковый корм с различными долями, соединяя замочную кукурузную воду, жмых кукурузных зародышей, кукурузную мезгу. Образец к-8785 показал высокое, до 15,1%, содержание глютена, а образцы к-5461 и к-9301 немногим меньше – 13,7% и 13,5% соответственно. Низкое содержание глютена (до 10,9%) отмечено у образца к-24733.

значения достигали 7,2%, тогда как минимальные значения обнаружались у образцов к-23994 и к-9301 – 0,7% для каждого (Jeroch, 2017, Jeroch et al., 1998). Наиболее высокий выход крахмала получен при переработке зерна кукурузы следующих наименований: к-4520; к-9301; к-24730, значения которых составили 62,6%, 62,0% и 64,7% соответственно.

В процессе выработки крахмала из образцов кукурузы удалось произвести учет потерь массовой доли мезги, зародыша и белка. Результаты анализа значений потери крахмала с побочными продуктами переработки зерна показали, что наименьшие потери крахмала с зародышем выявлены у образцов к-24730, к-5461, к-9991 (табл. 4).

Таблица 4. Массовые доли мезги, зародыша и белка при выделении крахмала из образцов кукурузы (ВНИИК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», 2018 г.)

Table 4. Mass fractions of pulp, germ and protein during the isolation of starch from maize accessions (All-Russian Research Institute for Starch Products, 2018)

№ по каталогу ВИР	Побочные продукты переработки зерна, содержащие крахмал					
	мезга		зародыш		глютен	
	Массовая доля крахмала, % СВ мезги	Потери крахмала, % СВ мезги	Массовая доля крахмала, % СВ зародыша	Потери крахмала, % СВ зародыша	Массовая доля крахмала, % СВ глютена	Потери крахмала, % СВ глютена
к-24733	32,6 ± 0,7	2,9	24,0 ± 0,4	1,8	17,9 ± 1,3	1,9
к-24731	40,6 ± 0,7	4,1	37,4 ± 0,7	3,7	22,1 ± 1,1	2,5
к-23994	37,0 ± 0,5	4,4	24,7 ± 0,6	2,1	13,8 ± 1,1	1,7
к-4520	37,2 ± 0,6	4,8	28,6 ± 0,4	2,6	12,3 ± 1,2	1,5
к-24732	36,7 ± 0,7	4,4	25,6 ± 0,7	2,2	18,3 ± 1,4	2,3
к-8785	35,5 ± 0,8	4,4	24,4 ± 0,3	2,3	25,7 ± 1,6	3,8
к-9301	22,7 ± 0,6	2,3	22,4 ± 0,7	1,9	18,5 ± 1,4	2,5
к-24730	25,3 ± 0,7	2,3	13,0 ± 0,6	1,0	31,9 ± 1,1	3,8
к-5461	31,1 ± 0,4	2,9	17,2 ± 0,3	1,4	18,0 ± 1,3	2,6
к-9991	36,9 ± 0,8	4,5	22,2 ± 0,8	1,8	21,4 ± 1,6	2,7

В процессе замачивания кукурузного зерна в процессую воду переходят водорастворимые вещества (гидролизат крахмала, минеральные вещества, витамины, водорастворимые белки и углеводы в виде молочной кислоты, ферментированные лактобактериями). При этом содержание сухого вещества может достигать 6%, после чего его доводят мягким выпариванием до 50%, а затем перерабатывают вместе с другими побочными продуктами (Jeroch, 2017). Среди изученных образцов максимальную концентрацию веществ в процессовой воде показал образец к-24731. Его

Наименьшие потери крахмала с белком определены у образцов к-23994, к-4520, к-24732, к-9301, к-5461, к-24733, к-9991. Наименьшие потери крахмала с мезгой получены при переработке зерна образцов к-9301 и к-24730. Анализ результатов исследований, приведенных в таблицах 2 – 4, позволяет выделить наиболее ценные для глубокой переработки зерна образцы к-24730, к-4520, к-9301, а также образцы восковидной кукурузы к-5461 и к-9991.

Значения фактической урожайности зерна и сбора крахмала в пересчете на т/га, приведенные в таблице 5,

Таблица 5. Фактический урожай зерна и сбор крахмала в пересчете на т/га
(ИПА ООО ОТБОР, г. Прохладный; 2018/2019 г.)**Table 5. Actual grain yield and starch harvest recalculated in t/ha**
(LLC OTBOR, Town of Prokhladny; 2018/2019)

№ по каталогу ВИР	Выход крахмала, % СВ зерна	Урожай зерна, т/га (14% влажность)	Влажность зерна при уборке	Выход зерна с початка, %	Сбор крахмала в пересчете т/га
к-24733	62,2	6,72	18,5	82,5	4,18
к-24731	56,8	5,21	17,5	86,0	2,96
к-23994	59,9	5,70	17,6	82,3	3,41
к-4520	62,6	5,41	17,7	84,7	3,38
к-24732	57,8	7,64	19,1	81,1	4,41
к-8785	56,0	6,32	18,3	84,3	3,54
к-9301	62,0	5,79	17,6	84,9	3,59
к-24730	64,7	7,21	16,8	88,2	4,66
к-5461	58,6	5,31	16,7	81,8	3,11
к-9991	59,9	5,34	19,7	82,0	3,20
Ср. по опыту		6,06			
Точность опыта, %		4,13			
НСР ₀₅		0,61			

показали, что максимальные значения сбора крахмала обеспечивают образцы к-24730, к-24732 и к-24733 со значениями 4,66, 4,41 и 4,18 т/га соответственно. Образцы к-5461 и к-9991 со 100-процентным амилопектиновым крахмалом показали значения сбора крахмала 3,11 и 3,20 т/га соответственно.

Низкая урожайность этих образцов окупается за счет высокой рыночной стоимости амилопектина и 100-процентной чистоты амилопектинового крахмала в зерне, поскольку у более урожайных образцов со смешанным типом крахмала процесс отделения амилопектина от амилозы требует значительных трудозатрат и финансовых вложений. Значения урожайности и сборов крахмала у высокоамилозных образцов к-4520 и к-9301 также были невысоки и составили 3,38 и 3,59 т/га соответственно, но за счет повышенного содержания амилозы в крахмале зерновки ценность зерна и крахмала значительно возрастает.

Коллекция образцов кукурузы ВИР, отобранных на основании данных ИК-спектроскопии по содержанию крахмала в зерне выше 70%, характеризуется широким диапазоном изменчивости признаков, связанных с выходом побочной продукции при извлечении крахмала из зерна, а также урожаю зерна и фактического выхода крахмала (сбор крахмала) с урожая зерна в перерасчете на т/га. Опыт показал, что образцы кукурузы различаются между собой по содержанию в зерне амилозного и амилопектинового крахмалов. Этот признак в первую

очередь позволяет выделить источники высокого содержания амилозного или амилопектинового крахмалов. Процесс извлечения крахмала из зерна сопровождается получением побочной продукции, которая имеет важное экономическое значение, определяя рентабельность производства крахмала и снижение себестоимости выходной продукции. Основными побочными продуктами при переработке зерна кукурузы на крахмал является зародыш, в котором содержатся масла и белки, клетчатка, кукурузный белок (лютен) и кормовой продукт. Каждый из этих компонентов имеет свою рыночную стоимость, привнося в бюджет перерабатывающего предприятия дополнительную прибыль. Селекция высококрахмалистой кукурузы неразрывно связана с проблемой сочетания в зерновке высокого содержания крахмала, масла и белка. Эти три компонента имеют отрицательную корреляцию между собой, и селекционерам редко удается получить их незначительные по эффективности сочетания. Создание гибридов кукурузы с высоким содержанием различных крахмалов (амилозного, амилопектинового) наравне с высоким содержанием побочных продуктов существенно улучшит эффективность и рентабельность глубокой переработки зерна на крахмал. Проведенные исследования показали, что коллекция ВИР обладает широким генетическим полиморфизмом хозяйственно ценных признаков для создания исходного материала высококрахмалистой кукурузы. Правильный подбор родительских пар в гибридных комбинациях с уче-

том оптимальных значений этих компонентов (крахмал, масло, белок) позволит найти новые пути в селекции высококрахмалистой кукурузы, получить новые знания о генетических закономерностях формирования в зерне крахмалов и его побочных продуктов.

Заключение

На основании проведенных исследований значения фактического выхода крахмала (% СВ зерна) можно заключить, что для промышленного производства крахмалов и изучения физико-химических особенностей крахмала представляют селекционную ценность образцы кукурузного зерна: к-4520, к-9301, к-24730, к-9991, к-5461, к-4520. Образцы к-4520, к-9301 относятся к ценным источникам высокого содержания амилозы и могут служить источниками генов *ae*, способствующих повышению доли амилозы в крахмале у гибридов кукурузы. Образцы к-5461 и к-9991 со 100-процентным амилолектиновым крахмалом являются ценным источником генов *ix* для создания сортов и гибридов восковицной кукурузы. Результаты селекционного испытания исходного материала высококрахмалистых образцов кукурузы позволили рекомендовать для вовлечения в селекционный процесс образцы к-24730, к-24732, к-24733, характеризующиеся высокой урожайностью зерна и показавшие высокие (4,66, 4,41 и 4,18 т/га соответственно) значения сбора крахмала в пересчете с урожая зерна. Изучение комбинационной способности проанализированных образцов в тест-кроссах позволит получить высокоурожайные, рентабельные гибриды крахмалистой кукурузы.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическим планам:

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 крахмалосодержащего 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 grain 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. GorbatoV 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

- Aksenov V.V. Biotechnological fundamentals for deep processing of starch-containing grain raw materials (Biotehnologicheskiye osnovy glubokoy pererabotki zernovogo krakhmalosoderzhashchego syrya). Novosibirsk; 2010. [in Russian] (Аксенов В.В. Биотехнологические основы глубокой переработки зернового крахмалосодержащего сырья. Новосибирск; 2010).
- An integrated program for the development of biotechnology in the Russian Federation for the period until 2020 (Kompleksnaya programma razvitiya biotekhnologiy v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda). Moscow; 2012. [in Russian] (Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года. Москва; 2012).
- Cereal crop yield in Russia has grown on average by 4.7% according to the results of 2019 (Urozhaynost' zernovykh v Rossii po itogam 2019 goda v srednem vyroslo na 4,7%). Agrotime. Analytical Science and Production Journal; 2020. [in Russian] (Урожайность зерновых в России по итогам 2019 года в среднем выросла на 4,7%. Агротайм. Аналитический научно-производственный журнал; 2020). URL: <http://agrotime.info/?p=16317> [дата обращения: 26.04.2020].
- Corn Starch. 11th ed. Corn Refiners Association; 2006. Available from: <https://corn.org/wp-content/uploads/2009/12/Starch2006.pdf> [accessed May 5, 2020].
- Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Renaudeau D., Lessire M., Lebas F. Corn gluten meal. Feedipedia. Animal Feed Resources Information System. 2018. Available from: <https://www.feedipedia.org/node/715> [accessed April 10, 2020].
- Jeroch H. Byproducts of maize starch production (Pobochnye produkty proizvodstva kukuruznogo krakhmala). Translated by Elena Babenko specially for the soft-agro.com project; 2017. [in Russian] (Ерох Х. Побочные продукты производства кукурузного крахмала. Перевод Елены Бабенко специально для проекта soft-agro.com; 2017. URL: <https://soft-agro.com/kormovoe-syre/pobochnye-produkty-proizvodstva-kukuruznogo-krakhmala.html> [дата обращения: 20.07.2017].
- Jeroch H., Denike S., Strobel E., Richter G. Feed mixtures of own production (Kormosmesi sobstvennogo proizvodstva). *Novoye selskoye khozyaystvo = New Agriculture*. 1998;2:46-50. [in Russian] (Ерох Х., Денике С., Штробель Э., Рихтер Г. Кормосмеси собственного производства. *Новое сельское хозяйство*. 1998;2:46-50).
- Karabut T. Difficulties of conversion. What hinders the development of deep processing of grain (Trudnosti peredela. Chto meshayet razvitiyu glubokoy pererabotki zerna) AgroInvestor; 2019. [in Russian] (Карабут Т. Трудности передела. Что мешает развитию глубокой переработки зерна. АгроИнвестор; 2019). URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/32529-trudnosti-pereдела/> [дата обращения: 04.10.2019].
- Koptelova E.K. Kuz'mina L.G., Gulakova V.A., Lukin N.D. Assessment of resistance of starch of different origin and modification to amylase cleavage. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017;31(5):60-62. [in Russian] (Коптелова Е.К. Кузьмина Л.Г., Гулакова В.А., Лукин Н.Д. Оценка амилорезистентности крахмалов различного происхождения и модификации. *Достижения науки и техники АПК*. 2017;31(5):60-62).

- 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).
- Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V., Goldshtein V.G. Use of innovative winter rye with a low content of pentosans as a raw material for the production of starch and starch products. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(7):83-85. [in Russian] (Носовская Л.П., Адикаева Л. В., Гольдштейн В.Г. Изучение использования инновационной низкопентозанной озимой ржи как сырья для производства крахмала и крахмалопродуктов. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(7):83-85). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10720
- Shmaraev G.E. (ed.) Studying and maintenance of maize collection accessions: Guidelines (Izucheniye i podderzhanie obraztsov kollektzii kukuruzy: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: методические указания / под ред. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1985).
- Skryabin V.A., Saboiev I.A., Chirkin A.P. Innovative processes of using biotechnologies for deep processing of grain (*Innovatsionnye protsessy ispolzovaniya biotekhnologiy glubokoy pererabotki zerna*). In: *Innovative Processes in Food Technologies: Science and Practice (Innovatsionnye protsessy v pishchevykh tekhnologiyakh: nauka i praktika). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing*. Moscow; 2019. [in Russian] (Скрябин В.А., Сабоиев И.А., Чиркин А.П. Инновационные процессы использования биотехнологий глубокой переработки зерна. В кн.: *Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Всероссийского научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки*. Москва; 2019. URL: <https://vniiz.org/science/publication/article-383/conf90-article-62> [дата обращения: 26.04.2020].
- Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Bagrinceva V.N., Sotchenko E.F., Lavrenchuk N.F., Suprunov A.I., Toloraya T.R., Zhukov N.I., Smirnova L.A. Guidelines for the production of hybrid maize seed (Metodicheskiye ukazaniya po proizvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy). Pyatigorsk: 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).
- Statistica 10.0 Software Package. StatSoft Russia. 1999-2020. [in Russian] (Пакет программ Statistica 10.0. StatSoft Russia. 1999-2020. URL: <http://statsoft.ru/> [дата обращения: 01/10/2018].
- Yarovenko V.L., Ustinnikov B.A., Pykhova S.V. Combined production of alcohol and starch in distilleries (Kombinirovannoye proizvodstvo spirita i krakhmala na spirtovyykh zavodakh). Moscow; 1965. [in Russian] (Ярovenko В.Л., Устинников Б.А., Пыхова С.В. Комбинированное производство спирта и крахмала на спиртовых заводах. Москва; 1965).

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

Гоникова М.Р., Хорева В.И., Гольдштейн В.Г., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Хатефов Э.Б. Изучение хозяйственно ценных признаков и технологических свойств коллекции *Zea mays* L. ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(4):56-64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-56-64

Gonikova M.R., Khoreva V.I., Goldstein V.G., Nosovskaya L.P., Adikaeva, Khatefov E.B. Study of economically valuable traits and technological properties in maize from the *Zea mays* L. collection of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):56-64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-56-64

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/10.30901/2227-8834-2020-4-56-64>

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

Gonikova M.R. <https://orcid.org/0000-0001-6995-9015>
 Khoreva V.I. <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>
 Goldstein V.G. <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>
 Nosovskaya L.P. <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>
 Adikaeva L.V. <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>
 Khatefov E.B. <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>