

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219>

Поступила 20.08.2021

Поступила после рецензирования 14.09.2021

Принята в печать 25.09.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ОЦЕНКА МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕРЕРАБОТАННЫХ ПРОДУКТАХ ИЗ ЗЕЛЕННОГО ГОРОШКА

Самойлов А. В. *, Сураева Н. М., Зайцева М. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

зеленый горох, переработанные
продукты, микроструктура,
хлорофилл, крахмал

АННОТАЦИЯ

Спрос на консервированные овощи и фрукты зависит в первую очередь от их потребительских характеристик. Эти продукты должны соответствовать высоким требованиям в отношении их пищевой и биологической ценности, а также органолептических свойств. Цель работы заключалась в изучении микроструктурных изменений клеток зеленого горошка в продуктах его переработки. В качестве объектов исследования были выбраны такие виды горошка, как свежий, замороженный и консервированный, изготовленный из свежего и восстановленного сырья. С помощью световой микроскопии в клетках гиподермы и паренхимы были охарактеризованы такие их компоненты, как хлорофилл и крахмал соответственно. Было обнаружено, что окрашенные в ярко-зеленый цвет пластиды с хлорофиллом присутствовали только в клетках гиподермы замороженного гороха. Более того, такая же окраска пигмента была зафиксирована и в образцах свежего гороха. В консервированном продукте из свежего гороха было отмечено появление коричневых оттенков в этих клетках, связанное с превращением хлорофиллов в феофитины и пиррофеофитины. В образцах консервированного горошка из восстановленного сырья гиподерма была представлена в виде почти бесцветных клеток. Анализ окрашенных йодом препаратов паренхимных клеток указанных продуктов показал, что зерна крахмала, в образцах замороженного и консервированного горошка из свежего сырья сохраняли свою концентрическую форму. Тогда как в окрашенных препаратах паренхимы консервированного горошка из восстановленного сырья было продемонстрировано набухание зерен крахмала. Сравнительный микроструктурный анализ переработанных продуктов из зеленого горошка показал, что в соответствии с выявленными показателями (а именно хлорофилла и зерен крахмала) максимально качественным был замороженный продукт из свежего сырья.

Received 20.08.2021

Accepted in revised 14.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

ASSESSMENT OF MICROSTRUCTURAL CHANGES IN PROCESSED PRODUCTS FROM GREEN PEAS

Artem V. Samoilov*, Natal'ya M. Suraeva, Mariya V. Zaytseva

Russian Research Institute of Canning Technology Vidnoe, Moscow region, Russia

KEY WORDS:

green peas, processed products,
microstructure, chlorophyll, starch

ABSTRACT

A demand for canned vegetables and fruit depend, first of all, on their consumer characteristics. These products should correspond to high requirements regarding their nutritional and biological value, as well as sensory properties. The aim of the work was to study the microstructural changes in the cells of green peas in the products of their processing. Fresh, frozen and canned peas made from fresh and rehydrated raw materials were used as objects of the research. Components such as chlorophyll and starch were characterized in the cells of the hypodermis and parenchyma, respectively, using light microscopy. It was found that plastids with chlorophyll stained in the bright green color were present only in cells of the hypodermis of frozen peas. Moreover, the same color of the pigment was also recorded in the samples of fresh peas. Appearance of brown hues in these cells was observed in the canned product from fresh peas, which was associated with transformation of chlorophylls into pheophytins and pyropheophytins. The hypodermis in the samples of canned peas from rehydrated raw materials was represented by almost colorless cells. When analyzing the preparations of the parenchymal cells of the indicated processed products stained with iodine, it was shown that starch grains in the samples of frozen and canned green peas from fresh raw materials maintained their concentric shape, while swelling of starch grains was observed in the stained preparations of the parenchyma of canned peas from rehydrated raw materials. The comparative microstructural analysis of processed products from green peas showed that maximum quality had the frozen product from fresh raw materials as the studied indicators (chlorophyll and starch grains) showed.

1. Введение

Бобовые культуры занимают важное место в повседневном рационе питания в качестве источника белка, углеводов, минералов, витаминов, клетчатки и других питательных веществ. Одним из наиболее популярных представителей

этого семейства является горох (*Pisum sativum* L.). Крахмал и клетчатка — основные компоненты гороха, составляющие 46% и 20% соответственно [1]. Клетчатка семенной оболочки и клеточных стенок семядолей оказывает благотворное влияние на функционирование желудочно-кишечного тракта,

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самойлов, А.В., Сураева, Н.М., Зайцева, М.В. (2021). Оценка микроструктурных изменений в переработанных продуктах из зеленого горошка. *Пищевые системы*, 4(3), 213-219. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219>

FOR CITATION: Samoilov, A.V., Suraeva, N.M., Zaytseva, M.V. (2021). Assessment of microstructural changes in processed products from green peas. *Food systems*, 4(3), 213-219. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219>

а также снижает усвояемость крахмала в горохе. Содержание амилозы во внутренней части крахмального зерна также способствует более низкому гликемическому индексу и ухудшению усвояемости этого углевода. Учитывая потребности рынка в пищевых продуктах, в которых отсутствуют белки животного происхождения, в состав все большего количества продуктов стали входить гороховая мука, концентрат и изолят горохового белка [2]. Кроме этого, употребление бобовых связано с профилактикой и лечением сердечно-сосудистых заболеваний [3]. Горох содержит множество фитохимических веществ, которые могут обладать антиоксидантной и антиканцерогенной активностью [1]. Так, например, в свежем горохе концентрация хлорофилла а составляет от 4880 до 7300 мкг/100 г свежей массы, а хлорофилла b — от 2100 до 2800 мкг/100 г свежей массы [4]. Этот пигмент и его производные могут оказывать антиканцерогенное и антимуtagenное действие [5].

Сохранение пищевых продуктов очень важно с точки зрения их безопасности, поэтому горох подвергают таким видам переработки, как высушивание, заморозка, консервирование. Однако указанные технологические обработки приводят к ряду изменений как физических свойств, так и химического состава и даже могут влиять на пищевую, биологическую и потребительскую ценность этого продукта [69].

Было показано, что термическая обработка зеленого гороха в микроволновой печи паром и водой приводила к снижению содержания общих фенольных соединений, по сравнению со свежим горохом, до уровней 76%, 88% и 83% соответственно [10]. При этом способ приготовления не влиял на уровень антиоксидантной активности в данном продукте, по сравнению со свежим горохом. В ходе опытов на грызунах было обнаружено, что способ обработки гороха влиял на качество белка в отношении показателей его усвояемости [11]. Согласно результатам этой работы, вареная мука из зеленого горошка имела более низкие значения усвояемости белка и незаменимых аминокислот (69%, 19% и 67%), чем экструдированная (73, 61%, 70%) или запеченная (75%, 22%, 70%). Также известно, что зеленые овощи теряют свою окраску, а значит, и качество после термической обработки в связи со снижением содержания хлорофилла и каротиноидов [12,13].

Необходимо отметить, что наряду с физико-химическими, иммунохимическими и молекулярными аналитическими методами контроля качества и безопасности растительной пищевой продукции возможности световой микроскопии постоянно расширяются. Так как микроскопия в некоторых случаях представляет собой более дешевую и порой незаменимую альтернативу указанным методам в случае определения растительных компонентов по их видовой принадлежности, этот метод часто используют для идентификации подлинности крахмалов, растительных загустителей, меда, чая, кофе, шоколадных, мучных изделий и других продуктов [14,15]. Хотя и существуют определенные ограничения этого метода в отношении продуктов глубокой переработки.

В последнее время с помощью микроскопии также проводятся исследования по выявлению показателей, ответственных за структурные изменения в тканях овощей и фруктов после воздействия на продукт различных технологических приемов [16]. Актуальность данного направления связана с необходимостью предложить потребителю переработанный продукт высокого качества с сохранением исходных структур тканей, текстуры, цвета, пищевой и биологической ценности овощей. Было показано, что замораживание и термическая обработка овощей вызывали деструктивные изменения оргanelл в цитоплазме, а также набухание клеточных стенок

и нарушения в организации протоплазматической структуры [17]. Эти процессы приводили к размягчению растительных тканей за счет увеличения легкости разделения клеток в них и разрушения клеточных стенок. Кроме этого, известно, что овощи перед замораживанием и консервированием зачастую бланшируют. Эта обработка направлена на предотвращение ферментативного потемнения. Для зеленых овощей необходимо инактивировать два фермента, а именно липидоксидазу и пероксидазу. Первая ответственна за появление посторонних запахов, связанных с окислением липидов, а вторая — за ферментативное потемнение [18]. Так, в работе по тестированию нового способа бланширования с помощью нагрева волнами СВЧ измеряли активность липоксигеназы и пероксидазы, оценивали физико-химические свойства и проводили микроскопический анализ морфологии клеток зеленого горошка [19]. Было продемонстрировано, что микроструктурные нарушения связаны с разрушением стенок клеток гороха и желатинизацией гранул крахмала. Кроме этого, данная термообработка негативно отражалась на активности указанных ферментов, массе, цвете, текстуре, содержании аскорбиновой кислоты, хлорофилла и минералов.

Однако важно отметить, что нежелательные для потребителя текстурные изменения в растительных тканях, связанные с указанными видами переработки, бывают необходимы для повышения перевариваемости макронутриентов и биодоступности микронутриентов этих продуктов. Клеточные стенки являются ключевыми структурными компонентами растений и занимают центральное место в определении качественных характеристик многих продуктов из овощей и фруктов, особенно в отношении текстуры продуктов и ценности клетчатки [20]. В состав клеточной стенки входят три основных вида полисахаридов: пектиновые вещества, гемицеллюлоза и целлюлоза. Эти соединения связаны также с белками и фенолами. Помимо разделения клеток термическая обработка тканей растений часто сопровождается набуханием клеточных стенок. Эти явления связаны с термической деструкцией указанных полимеров и нарушением ионного обмена. При оценке перевариваемости белков *in vitro* бобовых культур по индексу пепсин/панкреатин было обнаружено, что термически обработанные семена, в которых сохранились неповрежденные клеточные стенки, показали более низкие индексы перевариваемости [21]. Также известно, что кристаллы каротина плохо усваиваются из тканей моркови, если их клеточные стенки не разрушены [20]. Поэтому необходим комплексный подход при исследовании микроструктурных изменений в процессе переработки овощей и фруктов с учетом разнообразия потребительских показателей их качества. Следует отметить, что нам не удалось найти литературных данных с оценкой микроскопических изменений в готовых продуктах из зеленого горошка в зависимости от вида их переработки.

Цель исследований — сравнительное изучение микроструктурных показателей клеток в замороженном и консервированном зеленом горошке из свежего и восстановленного сырья.

2. Материалы и методы

Были проведены исследования образцов шести различных наименований переработанных продуктов из зеленого горошка и один образец свежего стручкового гороха. Все образцы были приобретены в торговой сети. Замороженный горох, консервированный горох, изготовленный из свежего сырья и восстановленного сырья, были представлены как образцы А и Б, В и Г, Д и Е соответственно.

Для получения микрофотографий был использован световой микроскоп Axioskop 40, Zeiss и цифровая цветная камера AxioCam 105 color, Zeiss.

2.1. Подготовка препаратов для микроскопии

2.1.1. Монослой клеток гиподермы

На вогнутой поверхности гороха острым лезвием безопасной бритвы делали квадратный надрез в оболочке не более 7 мм. Выделенный фрагмент тщательно отмывали в воде для удаления клеток паренхимы и немедленно переносили в каплю воды на предметное стекло наружной оболочкой плода к воде, затем накрывали покровным стеклом и микроскопировали.

2.1.2. Клетки паренхимы

Были приготовлены давленные препараты паренхимных клеток консервированного гороха. Клетки извлекали с помощью препаровальной иглы, помещали в каплю воды на предметное стекло и накрывали покровным стеклом. Из-за более высокой жесткости тканей замороженного и свежего гороха препараты из них изготавливались методом срезов. Семя гороха разрезали и с помощью острой бритвы делали тонкий срез со стороны внутренней части семядоли. Затем материал переносился на предметное стекло в каплю воды и накрывался покровным стеклом.

2.1.3. Окрашивание клеток паренхимы

Для проведения йодной реакции на крахмал использовали 1% раствор Люголя («ЮжФарм», Россия). Клетки помещали в каплю реактива Люголя на предметном стекле, накрывали покровным стеклом и наблюдали появление сине-фиолетовой окраски. В случае образования большого количества крахмала реактив разбавляли водой.

2.1.4. Клетки зародыша

В зависимости от вида переработки гороха препараты клеток зародыша изготавливались двумя способами. Зародыш образцов консервированного гороха отделяли от семядолей препаровальной иглой и помещали на предметное стекло. Затем клетки накрывали покровным стеклом и затем слегка на них надавливали. Препараты зародыша свежего и замороженного гороха изготавливались методом срезов в связи с твердостью и плотностью структуры ткани семени.

3. Результаты и обсуждение

Было проведено исследование, а также сравнительная оценка микроскопических показателей клеток гиподермы, паренхимы и зародыша в образцах свежего и переработанного гороха. Первый тип клеток был выделен из тканей оболочки семени и представлял собой монослой из плотно прилегающих катушковидных клеток небольшого размера. Эти клетки в свежем горохе содержат большое количество важного фитохимического соединения — хлорофилла, от которого зависит значительная биологическая ценность данного продукта. Как видно из рисунков, в клетках гиподермы замороженного гороха наблюдались окрашенные в ярко-зеленый цвет пластиды с хлорофиллом, занимающие до 50% их визуального объема (Рисунок 1). Яркость и оттенок зеленого цвета в образцах А и Б не отличались.

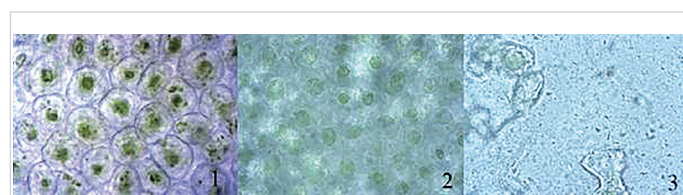


Рисунок 1. Клетки гиподермы замороженного гороха. 1 — монослой в образце А, 2 — монослой в образце Б, 3 — катушковидная клетка гиподермы. Увеличение $\times 40$

Аналогичным образом были представлены клетки гиподермы в образцах свежего гороха (Рисунок 2).

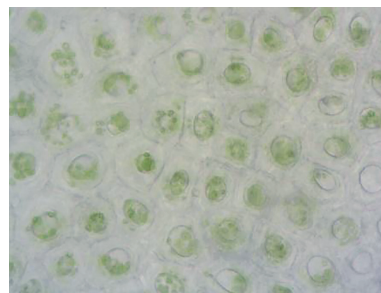


Рисунок 2. Клетки гиподермы свежего гороха. Увеличение $\times 40$

Однако при помощи микроскопии гиподермы консервированного гороха из свежего сырья было выявлено отсутствие характерного для хлорофилла яркого (флуоресцентного) зеленого окрашивания в центре этих клеток. Вместо него наблюдалась окраска коричневых оттенков (Рисунок 3).

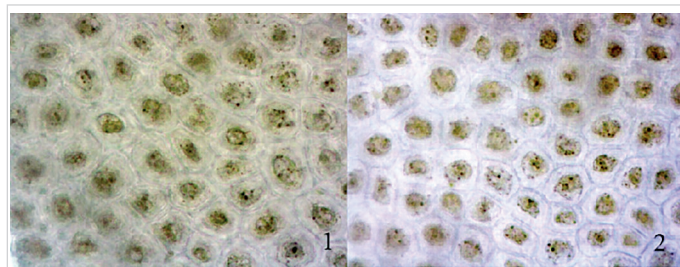


Рисунок 3. Клетки гиподермы консервированного гороха из свежего сырья. 1 — монослой в образце В, 2 — монослой в образце Г. Увеличение $\times 40$

И, наконец, в образцах консервированного гороха из восстановленного сырья были представлены практически бесцветные клетки гиподермы (Рисунок 4).

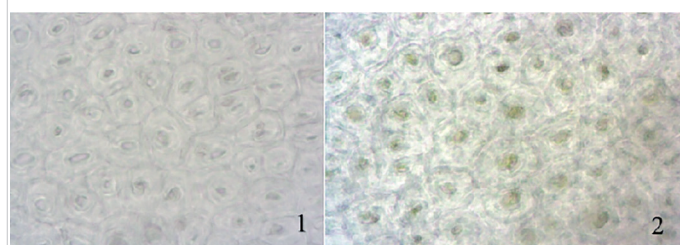


Рисунок 4. Клетки гиподермы консервированного гороха из восстановленного сырья. 1 — монослой в образце Д, 2 — монослой в образце Е. Увеличение $\times 40$

Таким образом, замораживание данного продукта в наименьшей степени повлияло на содержание хлорофилла в клетках гиподермы, тогда как консервирование, особенно в случае использования восстановленного гороха, было связано с потерей этого пигмента.

Согласно литературным данным, потери хлорофилла при замораживании бобовых наблюдались главным образом в процессе их дальнейшего хранения. Было обнаружено, что предварительное бланширование может благоприятно влиять на содержание хлорофилла в зеленой фасоли при хранении в замороженном виде [22]. Оказалось, что процедура бланширования зеленых бобов при 70°C в течение двух минут уменьшала период полураспада хлорофиллов а и б на 2 и 3 месяца, тогда как обработка при 90°C в течение трех минут, наоборот, увеличивала его сохранность на 1 и 3 месяца (до 8,26 и 16,70 месяцев) соответственно. Однако в отношении других растительных пигментов, таких как каротиноиды, было показано, что процесс замораживания образцов моркови повлиял на цвет больше, чем последующая их термическая кулинарная обработка [17].

Связанная с воздействием высоких температур переработка продуктов, содержащих зеленый пигмент, приводит к изменению его цвета из-за превращения хлорофиллов а и b (ярко-зеленый цвет) в феофитины и пирофеофитины (желто-коричневый оливковый цвет) [23]. Консервирование свежего и восстановленного гороха предусматривает этапы термической обработки при его бланшировании, стерилизации и высушивании. Как видно из полученных результатов, бланширование, применяемое перед заморозкой свежего гороха, не оказывало существенного влияния на содержание хлорофилла в клетках гиподермы (Рисунок 1), тогда как последующая стерилизация приводила к частичному образованию из него феофитинов и пирофеофитинов (Рисунок 3). Наиболее критические потери хлорофилла наблюдались в консервированном продукте из восстановленного сырья, в котором клетки гороха подвергались максимальному числу термических обработок (Рисунок 4). Цвет играет важную роль при органолептической оценке зеленых овощей, подвергнутых термической обработке. Таким образом, качество этих продуктов зависит от степени сохранности хлорофилла. Согласно опубликованным данным, такие факторы, как pH, температура, наличие солей (магния, кальция, натрия, аммония), ферментов и некоторых поверхностно-активных веществ, влияют на стабильность этого пигмента [24–25]. Дегградация хлорофилла уменьшается при более высоких pH, а указанные соли оказывают некоторый стабилизирующий эффект на процесс. Было продемонстрировано, что такие виды термических обработок брокколи, как кипячение, обжаривание, использование СВЧ, способствовали большой степени разрушения хлорофилла [26]. Тогда как приготовление этого продукта на пару не вызывало каких-либо значительных потерь хлорофилла. Важно отметить, что используемые в этих исследованиях спектрофотометрические методы определения цвета пигмента в обработанных продуктах имеют некоторые ограничения, связанные с дегградацией хлорофилла до феофитинов. Полагаем, что оценка изменения цвета пигмента в клетках гиподермы может представлять собой дополнительный быстрый и простой инструментальный метод для визуального измерения уровня стабильности хлорофилла в процессе переработки зеленого гороха.

Таким образом, световая микроскопия позволяет легко и быстро исследовать образцы овощей и фруктов на наличие пигментов (хлорофилла, каротиноидов) в их клетках. Используя приготовленные вручную срезы или раздавленные растительные препараты, можно идентифицировать локализацию хромо- и хлоропластов в клетке, их форму и количество [27]. Эти простые техники приготовления цитологических препаратов могут иметь определенные преимущества при сравнении с микротомными срезами. Они не требуют использования токсичных растворителей и более деликатны в отношении повреждений клеточных структур [28].

Представленная в данной работе процедура микроскопической визуализации пластид хлорофилла в клетках гиподермы может быть использована и в качестве метода для выявления квалитетической фальсификации. Данный вид фальсификации осуществляется путем подделки товара с помощью применения пищевых и непищевых добавок — это делается для улучшения органолептических свойств, при сохранении или утрате других потребительских свойств. Также для осуществления квалитетической фальсификации товар высшей категории может быть заменен на продукт низкого качества. В консервированном продукте возможна замена свежего или замороженного сырья более дешевым восстановленным сухим горохом с последующим подкрашиванием или без. Необходимо отметить, что до настоящего времени такую фальсификацию можно было идентифицировать только

с помощью органолептического анализа, тогда как микроскопия, несомненно, обладает существенными преимуществами как более экономичный, простой и однозначный метод. Эти преимущества становятся наиболее очевидными, например, в случае мясо-растительных консервов с добавлением зеленого гороха, так как в таких сложносоставных продуктах гороховый вкус может быть невыраженным, а заливочная жидкость отсутствовать, что делает невозможным определение качества растительной составляющей продукта органолептическими методами испытаний.

Второй исследуемый тип клеток принадлежал к основной запасающей ткани семени гороха — паренхиме. Эти клетки были наиболее доступными для изолирования без повреждений, их размеры варьировали в широком диапазоне, достигая более 100 мкм, а также они содержали в большом количестве ценный пищевой компонент — крахмал. Как видно из Рисунка 5, клетки паренхимы замороженного гороха были нагружены по всему объему концентрическими зернами крахмала, также присутствовали едва заметные немногочисленные пластиды зеленого цвета с хлорофиллом. Аналогичные по своей микроструктуре зерна крахмала были зафиксированы в препаратах паренхимы свежего гороха (Рисунок 5).

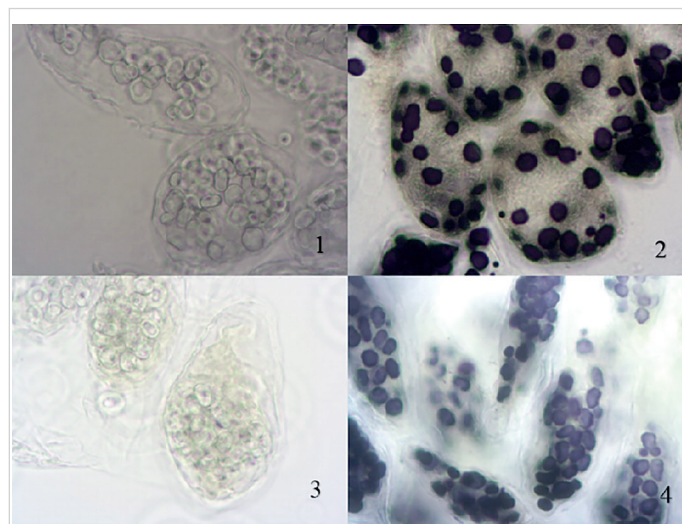


Рисунок 5. Клетки паренхимы. 1 — замороженный горох до окрашивания в образце Б, 2 — замороженный горох после окрашивания в образце Б, 3 — свежий горох до окрашивания, 4 — свежий горох после окрашивания. Увеличение $\times 40$

При анализе окрашенных йодом препаратов клеток паренхимы консервированных продуктов было показано, что зерна крахмала из свежего сырья сохраняли свою концентрическую форму, тогда как в восстановленном горохе имели место деструктивные изменения их формы, вероятно, связанные с желатинизацией этого углевода и его частичным переходом в заливочную жидкость (Рисунок 6).

В недавнем обзоре было отмечено, что метод световой микроскопии может быть полезным для изучения функциональных характеристик крахмала, несмотря на огромный прогресс в развитии микроскопических методов, таких как электронная, конфокальная лазерная сканирующая и атомная силовая микроскопия [29]. Это связано с тем, что световая микроскопия позволяет проводить исследования микроструктурных изменений зерен этого соединения в продуктах питания в процессе их термической переработки — изменений, связанных с набуханием зерен и утечкой амилозы. Действительно, образцы консервированного гороха Д и Е из восстановленного сырья имели самую мутную заливочную жидкость, указывая на присутствие в ней крахмала. На основании литературных данных полагаем, что это явление

связано с влиянием неоднократных термических обработок сырья при производстве данного продукта [19]. Тогда как в остальных образцах переработанного гороха (замороженный и консервированный из свежего сырья) заливочная жидкость была близка к прозрачной, что указывало на отсутствие значительных потерь крахмала из семени гороха. С другой стороны, было обнаружено, что содержание перевариваемого крахмала значительно выше в обработанных продуктах из гороха за счет его клейстеризации и разрушения клеточных стенок паренхимы [7]. Так максимальная перевариваемость крахмала в пяти пищевых бобовых культурах наблюдалась на уровне 116,7–137,7% при варке в течение 10 мин. при 121 °С, а в кипящей воде — 84,0–90,4%. При этом в этих же сырых бобовых этот показатель был значительно ниже и варьировал в пределах от 36,8 до 42,0% [30].

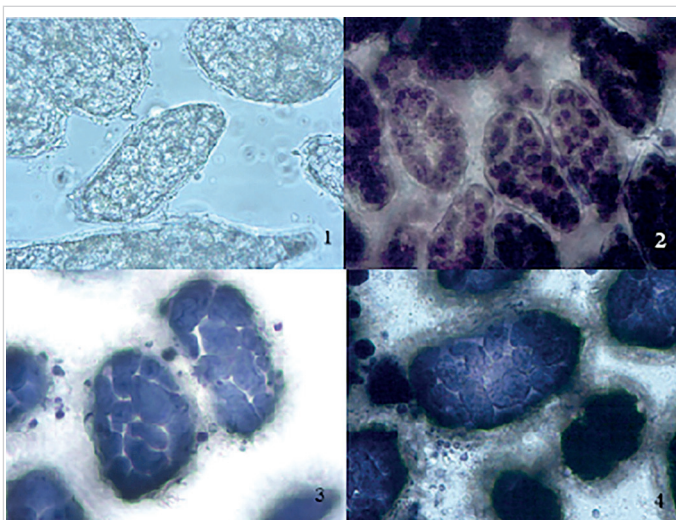


Рисунок 6. Клетки паренхимы консервированного гороха. 1 — свежее сырье до окрашивания в образце В, 2 — свежее сырье после окрашивания в образце В, 3 — восстановленное сырье после окрашивания в образце Д, 4 — восстановленное сырье после окрашивания в образце Е. Увеличение $\times 40$

В работе был исследован еще один, третий, тип клеток, выделенный из зародыша. При переработке гороха производятся и побочные продукты, например, состоящие из его зародышей. Установлено, что зародышевые продукты отличаются высоким содержанием белка, липидов, жирорастворимых витаминов, каротиноидов, витаминов В1, минеральных элементов, в их составе также обнаружены сахар и клетчатка [31]. Предполагалось, что на микроструктуре этих клеток в отношении целостности клеточных стенок могли бы отразиться различные виды технологических обработок. Однако все исследованные микроскопические препараты переработанных продуктов не отличались от свежего гороха (Рисунок 7). В этом направлении необходимы дальнейшие исследования, связанные с проведением гистохимических реакций на основные соединения в этих клетках.

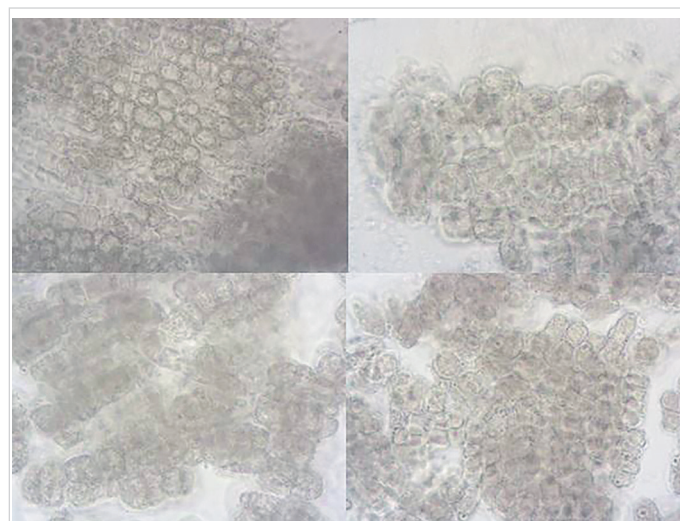


Рисунок 7. Клетки зародыша. 1 — свежий горох, 2 — замороженный горох образце В, 3 — консервированный горох из свежего сырья в образце В, 4 — консервированный горох из восстановленного сырья в образце Д. Увеличение $\times 40$

Полагаем, что выявленные микроструктурные показатели (хлорофилл и крахмал), связанные с пищевой и биологической ценностью данных продуктов, могут быть использованы при разработке технологических приемов их изготовления с целью повышения качественных характеристик продукта. Результаты этих исследований также могут быть полезны в качестве быстрого и простого способа выявления фальсификации путем замены свежего сырья восстановленным сухим горохом в консервированных продуктах.

4. Выводы

Насколько нам известно, это первое исследование, в котором был проведен сравнительный микроструктурный анализ в замороженном и консервированном зеленом горошке из свежего и восстановленного сырья. С помощью световой микроскопии была разработана процедура визуализации основных компонентов клеток гиподермы и паренхимы, а именно хлорофилла и крахмала соответственно. В образцах продуктов консервированного горошка из восстановленного сырья наблюдались максимальные деструктивные изменения указанных компонентов. Такой вид переработки был связан с потерей указанного пигмента и разрушением зерен крахмала за счет их желатинизации. В клетках гиподермы консервированных продуктов из свежего зеленого горошка также была зафиксирована частичная утрата пигмента. С другой стороны, в продуктах из замороженного зеленого горошка указанные микроструктурные показатели существенно не отличались от таковых в свежем горохе, что, несомненно, повышает их биологическую и пищевую ценность, по сравнению с остальными исследуемыми продуктами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Dahl, W.J., Foster, L.M., Tyler, R.T. (2012). Review of the health benefits of peas (*pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(SUPPL. 1), S3–S10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
- Taylor, S.L., Marsh, J.T., Koppelman, S.J., Kabourek, J.L., Johnson, P.E., Baumert, J.L. (2021). A perspective on pea allergy and pea allergens. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.017>
- Angeles, J.G.C., Villanueva, J.C., Uy, L.Y.C., Mercado, S.M.Q., Tsuchiya, M.C.L., Lado, J.P. et al. (2021). Legumes as functional food for cardiovascular disease. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12), Article 5475. <https://doi.org/10.3390/app11125475>
- Senapati, A.K., Varshney, A.K., Sharma, V.K. (2019). Dehydration of green peas: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1088–1091.
- Vaňková, K., Marková, I., Jašprová, J., Dvořák, A., Subhanová, I., Zelenka, J. et al. (2018). Chlorophyll-mediated changes in the redox status of pancreatic cancer cells are associated with its anticancer effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, Article 4069167. <https://doi.org/10.1155/2018/4069167>
- Parada, J., Aguilera, J.M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21–R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>

7. Ma, Z., Boye, J.I., Hu, X. (2017). In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of saskatchewan grown yellow field peas (*pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food Research International*, 92, 64–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.012>
8. Самойлов А. В., Сураева Н. М. (2021). Современные тенденции в оценке безопасности продуктов питания. *Все о мясе*, 2, 32–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-2-32-36>
9. Moens, L.G., Huang, W., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E.G. (2021). Effect of pulsed electric field and mild thermal processing on texture-related pectin properties to better understand carrot (*daucus carota*) texture changes during subsequent cooking. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 70, Article 102700. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102700>
10. Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713–718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
11. Nosworthy, M.G., Franczyk, A.J., Medina, G., Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A. et al. (2017). Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of yellow and green split peas (*pisum sativum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7790–7796. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03597>
12. Adebooye, O.C., Vijayalakshmi, R., Singh, V. (2008). Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*solanum nigrum* L. and *amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 173–178. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01420.x>
13. Attri, S., Dhiman, A., Sharma, R., Sharma, R. (2016). Effect of predrying treatments on the retention of quality characteristics of green peas (*Pisum sativum* L.) cv. Lincoln during mechanical drying. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(2), 1049–1052. <http://doi.org/10.31018/jans.v8i2.919>
14. Zhu, H., Zhao, M. (2014). Study on the microscopic identification of the adulterated plant origin powdered seasonings. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(9), 264–269.
15. Ichim, M.C., Häser, A., Nick, P. (2020). Microscopic authentication of commercial herbal products in the globalized market: Potential and limitations. *Frontiers in Pharmacology*, 11, Article 876. <http://doi.org/10.3389/fphar.2020.00876>
16. Neri, L., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2014). Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions. *Food Chemistry*, 144, 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.123>
17. Paciulli, M., Ganino, T., Carini, E., Pellegrini, N., Pugliese, A., Chiavaro, E. (2016). Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2443–2451. <http://doi.org/10.1007/s13197-016-2229-5>
18. van der Sman, R.G.M. (2020). Impact of processing factors on quality of frozen vegetables and fruits. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 399–420. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>
19. Zhang, C., Hu, C., Sun, Y., Zhang, X., Wang, Y., Fu, H. et al. (2021). Blanching effects of radio frequency heating on enzyme inactivation, physicochemical properties of green peas (*pisum sativum* L.) and the underlying mechanism in relation to cellular microstructure. *Food Chemistry*, 345, Article 128756. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128756>
20. Waldron, K., Parker, M.L., Smith, A.C. (2003). Plant cell walls and food quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 128–146. <http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x>
21. Melito, C., Tovar, J. (1995). Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seeds. *Food Chemistry*, 53(3), 305–307. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)93937-M](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)93937-M)
22. Bahçeci, K.S., Serpen, A., Gökmen, V., Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 187192. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004>
23. Pumilia, G., Cichon, M.J., Cooperstone, J.L., Giuffrida, D., Dugo, G., Schwartz, S.J. (2014). Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*pistacia vera* L.) during roasting. *Food Research International*, 65(PB), 193–198. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.047>
24. Ezekie, O.O., Mustapha, R.K., Olurin, T.O. (2010). Effect of salt on colour degradation kinetics of visual green colour in fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) leaves. *Fresh produce*, 5, 39–42.
25. Nisha, P., Singhal, R. Pandit, A. (2004). A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.021>
26. Yuan, G.-F., Sun, B., Yuan, J., Wang, Q. -M. (2009). Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 10(8), 580–588. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0920051>
27. Oleszkiewicz, T., Pacia, M. Z., Grzebelus, E., Baranski, R. (2020). Light microscopy and raman imaging of carotenoids in plant cells in situ and in released carotene crystals. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 2083, 245–260. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_19
28. Miranda, J.A.T., Carvalho, L., Vieira, A., Costa, R., Guimarães, A. (2015). Anatomical characterization and evaluation of starch granules in grain of black common bean and cowpea raw and cooked. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 85–90. <https://doi.org/10.3303/CET1544015>
29. Błaszczak, W., Lewandowicz, G. (2020). Light microscopy as a tool to evaluate the functionality of starch in food. *Foods*, 9(5), Article foods9050670. <https://doi.org/10.3390/foods9050670>
30. Zia-ur-Rehman, Salariya, A. M. (2005). The effects of hydrothermal processing on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(7), 695–700. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00978.x>
31. Shelepina, N. V., Parshutina, I. G., Polynkova, N. E. (2015). Study of chemical composition and biological value of germinal products from peas grain. *Ecology, Environment and Conservation*, 21, AS99-AS102.

REFERENCES

1. Dahl, W.J., Foster, L.M., Tyler, R.T. (2012). Review of the health benefits of peas (*pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(SUPPL. 1), S3–S10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
2. Taylor, S.L., Marsh, J.T., Koppelman, S.J., Kabourek, J.L., Johnson, P.E., Baumert, J.L. (2021). A perspective on pea allergy and pea allergens. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.017>
3. Angeles, J.G.C., Villanueva, J.C., Uy, L.Y.C., Mercado, S.M.Q., Tsuchiya, M.C.L., Lado, J.P. et al. (2021). Legumes as functional food for cardiovascular disease. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12), Article 5475. <https://doi.org/10.3390/app11125475>
4. Senapati, A.K., Varshney, A.K., Sharma, V.K. (2019). Dehydration of green peas: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1088–1091.
5. Vaňková, K., Marková, I., Jašprová, J., Dvořák, A., Subhanová, I., Zelenka, J. et al. (2018). Chlorophyll-mediated changes in the redox status of pancreatic cancer cells are associated with its anticancer effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, Article 4069167. <https://doi.org/10.1155/2018/4069167>
6. Parada, J., Aguilera, J.M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21–R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
7. Ma, Z., Boye, J.I., Hu, X. (2017). In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of saskatchewan grown yellow field peas (*pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food Research International*, 92, 64–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.012>
8. Samoilov, A.V., Surayeva, N.M. (2021). Modern trends in the assessment of food safety. *Vsyo o myase*, 2, 32–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-2-32-36> (In Russian)
9. Moens, L.G., Huang, W., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E.G. (2021). Effect of pulsed electric field and mild thermal processing on texture-related pectin properties to better understand carrot (*daucus carota*) texture changes during subsequent cooking. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 70, Article 102700. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102700>
10. Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713–718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
11. Nosworthy, M.G., Franczyk, A.J., Medina, G., Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A. et al. (2017). Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of yellow and green split peas (*pisum sativum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7790–7796. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03597>
12. Adebooye, O.C., Vijayalakshmi, R., Singh, V. (2008). Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*solanum nigrum* L. and *amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 173–178. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01420.x>
13. Attri, S., Dhiman, A., Sharma, R., Sharma, R. (2016). Effect of predrying treatments on the retention of quality characteristics of green peas (*Pisum sativum* L.) cv. Lincoln during mechanical drying. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(2), 1049–1052. <http://doi.org/10.31018/jans.v8i2.919>
14. Zhu, H., Zhao, M. (2014). Study on the microscopic identification of the adulterated plant origin powdered seasonings. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(9), 264–269.
15. Ichim, M.C., Häser, A., Nick, P. (2020). Microscopic authentication of commercial herbal products in the globalized market: Potential and limitations. *Frontiers in Pharmacology*, 11, Article 876. <http://doi.org/10.3389/fphar.2020.00876>
16. Neri, L., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2014). Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions. *Food Chemistry*, 144, 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.123>

17. Paciulli, M., Ganino, T., Carini, E., Pellegrini, N., Pugliese, A., Chiavaro, E. (2016). Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2443–2451. <http://doi.org/10.1007/s13197-016-2229-5>
18. van der Sman, R.G.M. (2020). Impact of processing factors on quality of frozen vegetables and fruits. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 399–420. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>
19. Zhang, C., Hu, C., Sun, Y., Zhang, X., Wang, Y., Fu, H. et al. (2021). Blanching effects of radio frequency heating on enzyme inactivation, physiochemical properties of green peas (*pisum sativum* L.) and the underlying mechanism in relation to cellular microstructure. *Food Chemistry*, 345, Article 128756. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128756>
20. Waldron, K., Parker, M.L., Smith, A.C. (2003). Plant cell walls and food quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 128–146. <http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x>
21. Melito, C., Tovar, J. (1995). Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seeds. *Food Chemistry*, 53(3), 305–307. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)93937-M](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)93937-M)
22. Bahçeci, K.S., Serpen, A., Gökmen, V., Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 187192. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004>
23. Pumilia, G., Cichon, M.J., Cooperstone, J.L., Giuffrida, D., Dugo, G., Schwartz, S.J. (2014). Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*pistacia vera* L.) during roasting. *Food Research International*, 65(PB), 193–198. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.047>
24. Ezekie, O.O., Mustapha, R.K., Olurin, T.O. (2010). Effect of salt on colour degradation kinetics of visual green colour in fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) leaves. *Fresh produce*, 5, 39–42.
25. Nisha, P., Singhal, R. Pandit, A. (2004). A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.021>
26. Yuan, G.-F., Sun, B., Yuan, J., Wang, Q. -M. (2009). Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 10(8), 580–588. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0920051>
27. Oleszkiewicz, T., Pacia, M. Z., Grzebelus, E., Baranski, R. (2020). Light microscopy and raman imaging of carotenoids in plant cells in situ and in released carotene crystals. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 2083, 245–260. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_19
28. Miranda, J.A.T., Carvalho, L., Vieira, A., Costa, R., Guimarães, A. (2015). Anatomical characterization and evaluation of starch granules in grain of black common bean and cowpea raw and cooked. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 85–90. <https://doi.org/10.3303/CET1544015>
29. Błaszczak, W., Lewandowicz, G. (2020). Light microscopy as a tool to evaluate the functionality of starch in food. *Foods*, 9(5), Article foods9050670. <https://doi.org/10.3390/foods9050670>
30. Zia-ur-Rehman, Salariya, A. M. (2005). The effects of hydrothermal processing on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(7), 695–700. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00978.x>
31. Shelepina, N. V., Parshutina, I. G., Polynkova, N. E. (2015). Study of chemical composition and biological value of germinal products from peas grain. *Ecology, Environment and Conservation*, 21, AS99-AS102.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Самойлов Артем Владимирович — кандидат биологических наук, заместитель директора, руководитель Испытательного центра, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: molgen@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5655-174X * автор для контактов	Artem V. Samoilov — candidate of biological sciences, deputy director, head of the testing center, Russian Research Institute of Canning Technology Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: molgen@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5655-174X * corresponding author
Сураева Наталья Михайловна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, лаборатория качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: nsuraeva@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0144-8128	Natal'ya M. Suraeva — doctor of biological sciences, chief researcher, laboratory of quality and safety of food products, Russian Research Institute of Canning Technology Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: nsuraeva@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0144-8128
Зайцева Мария Вячеславовна — младший научный сотрудник, лаборатория качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: mascha.zajtseva2014@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6624-883X	Mariya V. Zajtseva — junior researcher, laboratory of quality and safety of food products, Russian Research Institute of Canning Technology Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: mascha.zajtseva2014@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6624-883X
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest