

Разработка технологических режимов получения крахмала из дальневосточных сортов кукурузы и исследование показателей качества

Елена Смертина¹, Елена Черевач¹,
Мариам Галстян¹, Вадим Никитин²

¹ Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

² ООО “ДВ-Эксперт”,
г. Владивосток, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:
19.03.2024

Принята
к опубликованию:
02.06.2024

УДК 612.396.111

JEL Q16

Ключевые слова:

агропромышленный комплекс, зерно кукурузы, биохимический состав, кукурузный крахмал, технологические режимы, технологическая схема производства, лабораторные образцы, показатели качества.

Keywords:

agro-industrial complex, corn grain, biochemical composition, corn starch, technological regimes, production scheme, laboratory samples, quality indicators.

Аннотация

Настоящая статья посвящена обоснованию технологических режимов получения целевого продукта высокой биологической ценности (крахмала) из дальневосточных сортов кукурузы (Южанка и Славянка) и изучению показателей его качества. Представлена характеристика и оценка биохимического состава сортов кукурузы, используемых для получения крахмала. Экспериментально установлены рациональные режимы технологической операции замачивания зерна кукурузы (время замачивания, температура воды, концентрация химического реагента). Разработана принципиальная технологическая схема получения лабораторных образцов кукурузного крахмала. Представлены результаты исследования лабораторных образцов по органолептическим, физико-химическим показателям и показателям безопасности. Показано, что исследуемые образцы соответствуют требованиям нормативных документов.

DOI: <https://doi.org/10.24866/2311-2271/2024-2/1122>.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках достижения результатов федерального проекта “Передовые инженерные школы”, Соглашение № 075-15-2022-1143 от 07.07.2022.

Ссылка для цитирования. Смертина Е.С. Разработка технологических режимов получения крахмала из дальневосточных сортов кукурузы и исследование показателей качества / Е.С. Смертина, Е.И. Черевач, М.В. Галстян [и др.] // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2024. № 2 (110). С. 95–107. — DOI: 10.24866/2311-2271/2024-2/1122.

Process Parameters Design of Starch Production Based on Far Eastern Varieties of Corn and Quality Indicators Study

Elena S. Smertina, Elena I. Cherevach, Mariam V. Galstyan, Vadim V. Nikitin

Abstract

This research describes the substantiation of technological regimes to produce the target product (starch) with high biological value from the Far Eastern varieties of corn (Yuzhanka and Slavyanka) and the study of its quality indicators. The characteristics and biochemical composition assessment of corn varieties used for starch production are presented. The following technological rational regimes of soaking corn grains were established: soaking time, water temperature, and chemical reagent concentration. The basic technological scheme for the corn starch laboratory samples production was developed. The obtained laboratory samples were analysed on organoleptic, physico-chemical and safety indicators. The correspondence of the results of characterized samples to the regulatory documents is shown.

Введение

В последние годы агропромышленный комплекс демонстрирует уверенный рост, в том числе за счёт поддержки государства, и является одним из основных движущих направлений отечественной экономики, оказывающих непосредственное влияние на устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации [1–3].

Зерновое хозяйство играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности России. Оно включает в себя производство, хранение и глубокую переработку зерна, основная задача которой заключается в выделении и эффективном использовании биологически активных компонентов сырья.

Дальневосточный федеральный округ благодаря своим природно-климатическим условиям имеет свои особенности при возделывания различных сельскохозяйственных культур (соя, кукуруза, рис и др.) [4, 5]. За последнее десятилетие наблюдается стабильный рост их высоких урожаев, который обусловлен не только потребностями внутреннего рынка, но и спросом на эти культуры со стороны азиатских стран-импортёров, таких как Китай, Корея, Япония и др.

Кукуруза из-за высокой потенциальной урожайности и универсальности использования является одной из важнейших сельскохозяйственных культур для региона [6]. За последние годы в Приморском крае наметилась тенденция к увеличению производства зерна кукурузы в основном за счёт расширения посевных площадей, а также прихода крупных интернациональных семеноводческих компаний в регион, что способствовало внедрению технологий возделывания кукурузы и, соответственно, повышению продуктивности этой культуры.

Получение высококачественных целевых продуктов из дальневосточных (ДВ) сортов кукурузы, готовых к практическому широкому масштабированию в реальном секторе экономики РФ на базе крупных предприятий агропромышленного комплекса, позволит повысить конкурентоспособность и увеличить перспективы развития региона

и сельского хозяйства, обеспечить продовольственную безопасность, реализацию государственных программ, а также международную релевантность.

Современные тенденции направлены на углублённую переработку зерна, базирующуюся на передовых технологиях и технических средствах, минимизации отходов, ресурсосберегающих инновационных технологиях. Однако глубокая переработка зерна всё-таки является относительно новой отраслью для России и развитие этой области замедляется за счёт таких причин, как технологическая сложность проектов, высокие затраты на капитал, адаптация иностранных технологий к российским нормативам и стандартам, а также дефицит квалифицированных кадров [7].

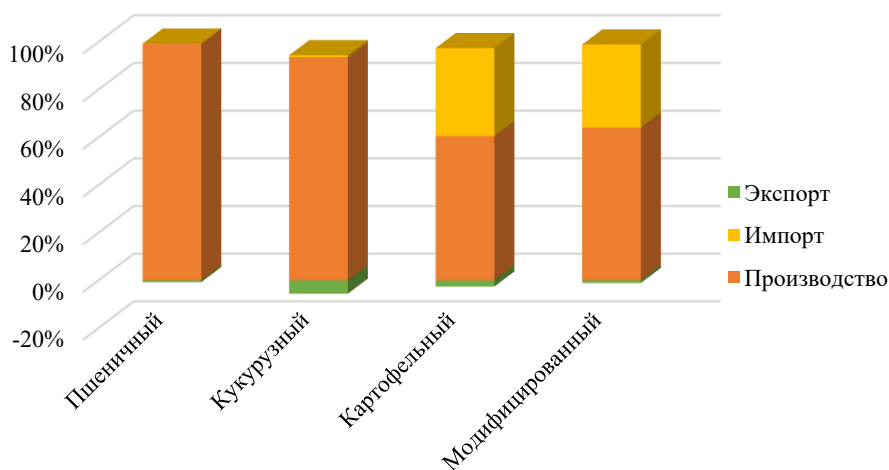
Продукты переработки кукурузы (крахмал, глютен, зародыш, клетчатка и др.) востребованы различными отраслями народного хозяйства — пищевой, кормовой, текстильной, бумажной, химической, фармацевтической и др. [8–12].

Крахмал является ценным пищевым продуктом. Он является сырьём для многих пищевых добавок (мальтодекстрин, модифицированные крахмалы и др.) [13–15].

Россия в 2023 г. сделала ставку на увеличение производства некоторых позиций отрасли глубокой переработки зерна на территории страны, что отразилось на конъюнктуре рынка и экспортных поставках.

В 2023 г. производство нативных крахмалов в России выросло, особенно кукурузного крахмала. Общий объём производства нативных крахмалов вырос за счёт увеличения кукурузного крахмала, которого было произведено более 328 607 т [16, 17].

Импорт кукурузного крахмала снизился, но экспорт сократился на 54%. Второе место по объёмам производства занял пшеничный крахмал, производство которого сократилось на 73%. Объём производства картофельного крахмала стабилен, импорт сократился на 67% (рис. 1).



Источник: [17].

Рис. 1. Производство, импорт и экспорт нативных крахмалов в 2023 г.

Согласно анализу Ассоциации предприятий глубокой переработки зерна “СОЮЗКРАХМАЛ”, более половины нативных крахмалов производятся в Центральном федеральном округе. Этот регион, включающий Тульскую, Тамбовскую, Воронежскую, Липецкую и Орловскую области, производит 141,1 тыс. т крахмала [19]. По оценкам ID-Marketing Тульская область является крупнейшим российским производителем натурального крахмала, ответственным за почти четверть всего производства в стране [19, 20].

Среди наиболее значимых российских производителей зерновых крахмалов можно выделить ООО Cargill (Тульская область), ООО “Амилко” (Ростовская область), ООО “Рустарк” (Краснодарский край), ООО “АСТОН Крахмало-Продукты” (Рязанская область), ООО “Нью-Био” (Волгоградская область), ООО «Крахмальный завод “Кабардинский”» (Республика Кабардино-Балкария), ОАО «Хоботовское предприятие “Крахмалопродукт”» (Тамбовская область), АО “Чаплыгинский крахмальный завод” (Липецкая область) и др.

Одним из претендентов в области развития и производства продуктов глубокой переработки кукурузы в Приморском крае РФ является группа компаний “Арника”, которая планирует завершить строительство зернового экспортно-ориентированного элеваторного комплекса на территории опережающего развития “Надеждинская”.

Таким образом, наращивание объёмов производства в агросекторе имеет серьёзные ограничения. В определённый момент развитие промышленности без изменения технологических подходов становится невозможным. Поэтому возникла потребность рационализации эффективных технологий глубокой переработки районированных дальневосточных сельскохозяйственных ресурсов для получения качественных целевых продуктов, востребованных как регионами РФ, так и ориентированных на внешний рынок.

Поэтому **цель исследования** — обоснование и разработка технологических режимов получения целевого продукта высокой добавленной стоимости (крахмала) из дальневосточных сортов кукурузы и изучение показателей качества лабораторных образцов крахмала.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследований использовали:

- сортообразцы кукурузы (сорт-популяция Славянка; сорт-популяция Южанка), предоставленные ФГБНУ “ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки” (заготовлены в октябре 2022 г.). Данные сорта сельскохозяйственных культур включены в Госреестр по Дальневосточному региону на зерно и силос; по сроку созревания — Южанка среднепоздний сорт; Славянка относится к среднеранним сортам;
- пиросульфит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ — по ГОСТ 11683-76;
- вода питьевая — по СанПиН 2.1.4.559-96.

Используемое сырьё по показателям безопасности соответствовало требованиям нормативных документов (ТР ТС 021/2011 и СанПиН 2.1.4.1074-2001);

– лабораторные образцы кукурузного крахмала, упакованные в пакеты типа Zip-lock массой 50 г и хранившиеся при относительной влажности воздуха 75% и температуре 10 °С.

Органолептические показатели крахмала определяли в последовательности: внешний вид, цвет и запах — по ГОСТ 7698; определение количества крапин — по ГОСТ 7698.

Физико-химические показатели. Массовую долю сухих веществ и влаги определяли методом высушивания до постоянного веса в сушильном шкафу — по ГОСТ 7698; ГОСТ 55802; кислотность — методом титрования навески 0,1 Н раствора едкого натрия или калия при индикаторе фенолфталеине — по ГОСТ 7698, ГОСТ 34457; определение сернистого ангидрида — методом окисления сернистой кислоты раствором йода при титровании фильтрата крахмальной суспензии — по ГОСТ 7698.

Показатели безопасности. Подготовку проб для микробиологических анализов проводили — по ГОСТ 26669; бактерии группы кишечной палочки (БГКП) — методом измерения электрического сопротивления (импеданса) на приборе “Бак Трак 4100” (Австрия) — по МУК 4.2.2578; патогенные, в том числе сальмонеллы — методом полимерной цепной реакции (ПЦР) — по ГОСТ Р 52833; дрожжи, плесени — по МУК 4.2.2884; пробоподготовка — по ГОСТ 10444.12. Подготовку проб для определения токсичных элементов проводили методом мокрой (кислотной) минерализации — по ГОСТ 26929. Содержание токсичных элементов: свинец, кадмий — по ГОСТ EN 14083; мышьяк — по ГОСТ 31628; ртуть — по ГОСТ 34427. Содержание пестицидов (Гексахлорциклопексан (α , β , γ — изомеры), ДДТ и его метаболиты) – по СТ РК 2011.

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях Приморского края было изучено более 15 гибридов кукурузы отечественной селекции, в результате по комплексу хозяйственно ценных признаков (урожайность, уборочная влажность зерна и др.) выделены гибридные популяции селекции ФГБНУ “ФНЦ агротехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайка” — Славянка и Южанка. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Урожайность и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы, 2022 г.

Гибридная популяция	Урожайность зерна при 14% влажности, т/га	Уборочная влажность зерна, %
Славянка	6,8	26,4
Южанка	6,6	28,4

Сорта-популяции приморской селекции имеют хорошие потребительские качества и высокую урожайность плодов.

На первом этапе исследований проводили характеристику и оценку биохимического состава сортов кукурузы, используемых для получения целевых продуктов (табл. 2).

Биохимический состав семян кукурузы, 2022 г.

Гибридная популяция	Массовая доля белка на натуральную влажность/абс. сух. вещество, %	Массовая доля жира на натуральную влажность/абс. сух. вещество, %	Крахмал на натуральную влажность/абс. сух. вещество, %	Влажность, %
Славянка	6,5/8,8	3,84/5,20	52,26/70,62	26,4
Южанка	5,5/7,6	3,02/4,20	51,71/71,82	28,4

Биохимический анализ показал, что наибольшее содержание белка и жира в абсолютно сухом веществе содержится в зерне гибридной популяции Славянка; наибольшее содержание крахмала на абсолютно сухое вещество отмечено в зерне гибридной популяции Южанка — 71,82%.

На втором этапе проводили экспериментальные исследования технологического процесса получения целевых продуктов при переработке сортов кукурузы ДВ региона.

Для получения кукурузного крахмала из сортообразцов Славянка и Южанка использовали технологию “мокрого способа”. Цель “мокрого помола” — фракционирование различных компонентов ядра и выделение гранул крахмала с минимальным механическим повреждением. С помощью этого метода можно получить крахмал высокой чистоты, что является явным преимуществом по сравнению с сухим помолом. Влажный помол используется для получения крахмала высокой чистоты (99,95%), и более 85% кукурузного крахмала производится мокрым помолом. Кукурузное зерно сначала замачивают, добавляя растворы реагентов (сернистая кислота и её соли), чтобы увеличить проницаемость кукурузной оболочки, набухнуть ядру, снизить механическую прочность и разрушить белковую оболочку крахмальных гранул. Затем зародыши, отруби и белок можно легко отделить при последующей обработке, такой как измельчение и промывка [21–23].

В эксперименте для замачивания зерна кукурузы использовали воду (гидромодуль зерно:вода составил 1:1,5), в качестве реактива — пиросульфит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Вносимую дозировку рассчитывали исходя из допустимой концентрации диоксида серы в продукте — не выше 50 мг/кг (ГОСТ 32159).

Известно, что температура воды для замачивания зерна кукурузы не должна превышать 50 °С, а время замачивания – 50 час [21–23].

Экспериментальные исследования включали замачивание каждого сорта зёрен в течение различного времени (24 и 48 час) и концентрации пиросульфита натрия (от 1,0 до 4,5 мг) при температуре воды 45 °С. Далее изучали зависимость выхода крахмала от различных технологических параметров замачивания зерна (табл. 3, 4).

Как видно из представленных данных, в исследуемых образцах обоих сортов кукурузы набухаемость зёрен и выход крахмала

увеличиваются наиболее быстрыми темпами у образцов № 1–4 (дозировка химического реагента при этом составляет от 1,0 до 2,5 мг).

Таблица 3

**Влияние параметров замачивания зерна кукурузы на выход крахмала
(сорт Южанка)**

Наименование показателя	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
<i>Время замачивания 24 ч при температуре 45 °С</i>								
Дозировка Na ₂ S ₂ O ₅ , мг	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Масса зерна, г	50	50	50	50	50	50	50	50
Набухаемость зерна, г	84	85	84	90	88	88	79	82
Выход крахмала, %	50,1	51,3	52,7	54,2	53,8	53,8	48,0	50,6
<i>Время замачивания 48 ч при температуре 45 °С</i>								
Дозировка Na ₂ S ₂ O ₅ , мг	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Масса зерна, г	50	50	50	50	50	50	50	50
Набухаемость зерна, г	80	83	84	86	87	86	83	82
Выход крахмала, %	49,1	50,4	52,3	53,0	55,7	54,3	50,2	51,5

Таблица 4

**Влияние параметров замачивания зерна кукурузы на выход крахмала
(сорт Славянка)**

Наименование показателя	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
<i>Время замачивания 24 ч при температуре 45 °С</i>								
Дозировка Na ₂ S ₂ O ₅ , мг	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Масса зерна, г	50	50	50	50	50	50	50	50
Набухаемость зерна, г	84	85	86	89	86	80	84	82
Выход крахмала, %	50,3	51,2	52,6	55,8	54,2	48,9	51,2	51,2
<i>Время замачивания 48 ч при температуре 45 °С</i>								
Дозировка Na ₂ S ₂ O ₅ , мг	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Масса зерна, г	50	50	50	50	50	50	50	50
Набухаемость зерна, г	88	87	87	88	89	84	85	85
Выход крахмала, %	54,7	53,2	54,8	53,7	59,3	58,2	57,9	57,2

Установлено, что продолжительность замачивания 48 час не оказывает влияния на значительное увеличение выхода крахмала при переработке данных сортов зерна. Поэтому пролонгирование времени является неэффективным, а также может привести к нежелательным микробиологическим процессам, возникающим при производстве крахмала.

Однако для окончательного выбора технологических параметров необходимо было провести исследование физико-химических показателей экспериментальных образцов крахмала на соответствие ГОСТ 32159 (Крахмал кукурузный. Общие технические условия) (табл. 5, 6).

Таблица 5

**Исследование физико-химических показателей
экспериментальных образцов кукурузного крахмала
(сорт кукурузы Южанка)**

Наименование показателя	Требования ГОСТ 32159-2013	Продолжительность замачивания 24/48 ч							
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Количество крапин на 1 дм ² ровной поверхности крахмала, при рассмотрении невооружённым глазом, шт., не более	300	250/ 150	264/ 246	248/ 148	230/ 300	290/ 290	300/ 300	270/ 270	286/ 263
Массовая доля влаги, %	Не более 14	10/ 13	11/ 11	11/ 10	10/ 7	12/ 14	12/ 12	10/ 10	9/ 10
Кислотность, %	Не более 20	13,5/ 12,3	15,8/ 14	16,2/ 16,2	18,7/ 17,1	21,3/ 20,3	22,4/ 21,7	25,2/ 24,6	29,3/ 27,3
Содержание SO ₂ , мг/кг	Не более 50	11±7/ 12±7	13±7/ 15±7	15±7/ 18±7	19±7/ 20±7	23±7/ 24±7	26±7/ 29±7	30±7/ 35±7	34±7/ 38±7

По результатам исследования было установлено, что экспериментальные образцы крахмала № 5–8 при переработке обоих сортов кукурузы не соответствуют требованиям нормативного документа по показателю кислотности. Учитывая полученные данные, оптимальными параметрами при замачивании зерна следует считать — время замачивания 24 час, температура воды 45 °С, концентрация Na₂S₂O₅ — 2,5 мг. При этом выход крахмала при переработке кукурузы сорта Славянка составляет 55,8%, Южанка — 54,2%. Физико-химические показатели экспериментальных образцов № 4 при этом соответствуют требованиям ГОСТ 32159 (Крахмал кукурузный. Общие технические условия).

На основании проведённых исследований была разработана принципиальная технологическая схема по производству кукурузного крахмала (рис. 2).

По рационализированной нами технологии с использованием подобранного лабораторного оборудования на базе Передовой

инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем” ДВФУ были наработаны лабораторные образцы кукурузного крахмала из сортов Южанка и Славянка.



Рис. 2. Принципиальная технологическая схема по производству крахмала из зерна кукурузы (сорта Славянка, Южанка)

На заключительном этапе исследований проводили оценку качества лабораторных образцов по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям, а также показателям

безопасности на соответствие требованиям нормативного документа — ГОСТ 32159-2013.

Оценка качества образцов кукурузного крахмала по органолептическим и физико-химическим показателям представлена в табл. 7.

Таблица 6

**Исследование физико-химических показателей
экспериментальных образцов кукурузного крахмала
(сорт кукурузы Славянка)**

Наименование показателя	Требования ГОСТ 32159-2013	Продолжительность замачивания 24 /48 час							
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Массовая доля влаги, %	Не более 14	7/10	6,7/ 7,9	7/9	8/11	6/14	7/12	8/8	14/11
Количество крапин на 1 дм ² ровной поверхности крахмала, при рассмотрении невооружённым глазом, шт., не более	300	199/ 205	264/ 228	270/ 241	200/ 224	310/ 287	300/ 300	270/ 213	244/ 289
Кислотность, %	Не более 20	13,5/ 12,3	15,8/ 13,6	16,2/ 14,2	17,6/ 15,8	21,3/ 22,1	22,4/ 23,4	25,2/ 26,7	29,3/ 29,9
Содержание SO ₂ , мг/кг	Не более 50	12±7/ 14±7	15±7/ 17±7	17±7/ 23±7	21±7/ 25±7	26±7/ 33±7	32±7/ 37±7	36±7/ 39±7	47±7/ 43±7

Таблица 7

**Оценка качества лабораторных образцов кукурузного крахмала
по органолептическим и физико-химическим показателям**

Наименование показателя	Требования ГОСТ 32159	Значение	
		из кукурузы сорта Южанка	из кукурузы сорта Славянка
Органолептические показатели			
Внешний вид	Однородный порошок	Однородный порошок	
Цвет	Белый, допускается желтоватый оттенок	Белый	Белый с желтоватым оттенком
Запах	Свойственный крахмалу	Свойственный крахмалу, без посторонних запахов	
Физико-химические показатели			
Количество крапин на 1 дм ² ровной поверхности крахмала, при рассмотрении невооружённым глазом, шт. не более	300	230	200
Массовая доля влаги, %	Не более 14	10	8
Кислотность, %	Не более 20	18,7	17,6
Содержание SO ₂ , мг/кг	Не более 50	19±7	21±7

Как видно, оба лабораторных образца по показателям качества соответствовали требованиям ГОСТ. Они представляли собой однородный порошок, без комков; цвет соответствовал цвету зерна используемых сортов кукурузы; запах — свойственный данному виду продукта, без посторонних запахов.

Результаты исследования показателей безопасности и микробиологических показателей на соответствие их требованиям ТР ТС 021/2011 представлены в табл. 8.

Таблица 8

Оценка гигиенических показателей безопасности лабораторных образцов крахмала

Наименование показателя	Величина допустимого уровня по ТР ТС 021/2011	Крахмал (сорт кукурузы Южанка)	Крахмал (сорт кукурузы Славянка)
<i>Микробиологические показатели</i>			
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы)	Не допускаются в 0,01 г	Не обнаружены	
Патогенные (в т.ч. сальмонеллы)	Не допускаются в 25 г	Не обнаружены	
Дрожжи, КОЕ/г	Не более 500	Менее 150	
Плесени, КОЕ/г	Не более 500	Менее 100	
<i>Токсичные элементы, мг/кг</i>			
Свинец	Не более 0,5	Менее 0,16	Менее 0,14
Мышьяк	Не более 0,5	Менее 0,05	Менее 0,04
Кадмий	Не более 0,1	Менее 0,016	Менее 0,015
Ртуть	Не более 0,02	Менее 0,0021	Менее 0,0022
<i>Пестициды, мг/кг</i>			
Гексахлорциклогексан (α -, β -, γ -изомеры)	Не более 0,5	Менее 0,05	Менее 0,05
ДДТ и его метаболиты	Не более 0,05	Менее 0,05	Менее 0,05

Полученные данные свидетельствуют о том, что микробиологические показатели обоих лабораторных образцов крахмала не превышали значений, установленных нормативным документом; бактерии группы кишечной палочки и патогенные микроорганизмы обнаружены не были. Содержание токсичных элементов и пестицидов также не превышало предельно-допустимых значений согласно ТР ТС 021/2011.

Заключение

Таким образом, в результате проведённых исследований были обоснованы рациональные параметры технологических режимов получения крахмала из дальневосточных сортов кукурузы (Славянка и Южанка); разработан лабораторный технологический регламент получения кукурузного крахмала; наработаны лабораторные образцы крахмала в количестве 3 кг каждого и изучены их показатели качества.

Список источников

1. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 “Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации”.
2. Постановление администрации Приморского края от 27 декабря 2019 года № 933-па «Об утверждении государственной программы Приморского края “Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия” на 2020–2027 годы».
3. Постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. № 996 “Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы”.
4. Палагина М.В., Черевач Е.И., Фищенко Е.С. Дальневосточные пищевые растительные ресурсы: химический состав, свойства и роль в производстве функциональных продуктов питания. — М.: Перо, 2016. — 90 с.
5. Палагина М.В., Дубняк Я.В., Голов В.И. Ресурсы пищевого сырья Дальневосточного региона. — Владивосток: ДВФУ, 2012. — 156 с.
6. Ai Y., Jane J.L. Macronutrients in Corn and Human Nutrition // Compr Rev Food Sci Food Saf. 2016. Vol. 15 (3). P. 581–598. — DOI 10.1111/1541-4337.12192.
7. Ibdullaevna A.N., Mayliyevna M.P., Gafurovich B.G. Ways to Develop Innovative Processes in Grain Production // 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). — Tashkent, Uzbekistan, 2019. — P. 1–4. — DOI 10.1109/ICISCT47635.2019.9012034.
8. Анисимов А.В. Перспективы глубокой переработки зерна на малых предприятиях // Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 61–65.
9. Гурьева К.Б., Хаба Н.А., Белецкий С.Л. Современные аспекты глубокой переработки зерна // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2018. № 10 (10). С. 68–81.
10. Захарова И.И. Виды крахмала и его использование в индустрии питания // Агропродовольственная экономика. 2022. № 6. С. 13–23.
11. Шаззо А.А., Бутина Е.А., Герасименко Е.О. Существующие и перспективные направления комплексной переработки зерна кукурузы // Новые технологии. 2011. № 2. С. 54–58.
12. García-Lara S. Cereal grains: properties, processing and nutritional attributes // Crop Science, 2010. T. 50. Vol. 6. P. 2649. — DOI 10.2135/cropsci2010.12.0005br.
13. Chakraborty P.N. An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry // Food and Bioprocess Technology. 2022. Vol. 15 (6). P. 1195–1223. — DOI 10.1007/s11947-022-02761-z.
14. Compart J., Singh A., Fettke J. [et al.]. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications // Polymers. 2023. Vol. 15 (16). P. 3491. — DOI 10.3390/polym15163491.
15. Dominguez-Ayala J.E. Supramolecular structure and technofunctional properties of starch modified by high hydrostatic pressure (HHP) // Carbohydrate Polymers. 2022. Vol. 291. — DOI 10.1016/j.carbpol.2022.119609.
16. Ассоциация “Союзкрахмал”. — URL: <https://starchunion.com/obzor-otrasli/> (accessed 04.05.2024).
17. Ассоциация “Союзкрахмал”. — URL: <https://starchunion.com/rynok-glubokoj-pererabotki-zerna-v-rossii-itogi-2023-goda/> (accessed 04.05.2024).
18. ID-Marketing — исследовательская компания. — URL: https://id-marketing.ru/catalog/pischevaja_promyshlennost/proizvodstvo_produkto_v_mukomolnoj_krupjanoj_promys/rossiyskiy-ryinok-krahmalov-naturalnyie-krahmalyi-2021-2022-gg-1093/ (accessed: 18.07.2023).

19. Ассоциация “Роскрахмалпатока”: итоги 2019 года и перспективы развития крахмало-паточной отрасли. — URL: https://finance.rambler.ru/other/43393625/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (accessed: 18.07.2023).
20. Мировой и российский рынок крахмала в 2022 году. Исследования компания ID-Marketing // Российский продовольственный рынок. 2023. № 1. — URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive/2023/222652/222663/> (accessed: 10.08.2023).
21. Rausch K.D. Maize: wet milling / K. D. Rausch, S. R. Eckhoff // Grain-Based Products and Their Processing. — Elsevier Inc., 2015. — P. 467–481. — DOI 10.1016/b978-0-12-394437-5.00239-4.
22. Славянский А.А. Промышленное производство крахмала и крахмалопродуктов: учеб. пособие / А.А. Славянский, Н.Д. Лукин, Н.Н. Лебедева. — М.: ИНФРА-М, 2022. — 271 с.
23. Uriarte-Aceves P.M. Physical, compositional, and wet-milling characteristics of Mexican blue maize (*Zea mays* L.) landrace / P. M. Uriarte-Aceves [et al.] // Cereal Chemistry, 2015. Т. 92. Vol. 5. P. 491–496. — DOI 10.1094/CCHEM-01-15-0001-R.

Сведения об авторах / About authors

Смертина Елена Семёновна, кандидат технических наук, доцент, доцент Базовой кафедры “Биоэкономики и продовольственной безопасности”, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0002-2519-9170. E-mail: smertina.es@dvfu.ru.

Elena S. Smertina, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”. Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, 690622, Russia. ORCID: 0000-0002-2519-9170. E-mail: smertina.es@dvfu.ru.

Черевач Елена Игоревна, доктор технических наук, доцент, профессор Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0003-4958-8928. E-mail: cherevach.ei@dvfu.ru.

Elena I. Cherevach, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”. Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, 690622, Russia. ORCID: 0000-0003-4958-8928. E-mail: cherevach.ei@dvfu.ru.

Галстян Мариам Вардановна, аспирант Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0009-0003-3148-8926. E-mail: galstian.mv@dvfu.ru.

Mariam V. Galstyan, Post-graduate Student of the Advanced Engineering School «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems». Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, 690622, Russia. 0009-0003-3148-8926. E-mail: galstian.mv@dvfu.ru.

Никитин Вадим Викторович, специалист Сектора приёма и выдачи протоколов в испытательном лабораторном центре “Лабораторный комплекс ветеринарно-санитарной экспертизы”, ООО “ДВ-Эксперт”. ORCID: 0009-0007-4761-8106.

Vadim V. Nikitin, Specialist of the Laboratory Center “Laboratory complex for veterinary and sanitary examination”, DV-Expert Ltd. ORCID: 0009-0007-4761-8106.