

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.15:664.25

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-51-60



Потенциал продуктивности гибридов кукурузы селекции Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко для глубокой переработки зерна

В. Г. Гольдштейн¹, А. И. Супрунов², П. М. Богдан³, В. В. Шерстобитов⁴, В. И. Хорева⁵, Л. П. Носовская¹, Л. В. Адикаева¹, Э. Б. Хатефов⁵¹ Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья, Московская обл., Россия² Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко, Краснодар, Россия³ Федеральный исследовательский центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия⁴ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, Майкоп, Россия⁵ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Эдуард Балилович Хатефов, haed1967@rambler.ru

Актуальность. Технология глубокой переработки зерна основана на применении процессов, обеспечивающих разделение сырья на различные компоненты и последовательную переработку этих компонентов в продукцию высокой потребительской стоимости. Годовой объем продукции глубокой переработки зерна составляет более 100 миллионов тонн. Крахмал, как наиболее ценный компонент перерабатываемого зерна, находит применение в пищевой промышленности, фармацевтике и в значительном количестве в технических целях.

Материал и методика. Материалом для полевых и лабораторных исследований являлись 17 производственных гибридов кукурузы селекции Научного центра зерна им. П.П. Лукьяненко. Содержание в зерновках крахмала и побочной продукции определяли фактическим извлечением нативного крахмала по методу, разработанному во Всероссийском научно-исследовательском институте крахмалопродуктов; селекционные испытания гибридов кукурузы проводили в степной зоне Кабардино-Балкарии в 2020/2021 г.

Результаты. Выделено 13 гибридов с массовой долей крахмала в пределах 70,0–73,2% СВ: КР210МВ, КР270МВ, КР377АМВ, КР385МВ, КР415МВ, РОСС198МВ, КР433МВ, КР514МВ, КР575МВ, ЛЮДМИЛА, РОСС190МВ, РОСС195МВ, КР425МВ. Из них урожайностью зерна в пределах 10–14 т/га характеризовались гибриды КР270МВ, КР315МВ, КР377АМВ, КР415МВ, КР514МВ, КР575МВ. В соответствии с полученными результатами в качестве исходного материала для селекции и перспективного сырья для глубокой переработки зерна могут быть рекомендованы гибриды: КР415МВ, КР393МВ, РОСС198МВ, которые позволяют при переработке извлекать крахмал в пределах 90,0–94,4%, и высокоамилозный гибрид КР315МВ с массовой долей амилозы в крахмале до 38,6% СВ крахмала.

Ключевые слова: кукурузный крахмал, амилопектин, амилоза, глютен, зародыш, мезга, экстрактивные вещества

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве» и государственного задания согласно тематическому плану ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиала ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха по теме НИР: FGGM-2022-0006 «Разработать научно-практические основы технологии производства новых углеводных и белковых компонентов, извлеченных из крахмалосодержащего сырья на основе системного анализа их состава и свойств для глубокой переработки картофеля, зернового и зернобобового сырья».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Гольдштейн В.Г., Супрунов А.И., Богдан П.М., Шерстобитов В.В., Хорева В.И., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Хатефов Э.Б. Потенциал продуктивности гибридов кукурузы селекции национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко для глубокой переработки зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(3):51-60. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-51-60

© Гольдштейн В.Г., Супрунов А.И., Богдан П.М., Шерстобитов В.В., Хорева В.И., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Хатефов Э.Б., 2023

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-51-60

Productivity potential of maize hybrids developed at the P.P. Lukyanenko National Grain Center for deep grain processing

Vladimir G. Goldshtein¹, Anatoly I. Suprunov², Polina M. Bogdan³, Vasiliy V. Sherstobitov⁴, Valentina I. Khoreva⁵, Liliya P. Nosovskaya¹, Larisa V. Adikaeva¹, Eduard B. Khatefov⁵

¹ Russian Potato Research Center, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing, Moscow Province, Russia

² P.P. Lukyanenko National Grain Center, Krasnodar, Russia

³ Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia

⁴ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station of VIR, Maikop, Russia

⁵ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Eduard B. Khatefov, haed1967@rambler.ru

Background. The technology of deep grain processing is based on the use of operations that ensure separation of raw materials into various components and sequential processing of these components into products of high consumer value. The annual volume of deep grain processing products is over 100 million tons. Starch, as the most valuable component of processed grain, is used in the food industry, pharmacy, and in significant amounts for technical purposes. Studying the potential of domestic maize hybrids to provide raw materials for deep grain processing enterprises is a relevant task.

Materials and methods. The material for field and laboratory studies included 17 commercial maize hybrids developed at the P.P. Lukyanenko National Grain Center. The content of starch, protein and oil in grain was measured with infrared spectroscopy on an Infratec 1241 Grain Analyzer. Actual extraction of native starch was implemented using the “plant-on-the-table” method developed at the All-Russian Research Institute of Starch Products, and breeding trials of maize hybrids were carried out in the steppe zone of Kabardino-Balkaria in 2020/2021.

Results. As a result of the research, 13 hybrids with a mass fraction of starch in the range of 70.0–73.2% DM were identified: KR210MV, KR270MV, KR377AMV, KR385MV, KR415MV, ROSS198MV, KR433MV, KR514MV, KR575MV, LYUDMILA, ROSS190MV, and ROSS195MV. Of these, the grain yield in the range of 10–14 t/ha was shown by the hybrids KR270MV, KR315MV, KR377AMV, KR415MV, KR514MV, and KR575MV. In accordance with the results obtained, a number of hybrids can be recommended as source material for breeding and promising raw material for deep grain processing: KR415MV, KR393MV, and ROSS198MV, yielding 90.0–94.4% DW of starch when processed, and KR315MV, with a mass fraction of amylose in starch up to 38.6% DW.

Keywords: maize starch, amylopectin, amylose, gluten, germ, pulp, extractives

Acknowledgements: the studies were carried out according to the state task and VIR's thematic plan under Project No. FGEM-2022-0009 “Structuring 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”, and the state task according to the thematic plan of the All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing, branch of the Russian Potato Research Center, Research Theme No. FGGM-2022-0006 “To develop scientific and practical foundations for the production technology of new carbohydrate and protein components extracted from starch-containing raw materials based on a systematic analysis of their composition and properties for deep processing of potatoes, cereal and leguminous raw materials”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Goldshtein V.G., Suprunov A.I., Bogdan P.M., Sherstobitov V.V., Khoreva V.I., Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V., Khatefov E.B. Productivity potential of maize hybrids developed at the P.P. Lukyanenko National Grain Center for deep grain processing. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(3):51-60. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-51-60

Введение

Кукуруза является основным сырьем, обеспечивающим 85% крахмала, производимого во всем мире (Ranum et al., 2014). Крахмал составляет около 70–75% ее сухого вещества с различным соотношением в нем амилозного и амилопектинового крахмалов (Burrell, 2003; Pollak, Scott, 2005; Kaur et al., 2012).

Отличительной чертой зерен всех злаковых культур является наличие крупного, заполненного крахмалом эндосперма. Эндосперм составляет большую часть сухого вещества зерна кукурузы, где скапливаются все продукты ассимилятов во время репродуктивного роста. Размер зерна является признаком, увеличение которого сопровождается повышением калорийности и упрощением сбора урожая, а поскольку эндосперм составляет основную часть зерна, селекция на более крупные зерна неизбежно увеличивает размер эндосперма (Flint-Garcia, 2017). Селекционеры непрерывно улучшают химический состав зерна кукурузы для его эффективного использования при глубокой переработке зерна на крахмал, а побочных продуктов – для производства корма для животных (Pajić et al., 2010). Технология глубокой переработки зерна при получении крахмала играет важную роль в пищевой и непищевой промышленности. Образование твердых отходов на единицу продукции составляет 0,123 т на каждую тонну зерна кукурузы (Gao et al., 2012). Эффективная переработка и дальнейшее использование побочных продуктов как дополнительных ресурсов различного растительного сырья имеет большое значение для человека (Dedinec et al., 2015; Wang et al., 2016). Ценные питательные вещества и микроэлементы, содержащиеся в побочной продукции, представляют большой интерес для использования в других отраслях экономики. Например, кукурузный глютен и клетчатка (мезга), смешанная со сгущенным кукурузным экстрактом, используются для производства сухого кукурузного корма, а высущенные зародыши кукурузы находят применение в изготовлении кукурузного масла (García-Lara, 2010).

Большинство исследований, проводимых с кукурузным зерном, в основном сосредоточены на изучении его питательных свойств, накоплении в зерне крахмала, белка, масла, а также некоторых незаменимых аминокислот (лизин, триптофан) (Doehlert, Lambert, 1991; Nankar et al., 2017; Scott et al., 2006). В последние годы наблюдается рост селекционных исследований по созданию гибридов кукурузы, дающих зерно с уникальным составом для конкретных видов конечного использования. Особый интерес для селекции и производства представляют гибриды высококрахмалистой кукурузы не только с высоким содержанием крахмала в зерне, но и с различным соотношением в нем амилозы и амилопектина, качественными показателями побочной продукции белка, зародыша, клетчатки, содержанием в белке незаменимых аминокислот, а в жире зародыша – ненасыщенных жирных кислот. Селекционное улучшение гибридной кукурузы по этим признакам может повысить ценность товарного зерна в качестве сырья при применении технологии глубокой его переработки. Этот промышленный процесс включает разные технологические операции, направленные на отделение фракций чистого крахмала от остальных частей эндосперма кукурузного зерна. Такая технология позволила выделить различные продукты, в том числе крахмал (до 68,0%), кукурузную мезгу (клетчатку) (12,0%), зародыши кукурузы (7,5%), кукурузный

экстракт (6,5%), глютен (5,6%) и другие ингредиенты (0,04%) (Rasby et al., 2003).

Научный центр зерна им. П.П. Лукьяненко, согласно данным сайта Министерства науки и образования РФ (<https://www.minobrnauki.gov.ru>), является одним из лидеров Российской Федерации в области селекции высокопродуктивных гибридов с расчетным объемом производства семян более 20,0–25,0 тыс. тонн с посевным потенциалом около 1,0 млн га, что составляет 25% площадей, занятых под кукурузу на зерно в РФ. В 2018 г. пять гибридов селекции центра вошли в первую пятерку по объемам высеянных семян на полях Российской Федерации: РОСС 199 МВ – 5019 т, Краснодарский 194 МВ – 4204 т, Краснодарский 291 АМВ – 3456 т, Краснодарский 385 МВ – 2205 т и РОСС 140 СВ – 2041 т. Гибрид Краснодарский 377 АМВ относится к генотипам с высоким содержанием лизина в зерне. В 2020 г. под руководством НЦЗ им. П.П. Лукьяненко в различных агроклиматических зонах России были заложены участки гибридизации на площади 7753 тыс. га.

Целью исследования является определение потенциальной возможности использования отечественных гибридов кукурузы в качестве сырья при производстве нативного крахмала и побочных продуктов в технологическом процессе глубокой переработки зерна.

Материалы и методы

Селекционные испытания образцов кукурузы проводили в степной зоне Кабардино-Балкарии в 2020/2021 г. Фенологические наблюдения и учет урожая зерна проводили по методике, принятой во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (Shmaraev, 1985), агротехнические мероприятия – по методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы (Sotchenko et al., 2019). Материалом для эксперимента послужили 17 образцов гибридов кукурузы селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, переданные в коллекцию кукурузы ВИР в 2020 г (табл. 1). Описания биометрических показателей даны согласно широкому унифицированному классификатору вида *Zea mays* L. (Kukekov, 1977). Были отобраны производственные гибриды селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, показавшие высокое (выше 68%) содержание крахмала в сухом (14% влажности) зерне, по данным лаборатории биохимии ВИР. Содержание в зерновках крахмала, белка и масла определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infratec 1241 Grain Analyzer (Швеция).

Определение фактического содержания крахмала и побочных продуктов его переработки в зерне представленных образцов проведено следующими методами: определение массовой доли сухих веществ (влажности зерна) (GOST 13586.5-93), определение массовой доли белка (GOST 10846-91), определение массовой доли крахмала (GOST 10845-98). Определение амилозы в крахмале (GOST ISO 6647-1-2015) используют на кукурузе в связи с отсутствием отдельного ГОСТ по определению амилозы в крахмале для кукурузы и других зерновых культур. Переработка зерна на крахмал и побочные продукты осуществлялась на лабораторной установке «завод на столе», разработанной во ВНИИК – филиале Федерального научного центра 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

Таблица 1. Содержание белка, крахмала и жира в производственных гибридах кукурузы Научного центра зерна им. П.П. Лукьяненко из коллекции ВИР по результатам ИК-спектроскопии, 2020 г.
Table 1. Protein, starch and oil content in the commercial maize hybrids developed at the P.P. Lukyanenko National Grain Center and held in the VIR collection, based on the results of IR spectrometry, 2020

Гибрид / Hybrid	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Содержание в зерне, % СВ / Content in grain, % DW		
		Белок / Protein	Крахмал / Starch	Масло / Oil
KP210MB	Г-3831	11,25 ± 0,6	70,35 ± 0,22	4,05 ± 0,17
KP270MB	Г-3832	12,60 ± 0,8	68,30 ± 0,31	4,55 ± 0,22
KP295MB	Г-3833	12,00 ± 0,3	69,50 ± 0,72	4,00 ± 0,08
KP315MB	Г-3841	11,35 ± 0,3	68,90 ± 0,95	4,50 ± 0,11
KP377AMB	Г-3842	13,80 ± 0,5	69,10 ± 0,28	3,50 ± 0,18
KP385MB	Г-3834	12,65 ± 0,1	68,95 ± 0,63	3,95 ± 0,05
KP393MB	Г-3835	11,10 ± 0,2	71,10 ± 0,32	3,65 ± 0,14
KP415MB	Г-3836	10,45 ± 0,4	70,75 ± 0,38	4,20 ± 0,12
KP425MB	Г-3837	11,90 ± 0,5	70,00 ± 0,40	3,60 ± 0,10
KP433MB	Г-3838	11,80 ± 0,4	70,15 ± 0,35	3,55 ± 0,08
KP514MB	Г-3839	13,25 ± 0,6	68,30 ± 0,66	4,15 ± 0,07
KP575MB	Г-3840	14,05 ± 0,7	68,30 ± 0,26	4,05 ± 0,14
Людмила	Г-3843	12,65 ± 0,6	68,70 ± 0,81	4,60 ± 0,11
РОСС135MB	Г-3845	11,65 ± 0,3	69,45 ± 1,11	4,40 ± 0,17
РОСС 190MB	Г-3846	10,55 ± 0,3	70,15 ± 0,52	3,90 ± 0,11
РОСС195MB	Г-3847	11,40 ± 0,5	69,5 5± 0,33	4,35 ± 0,11
РОСС198MB	Г-3848	9,15 ± 0,4	70,00 ± 0,71	4,55 ± 0,12

отделялась замочная жидкость (кукурузный экстракт), и зерно подвергалось грубому дроблению. Из зерновой массы извлекался кукурузный зародыш, который промывали от свободного крахмала и высушивали. 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. Клетчатку (мезгу) многократно (9 промывок) промывали на сите до отсутствия крахмала в промывной воде (по йодной пробе), после чего высушивали. 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. Исследования проводились с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО): массовая доля влаги (GOST 13586), массовая доля белка – на приборе K-424 (GOST 10846-91); массовая доля крахмала (GOST 10845) – с использованием поляриметра Polartronic N. Массовую долю амилозы в крахмале определяли на фотоколориметре КФК-3-01 (GOST ISO 6647-1-2015). Исследования проводили в 5-кратной повторности. Достоверность

различий оценивали по t-критерию Стьюдента, различия считали достоверными при пороге надежностей $b_1 = 0,95$ с уровнем статистической зависимости $p \leq 0,05$. Рассчитывали средние значения (М) и ошибки средних значений ($\pm m$) (<https://analytics.blogspot.com/2012/03/t.html>). Уборочную влажность зерна определяли с помощью влагомера «ФАУНА-М». Значение НСР₀₅ урожайности зерна гибридов определяли на основе данных, полученных с трех разных делянок каждого образца (биологическая проба). При проведении анализа (методом ИК-спектроскопии и по ГОСТ) на содержание белка, крахмала и масла в гибридах кукурузы определяли значения относительного стандартного отклонения в трех повторностях одной навески зерна.

Результаты

Результаты проведенных исследований показали, что среди изученных гибридов выделяются образцы – кандидаты для включения в программу импортозамещения в качестве крахмалсодержащего сырья. Одним из основных показателей перспективности использования гибрида в качестве крахмалоносного сырья является сочетание урожайности зерна и содержания в нем крахмала. Все гибриды селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко отличаются высокой скоростью влагоотдачи зерна при созревании в условиях степной зоны юга России (табл. 2).

Таблица 2. Значение хозяйственно ценных признаков и массовой доли сухих веществ (СВ, %) и крахмала (% СВ) в зерне гибридов кукурузы

Table 2. Values of useful agronomic traits and the mass fraction of dry matter (DM, %) and starch (% DW) in the grain of maize hybrids

Гибрид / Hybrid	Урожай зерна в т/га при 14% влажности* / Grain yield in t/ha at 14% moisture*	Уборочная влажность зерна, % / Harvesting grain moisture, %	Массовая доля / Mass fraction	
			Сухих веществ (СВ), % / Dry matter (DM), %	Крахмала, % СВ (ГОСТ10845) / Starch, % DW (GOST 10845)
КР210МВ	9,68	18,4	91,0 ± 0,4	71,6 ± 0,6
КР270МВ	10,76	19,4	91,2 ± 0,3	70,3 ± 0,7
КР295МВ	9,62	18,2	91,0 ± 0,3	68,2 ± 0,5
КР315МВ	10,71	19,6	90,5 ± 0,4	67,1 ± 0,5
КР377АМВ	10,70	20,7	91,5 ± 0,2	70,2 ± 0,3
КР385МВ	8,04	21,7	91,2 ± 0,1	70,0 ± 0,4
КР393МВ	7,79	20,5	90,9 ± 0,2	69,5 ± 0,3
КР415МВ	10,06	19,5	91,1 ± 0,2	71,1 ± 0,4
КР425МВ	8,13	19,5	90,8 ± 0,1	70,8 ± 0,2
КР433МВ	8,95	21,0	91,0 ± 0,3	72,1 ± 0,4
КР514МВ	14,02	20,8	91,3 ± 0,1	73,6 ± 0,3
КР575МВ	12,38	21,2	90,7 ± 0,4	73,2 ± 0,4
ЛЮДМИЛА	8,46	18,4	89,4 ± 0,3	71,8 ± 0,6
РОСС135МВ	5,46	18,3	90,9 ± 0,2	67,8 ± 0,4
РОСС190МВ	8,30	18,4	91,0 ± 0,5	71,9 ± 0,6
РОСС195МВ	6,20	15,9	91,1 ± 0,3	71,6 ± 0,5
РОСС198МВ	5,94	16,9	90,6 ± 0,3	71,1 ± 0,1

Примечание: * НСР_{0,5} = 0,22 т/га

Note: * LSD_{0,5} = 0.22 t/ha

Варьирование этого признака в исследованной выборке находится в пределах от 15,9% (РОСС195МВ) до 21,7% (КР575МВ). Среди исследованных 17 образцов выделено 13 гибридов с массовой долей крахмала более 70%: РОСС190МВ, РОСС198МВ, РОСС195МВ, КР270МВ, КР315МВ, ЛЮДМИЛА, КР575МВ, КР415МВ, КР393МВ, КР433МВ, КР210МВ, КР425МВ, КР385МВ, имеющих высокий потенциал в качестве сырья для технологий глубокой переработки зерна. Из них значением урожайности зерна выше 10 т/га характеризуются гибриды КР270МВ, КР377АМВ, КР377АМВ, КР415МВ, КР514МВ, КР575МВ.

Процесс извлечения крахмала методом глубокой переработки зерна кукурузы сопровождается выделением побочной продукции в виде многих полезных для других отраслей продуктов, таких как кукурузный экстракт, мезга, глютен, зародыш и процессовая вода. Получение этой дополнительной товарной продукции несомненно влияет на себестоимость и рентабельность основной продукции – нативного крахмала. Исследование выхода побочных продуктов, получаемых при глубокой переработке зерна 17 гибридов кукурузы, показало, что их по-

казатели по некоторым образцам имеют важное производственное значение (табл. 3).

Высокий выход экстракта в пределах 7–7,6% показали гибриды КР210МВ, КР295МВ, КР315МВ, КР415МВ, ЛЮДМИЛА, РОСС190МВ. Вырабатываемая при глубокой переработке зерна кукурузы мезга используется как компонент кукурузного корма. Ее высокое, в пределах 15,4–15,7%, содержание обнаружено в четырех образцах (КР315МВ, КР385МВ, КР514МВ, КР575МВ). Выход мезги в пределах 11,4–12,6% СВ зерна выявлен у гибридов: РОСС198МВ, КР270МВ, КР393МВ, КР415МВ, КР210МВ (см. табл. 3), а массовая доля крахмала в мезге (выше 20% СВ) у всех гибридов, за исключением КР415МВ и КР270МВ (табл. 4).

Глютен кукурузы включает в себя сложную смесь зеинов с другими белковыми компонентами, связанными с крахмалом и клетчаткой. Он представляет собой белковую фракцию, существенно отличающуюся от глютена пшеницы и родственных ей злаков. В отличие от качественного пшеничного глютена, кукурузный глютен имеет очень плохие реологические свойства. Его исполь-

Таблица 3. Результаты переработки кукурузного зерна методом «завод на столе» и качественные показатели крахмала и побочных продуктов переработки**Table 3. Maize grain processing results obtained by the “plant-on-the-table” method and the quality indicators of starch and byproducts of processing**

Гибрид / Hybrid	Выход побочных продуктов, % СВ зерна / Yield of byproducts, % DW of grain					
	Экстракт / Extract	Мезга / Pulp	Глютен / Gluten	Крахмал / Starch	Зародыш / Germ	Вода для замачивания зерна / Water for grain soaking
КР210МВ	7,0 ± 0,1	12,6 ± 0,3	12,8 ± 0,5	62,2 ± 0,7	7,9 ± 0,3	5,4 ± 0,1
КР270МВ	5,2 ± 0,1	12,6 ± 0,5	13,9 ± 0,4	60,3 ± 0,8	9,9 ± 0,1	8,0 ± 0,1
КР295МВ	7,3 ± 0,1	14,3 ± 0,5	14,0 ± 0,4	58,4 ± 0,9	8,4 ± 0,1	6,0 ± 0,1
КР315МВ	7,3 ± 0,1	15,7 ± 0,5	14,1 ± 0,7	58,2 ± 0,7	8,2 ± 0,2	4,7 ± 0,1
КР377АМВ	6,6 ± 0,1	14,1 ± 0,5	13,9 ± 0,3	59,0 ± 0,7	9,0 ± 0,1	6,7 ± 0,1
КР385МВ	5,7 ± 0,1	15,6 ± 0,3	13,3 ± 0,4	60,7 ± 0,9	8,3 ± 0,4	4,7 ± 0,1
КР393МВ	5,6 ± 0,1	12,0 ± 0,5	11,6 ± 0,4	65,1 ± 0,7	7,2 ± 0,3	5,7 ± 0,1
КР415МВ	7,3 ± 0,1	11,4 ± 0,6	10,6 ± 0,3	64,9 ± 0,8	7,0 ± 0,3	5,8 ± 0,1
КР425МВ	6,3 ± 0,1	14,9 ± 0,5	12,0 ± 0,3	61,9 ± 0,5	8,4 ± 0,2	4,9 ± 0,1
КР433МВ	5,1 ± 0,1	13,2 ± 0,3	14,0 ± 0,5	63,9 ± 0,8	7,1 ± 0,4	3,8 ± 0,1
КР514МВ	6,5 ± 0,1	15,4 ± 0,6	14,9 ± 0,6	57,5 ± 0,8	8,4 ± 0,4	5,7 ± 0,1
КР575МВ	5,7 ± 0,1	15,6 ± 0,7	13,6 ± 0,3	58,8 ± 0,6	7,2 ± 0,1	6,3 ± 0,1
ЛЮДМИЛА	7,6 ± 0,1	14,6 ± 0,4	14,0 ± 0,4	59,7 ± 0,6	8,2 ± 0,3	4,1 ± 0,1
РОС195МВ	5,8 ± 0,1	13,5 ± 0,3	14,6 ± 0,3	60,8 ± 0,3	9,2 ± 0,3	5,3 ± 0,1
РОСС135МВ	5,9 ± 0,1	13,4 ± 0,4	13,7 ± 0,3	60,1 ± 0,4	8,3 ± 0,1	6,9 ± 0,1
РОСС190МВ	7,0 ± 0,1	14,3 ± 0,7	13,2 ± 0,4	61,4 ± 0,4	7,9 ± 0,3	4,1 ± 0,1
РОСС198МВ	5,7 ± 0,1	12,6 ± 0,6	10,1 ± 0,1	67,1 ± 0,9	8,2 ± 0,2	4,5 ± 0,1

зуют в основном в безглютеновом, диетическом питании для людей с синдромом целиакии, а также в качестве добавки в различных комбикормах для животных с целью повышения содержания белка. Выход глютенa в пределах 14,0–14,9% СВ зерна установлен для гибридов: КР295МВ, КР315МВ, КР433МВ, РОС195МВ, ЛЮДМИЛА, КР514МВ (см. табл. 3). Содержание массовой доли крахмала в глютенe выше 20% СВ показали гибриды: РОСС195МВ, КР270МВ, КР315МВ, КР377АМВ, КР514МВ, КР575МВ, ЛЮДМИЛА, РОСС190МВ, КР210МВ (см. табл. 4).

Низкие потери экстрактивных веществ (ниже 6,3% СВ) с водой для замачивания зерна определены при переработке гибридов: КР270МВ, РОСС198МВ, КР393МВ, КР433МВ, КР575МВ, РОС195МВ, РОСС135МВ, КР385МВ. Наиболее высокий выход крахмала, 64,9% СВ и более, получен при переработке зерна гибридов: РОСС198МВ (67,1%), КР415МВ (64,9%).

Выделяемый из кукурузного зерна зародыш служит ценным сырьем для извлечения из него кукурузного масла и жмыха. Извлечение зародыша в пределах 9,0–9,9% СВ получено при переработке образцов зерна: КР270МВ, РОСС195МВ, КР377МВ (см. табл. 3). Гибрид КР270МВ характеризуется максимально высокой (для

изученной выборки) долей зародыша при содержании масла 4,55%. Такая высокая доля зародыша в зерне кукурузы является важным дополнительным источником сырья для выработки из него кукурузного масла. Учитывая более высокую стоимость и качество кукурузного масла в сравнении с маслом из семян подсолнечника и рапса, использование высокомасличных гибридов для глубокой переработки зерна перспективно.

Наименьшая массовая доля крахмала в мезге (меньше 20% СВ) получена при переработке образцов: КР270МВ и КР415МВ (см. табл. 4). При выработке крахмала из зерна наименьшие потери (меньше 20% СВ) крахмала с глютенom установлены для зерна гибридов: РОСС198МВ, КР393МВ, КР415МВ, КР425МВ, КР433МВ, РОСС135МВ, КР295МВ, а высокая, в пределах 67,0–67,8% СВ, массовая доля белка в глютенe получена при переработке гибридов: РОСС198МВ, КР415МВ, КР393МВ.

Соотношение доли амилозы и амилопектина в крахмале во многом определяет его качественные признаки и свойства. Крахмалы, извлеченные из зерна гибридов кукурузы, показали, что доля амилозы в крахмале (% СВ) варьировала в пределах от 16,6% (РОСС198МВ) до 38,6% (КР315МВ). Низкие значения доли амилозы (менее 20%

Таблица 4. Качественные показатели некоторых побочных продуктов и крахмала, полученных в результате переработки зерна кукурузы

Table 4. Qualitative indicators of some byproducts and starch obtained as a result of maize grain processing

Гибрид / Hybrid	Массовая доля крахмала, % СВ зерна / Mass fraction of starch, % DW of grain		Амилоза в крахмале, % СВ крахмала / Amylose in starch, % DW of starch	Белок в глютенe, % СВ глютенa / Protein in gluten, % DW of gluten	Коэффициент извлечения крахмала, % / Starch extraction ratio, %
	Мезга / Pulp	Глютен / Gluten			
KP210MB	23,5 ± 1,1	24,8 ± 2,3	21,9 ± 0,1	57,0 ± 1,9	87,4
KP270MB	19,9 ± 1,1	24,3 ± 1,9	23,8 ± 0,3	57,7 ± 2,4	85,8
KP295MB	25,6 ± 1,5	19,2 ± 1,9	22,4 ± 0,3	63,2 ± 2,8	85,6
KP315MB	29,3 ± 1,1	22,3 ± 2,0	38,6 ± 0,3	59,7 ± 2,3	83,1
KP377AMB	25,2 ± 1,2	22,0 ± 1,4	18,9 ± 0,5	60,2 ± 2,2	84,9
KP393MB	20,2 ± 1,6	15,3 ± 1,1	20,8 ± 0,5	67,8 ± 2,5	92,0
KP415MB	19,4 ± 1,4	15,0 ± 1,4	23,1 ± 0,3	67,0 ± 2,1	90,0
KP425 MB	32,0 ± 1,8	17,6 ± 1,8	19,4 ± 0,6	64,3 ± 2,1	84,2
KP433MB	27,0 ± 1,9	18,4 ± 1,8	17,9 ± 0,2	63,5 ± 2,3	87,4
KP514MB	28,8 ± 1,9	26,7 ± 1,7	19,8 ± 0,3	55,0 ± 2,6	85,7
KP575MB	30,2 ± 1,2	21,8 ± 1,7	24,0 ± 0,1	60,2 ± 2,7	83,8
ЛЮДМИЛА	29,2 ± 1,6	23,5 ± 2,3	21,9 ± 0,4	58,5 ± 2,8	83,1
РОСС135MB	27,4 ± 1,7	19,1 ± 2,0	21,9 ± 0,3	62,7 ± 2,3	88,6
РОСС190MB	31,4 ± 1,3	21,8 ± 2,1	16,9 ± 0,6	60,2 ± 2,7	85,4
РОСС195MB	30,5 ± 1,8	26,4 ± 1,3	20,4 ± 0,2	55,6 ± 2,3	84,9
РОСС198MB	27,2 ± 1,3	14,9 ± 1,7	16,6 ± 0,4	67,3 ± 2,5	94,4

СВ) в крахмале были у гибридов: KP377AMB, KP425 MB, KP433MB, РОСС198MB, РОСС190MB, KP514MB.

Максимальная извлекаемость крахмала при глубокой переработке зерна имеет важное значение для исключения его потерь вместе с побочной продукцией. Высокий выход крахмала при глубокой переработке зерна установлен у гибридов KP415MB, KP393MB и РОСС198MB.

В соответствии с полученными результатами в качестве исходного материала для селекции и возделывания на зерно в качестве сырья для глубокой переработки могут быть рекомендованы гибриды: KP415MB, KP393MB, РОСС198MB, которые позволяют извлекать крахмал в пределах 90,0–94,4%, а высокоамилозный гибрид KP315MB с массовой долей амилозы до 38,6% СВ крахмала может служить сырьем для получения крахмала с высокой долей амилозы. При переработке зерна гибрида KP415MB был отмечен высокий выход экстрактивных веществ (кукурузный экстракт), а также низкая массовая доля крахмала в побочных продуктах производства: мезге и глютене. Наибольшее значение содержания белка в глютенe, 67,3% СВ глютенa при извлекаемости крахмала до 94,4% СВ, получено при переработке зерна ранне-спелого гибрида РОСС198MB. В этом гибриде обнаружены высокая доля зародыша (8,2% СВ), низкое содержание глютенa (10,1% СВ) и высокая доля мезги (27,2% СВ).

Этот гибрид является наиболее перспективным для возделывания и дальнейшего использования в качестве сырья для глубокой переработки зерна.

Обсуждение результатов

Среди изученных в опыте 17 производственных гибридов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко выделено 13 гибридов с массовой долей крахмала в пределах 70,0–73,6%: KP385MB, KP377AMB, KP415MB, KP425MB, KP270MB, KP210MB, KP433MB, РОСС198MB, KP575MB, ЛЮДМИЛА, РОСС190MB, РОСС195MB, KP514MB. Из них урожайностью зерна выше 10 т/га характеризуются гибриды: KP270MB, KP377AMB, KP377AMB, KP415MB, KP514MB, KP575MB. Максимальным извлечением крахмала (90%) при глубокой переработке зерна характеризуется гибрид KP415MB.

Анализ побочной продукции, получаемой при выработке крахмала методом глубокой переработки зерна, показал, что выходом экстрактивных веществ в пределах 7,0–7,6% СВ массовой доли зерна характеризуются гибриды: РОСС190MB, KP315MB, ЛЮДМИЛА, KP415MB, KP295MB, KP210MB. По показателю выход мезги менее 14% СВ зерна выделены гибриды: KP270MB, KP415MB, KP393MB, KP433MB, KP433MB, РОСС135MB, KP210MB,

РОСС198МВ, РОСС195МВ. Значения выхода глютена в пределах 14,0–14,9% СВ зерна показали гибриды: КР315МВ, ЛЮДМИЛА, КР433МВ, КР295МВ, КР514МВ, РОСС195МВ, а извлечение зародыша в пределах 9,0–9,9% СВ получено при переработке зерна гибридов: КР270МВ, РОСС195МВ, КР377МВ. В соответствии с полученными результатами в качестве исходного материала для селекции и перспективного сырья для глубокой переработки зерна могут быть рекомендованы гибриды: КР415МВ, КР393МВ, РОСС198МВ, у которых извлекаемость крахмала при переработке зерна достигает 90,0–94,4%, а также высокоамилозный гибрид КР315МВ с массовой долей амилозы в крахмале 38,6% СВ крахмала.

Редкий и ценный признак для селекции высококрахмалистой кукурузы, у которой наблюдается сочетание высокого содержания крахмала с высоким содержанием белка, обнаружен у гибридов КР393МВ и КР415МВ. Также сочетание высокого содержания крахмала с высоким содержанием масла в зародыше было обнаружено у гибрида РОСС198МВ. Гибриды КР270МВ, РОСС135МВ и РОСС195МВ характеризуются относительно высоким содержанием крахмала, белка и масла. Родительские линии этих гибридов служат ценным источником признаков, связанных с накоплением в гибридной зерновке наравне с крахмалом других побочных продуктов. Создание на их основе исходного селекционного материала существенно улучшит качественный состав зерна.

Выводы

Исследования урожайности зерна, фактического содержания в зерне крахмала и побочной продукции при глубокой переработке зерна гибридов кукурузы селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко показали, что значительная часть сортимента характеризуется высоким потенциалом продуктивности и выхода крахмальной продукции. В результате исследований удалось выделить четыре гибрида селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко с высоким потенциалом урожайности и выработки крахмалов, которые могут служить полноценным сырьем при импортозамещении аналогичных гибридов иностранной селекции (State Register..., 2022). Потенциал продуктивности, количества и качества получаемой основной и побочной продукции из товарного зерна отечественных гибридов представляется достаточно высоким, за исключением специальных форм крахмала (амилозный и амилопектиновый), которые пока еще не представлены отечественными гибридами кукурузы в Реестре селекционных достижений РФ (State Register..., 2022). Сочетание интенсивных агротехнологий с генетическим потенциалом и качеством зерна отечественных гибридов кукурузы селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко позволяет гарантировать высокий уровень обеспеченности товарным зерном предприятий по глубокой переработке зерна в Российской Федерации.

References / Литература

- Burrell M.M. Starch: the need for improved quality or quantity – an overview. *Journal of Experimental Botany*. 2003;54(382):451-456. DOI: 10.1093/jxb/erg049
- Classical methods of statistics: Student's *t*-test (Klassicheskiye metody statistiki: t-kriteriyi Styudenta): [website]. [in Russian] (Классические методы статистики: t-критерий Стьюдента: [сайт]). URL: <https://ranalytics.blogspot.com/2012/03/t.html> [дата обращения: 12.05.2022].

- Dedinec A., Markovska N., Ristovski I., Veleviski G., Gjorgjievska V.T., Grncarovska T.O. et al. Economic and environmental evaluation of climate change mitigation measures in the waste sector of developing countries. *Journal of Cleaner Production*. 2015;88:234-241. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.048
- Doehlert D.C., Lambert R.J. Metabolic characteristics associated with starch, protein, and oil deposition in developing maize kernels. *Crop Science*. 1991;31(1):151-157. DOI: 10.2135/cropsci1991.0011183X003100010035x
- Flint-Garcia S.A. Kernel evolution: from teosinte to maize. In: B.A. Larkins (ed.). *Maize Kernel Development*. Wallingford: CABI; 2017. p.1-15. DOI: 10.1079/9781786391216.0001
- Gao L., Ren N.Q., Chen Z.B., Wang A., Zhang L.S. Energy consumption and environment emissions analysis of a typical corn deep processing enterprise. *Journal of Harbin Institute of Technology*. 2012;44(2):61-65.
- García-Lara S. Cereal grains: properties, processing and nutritional attributes. *Crop Science*. 2010;50(6):2649-2650. DOI: 10.2135/cropsci2010.12.0005br
- Gonikova M.R., Khoreva V.I., Goldshtein V.G., Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V., Khatefov E.B. Study of economically valuable traits and technological properties in maize from the *Zea mays* L. collection of VIR. *Proceeding on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):56-64. [in Russian] (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
- GOST 10845-98. Interstate standard. Cereals and cereal milled products. Method for determination of starch. Official edition. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10845-98. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. Издание официальное. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/88/8817.pdf> [дата обращения: 23.03.2023].
- GOST 10846-91. Interstate standard. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10846-91. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> [дата обращения: 23.03.2023].
- GOST 13586.5-93. Interstate standard. Grain. Method of moisture content determination. Official edition. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 13586.5-93. Межгосударственный стандарт. Зерно. Метод определения влажности. Издание официальное. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294837/4294837685.pdf> [дата обращения: 23.03.2023].
- GOST 32902-2014. Interstate standard. Starch and starch products. Terms and definitions. Official edition. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 32902-2014. Межгосударственный стандарт. Крахмал и крахмалопродукты. Термины и определения. Издание официальное. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://>

- files.stroyinf.ru/Data2/1/4293767/4293767121.pdf [дата обращения: 22.03.2023].
- GOST ISO 6647-1-2015. Interstate standard. Rice. Determination of amylose content. Part 1. Reference method (ISO 6647-1:2007, IDT). Official edition. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ ISO 6647-1-2015. Межгосударственный стандарт. Рис. Определение содержания амилозы. Часть 1. Контрольный метод (ISO 6647-1:2007, IDT). Издание официальное. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://meganorm.ru/Data/604/60481.pdf> [дата обращения: 22.03.2023].
- GOST R 55489-2013. National standard of the Russian Federation. Corn gluten. Specifications. Official edition. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ Р 55489-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Глютен кукурузный. Технические условия. Издание официальное. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293774/4293774184.pdf> [дата обращения 05.09.2022].
- Kaur B., Ariffin F., Bhat R., Karim A.A. Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*. 2012;26(2):398-404. DOI:10.1016/j.foodhyd.2011.02.016
- 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).
- Ministry of Science and Education of the Russian Federation. News of the Ministry. Valery Falkov arrived on a working visit to Krasnodar (Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii. Novosti ministerstva. Valeriy Falkov pribyl s rabochim vizitom v Krasnodar). September 1, 2022. [in Russian] (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Новости министерства. Валерий Фальков прибыл с рабочим визитом в Краснодар. 1 сентября 2022 г.) URL: <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/25248/> [дата обращения: 01.09.2022].
- Nankar A., Holguin F.O., Scott M.P., Pratt R.C. Grain and nutritional quality traits of Southwestern U.S. blue maize landraces. *Cereal Chemistry*. 2017;94(6):950-955. DOI: 10.1094/CHEM-04-17-0079-R
- Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V., Gol'dshtein 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
- Pajić Z., Radosavljević M., Filipović M., Todorović G., Srdić J., Pavlov M. Breeding of specialty maize for industrial purposes. *Genetika*. 2010;42(1):57-66. DOI: 10.2298/GENSR1001057P
- Pollak L.M., Scott M.P. Breeding for grain quality traits. *Maydica*. 2005;50(3):247-257.
- Ranum P., Peña-Rosas J.P., Garcia-Casal M.N. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014;1312(1):105-112. DOI: 10.1111/nyas.12396
- Rasby R.J., Erickson G.E., Klopfenstein T.J., Adams D.C. Value and use of corn milling by-products in the cow herds. In: *Proceedings, The Range Beef Cow Symposium XVIII*. Mitchell, NE: University of Nebraska 2003. Available from: <https://digitalcommons.unl.edu/rangebeefcowssymp/62> [accessed Sept. 01, 2021].
- Scott M.P., Edwards J.W., Bell C.P., Schussler J.R., Smith J.S. Grain composition and amino acid content in maize cultivars representing 80 years of commercial maize varieties. *Maydica*. 2006;51(2):417-423.
- Shmaraev G.E., Matveeva G.V. Study and maintenance of the maize collection accessions. Guidelines (Izucheniye i podderzhaniye obraztsov kollektsii kukuruzy. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В. Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы. Методические указания. Ленинград: ВИР; 1985).
- Sotchenko V.S. Maize breeding, seed production, and cultivation technology (Selektsiya, semenovodstvo, tekhnologiya vozdel'yvaniya kukuruzy). Pyatigorsk; 2009. [in Russian] (Сотченко В.С. Селекция, семеноводство, технология возделывания кукурузы. Пятигорск; 2009).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2022. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2022).
- StatSoft Russia: [website]. [in Russian] (StatSoft Russia: [сайт]). URL: <http://statsoft.ru/products/new-features/STATISTICA10.php> [дата обращения: 10.08.2022].
- Wang B., Dong F., Chen M., Zhu J., Tan J., Fu X. et al. Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism. *Procedia Environmental Sciences*. 2016;31:12-17. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.02.002

Информация об авторах

Владимир Георгиевич Гольдштейн, кандидат технических наук, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, ул. Некрасова, 11, 6919486@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

Анатолий Иванович Супрунов, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом, Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко, 350012 Россия, Краснодар, Центральная Усадьба КНИИСХ, suprunov-kniisx@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6400-6837>

Полина Михайловна Богдан, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, polina_bogdan84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3052-5521>

Василий Васильевич Шерстобитов, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 385746 Россия, Республика Адыгея, Майкоп, ул. Научная, 1, scherstobitow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8308-5107>

Валентина Ивановна Хорева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Лилия Петровна Носовская, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, ул. Некрасова, 11, vniik@arrisp.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>

Лариса Владимировна Адикаева, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, ул. Некрасова, 11, csvniik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>

Эдуард Балилович Хатефов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

Information about the authors

Vladimir G. Goldshtein, Cand. Sci. (Engineering), Head of a Department, Russian Potato Research Center, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing, branch of the Russian Potato Research Center, 11 Nekrasova St., Kraskovo Settle., Lyuberetsky District, Moscow Province 140051, Russia, 6919486@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

Anatoly I. Suprunov, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Department, P.P. Lukyanenko National Grain Center, Central Estate of the KNIISKH, Krasnodar 350012, Russia, suprunov-kniisx@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6400-6837>

Polina M. Bogdan, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, polina_bogdan84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3052-5521>

Vasiliy V. Sherstobitov, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station of VIR, 1 Nauchnaya St., Maikop 385746, Russia, scherstobitow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8308-5107>

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Liliya P. Nosovskaya, Senior Researcher, Russian Potato Research Center, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing, branch of the Russian Potato Research Center, 11 Nekrasova St., Kraskovo Settle., Lyuberetsky District, Moscow Province 140051, Russia, vniik@arrisp.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>

Larisa V. Adikaeva, Researcher, Russian Potato Research Center, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing, branch of the Russian Potato Research Center, 11 Nekrasova St., Kraskovo Settle., Lyuberetsky District, Moscow Province 140051, Russia, csvniik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>

Eduard B. Khatefov, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.09.2022; одобрена после рецензирования 13.04.2023; принята к публикации 04.09.2023. The article was submitted on 30.09.2022; approved after reviewing on 13.04.2023; accepted for publication on 04.09.2023.