



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 547.97:663.052:633.491
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.010



ВЛИЯНИЕ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ СЛАДКИХ ПИЩЕВЫХ

Ольга Валентиновна Голуб¹, Александр Михайлович Захаренко²,
Олег Константинович Мотовилов³, Галина Петровна Чекрыга⁴

1, 2, 3, 4 Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агротехнологий Российской академии наук, рабочий поселок Краснообск Новосибирский район, Новосибирская область, Россия

¹golubov@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

²zakharenko@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9520-8271>

³motovilovok@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

⁴chekrygagp@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Аннотация: Антоцианы представляют собою группу соединений, наиболее часто используемых в качестве натуральных пищевых красителей. Льды сладкие пищевые представляют собой здоровую альтернативу мороженому. Цель работы – провести исследования по определению возможности использования антоцианового красителя из *Solarium tuberosum* L. при изготовлении льда сладкого пищевого. Основные ингредиенты рецептур льдов: ягоды *Vaccinium vitis-idaea* L., мед натуральный, стабилизатор (ксантантановая камедь), краситель из *Solarium tuberosum* L., вода питьевая. Методы исследований (органолептические, физико-химические и микробиологические) – стандартные. Установлено, что количество используемых ингредиентов в рецептуре оказывало влияние на внешний вид, цвет, консистенцию, структуру, запах, вкус, содержание общих сухих веществ, сахаров, антоцианов, кислотность. Льды, содержащие краситель в количестве 0,1 % от массы сырья, получили наивысшую органолептическую оценку - обнаружена достоверная ($p < 0,05$) положительная корреляция между антоцианинами и цветом (средняя), консистенцией, структурой (незначительная). Хранение продукции при температуре минус 20 ± 2 °C в течение 18 месяцев в полипропиленовой пленке массой 50 г привело к ухудшению запаха, структуры, консистенции и вкуса (сохранность в среднем 58,8 %), внешнего вида и цвета (потери в среднем 28,7 %), незначительному увеличению общих сухих веществ (в среднем 1,01 раз), снижению сахаров (в 1,02 раза), кислотности (в 1,02 раза) и антоцианинов (в 1,39 раза). Микробиологическая безопасность и температура в центре продукции в процессе хранения оставались в пределах регламентируемых показателей. Таким образом, результаты этого исследования расширили существующие знания о возможностях использования антоциановых красителей из *Solarium tuberosum* L. при создании замороженных десертов и могут быть использованы при создании новых продуктов, отвечающих требованиям здорового питания.

Ключевые слова: антоцианы, краситель, *Solarium tuberosum* L., льды сладкие пищевые, органолептические показатели, физико-химические показатели, микробиологические показатели, хранение.

Для цитирования: Голуб О.В., Захаренко А.М., Мотовилов О.К., Чекрыга Г.П., Влияние антоцианового красителя на формирование органолептических и физико-химических характеристик льдов сладких пищевых // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 66 – 74. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.010, EDN: <https://elibrary.ru/HUKOPF>.

INFLUENCE OF ANTHOCYANINE DYE ON FORMATION OF ORGANOLEPTIC AND PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SWEET FOOD ICES

Olga V. Golub¹, Alexander M. Zakharenko², Oleg K. Motovilov³,
Galina P. Chekryga⁴

^{1, 2, 3, 4}Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region working village Krasnoobsk, Russia

¹golubov@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

²zakharenko@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9520-8271>

³motovilovok@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

⁴chekrygagp@sfsca.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Abstract: Anthocyanins are a group of compounds most often used as natural food colorings. Sweet food ices are a healthy alternative to ice cream. The purpose of the work is to conduct research to determine the possibility of using anthocyanin dye from *Solarium tuberosum* L. in the production of sweet food ice. The main ingredients of ice recipes: berries of *Vaccinium vitis-idaea* L., natural honey, stabilizer (xanthan gum), dye from *Solarium tuberosum* L., drinking water. Research methods (organoleptic, physico-chemical and microbiological) are standard. It was found that the amount of ingredients used in the recipe influenced the appearance, color, consistency, structure, smell, taste, content of total solids, sugars, anthocyanins, and acidity. Ice containing a dye in an amount of 0,1% by weight of the raw material received the highest organoleptic rating - a significant ($p < 0,05$) positive correlation was found between anthocyanins and color (average), consistency, structure (insignificant). Storing products at a temperature of $\text{minus } 20 \pm 2$ °C for 18 months in polypropylene film weighing 50 g led to a deterioration in smell, structure, consistency and taste (safety on average 58,8%), appearance and color (loss on average 28, 7%), a slight increase in total dry matter (on average 1,01 times), a decrease in sugars (1,02 times), acidity (1,02 times) and anthocyanins (1,39 times). Microbiological safety and temperature in the center of the product during storage remained within the regulated parameters. Thus, the results of this study expand the existing knowledge about the possibilities of using anthocyanin dyes from *Solarium tuberosum* L. in the creation of frozen desserts and can be used in the creation of new products that meet the requirements of healthy nutrition.

Keywords: anthocyanins, dye, *Solarium tuberosum* L., sweet food ices, organoleptic indicators, physicochemical indicators, microbiological indicators, storage gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

For citation: Golub, O. V., Zakharenko, A. M., Motovilov, O. K. & Chekryga, G. P. (2024). Influence of anthocyanine dye on formation of organoleptic and physical-chemical characteristics of sweet food ices. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 66-74. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.010. EDN: <https://elibrary.ru/HUKOPF>.

ВВЕДЕНИЕ

Цвет является одним из основных параметров качества пищевой продукции и напрямую влияет на ее восприятие и выбор потребителями. С целью придания, усиления или восстановления окраски продуктов питания используются пищевые красители. По своему происхождению пищевые красители делятся на натуральные, т.е. полученные из растительных тканей (например, антоцианы, куркумин и пр.), клеток животных (например, карминовая и кермезиновая кислоты, пр.), минеральных источников (например, диоксид титана, кальция и пр.), в результате метаболизма микроорганизмов (например, каротиноиды, хлорофиллы, пр.), и искусственные – полученные путем химического синтеза и в природе не встречающиеся (например, амарант, ксантен, пр.). В последние годы искусственные пищевые красители нашли широкое применение из-за своей стабильности

(при воздействии различных температур, света, кислотности и пр.), хорошей растворимости, обеспечения однородности цвета продукции, низкого риска загрязнения микроорганизмами, пр. [1,2]. Однако, отмечается возрастающий интерес к натуральным красителям из-за меняющегося образа жизни потребителей, в том числе, из-за обеспокоенности последних по поводу потенциальных неблагоприятных последствий для здоровья. [3, 4, 5]. Например, синтетический краситель E133 (синий блестящий FCF, бриллиантовый голубой FCF) ингибирует рост нейритов и действует синергично с L-глутаминовой кислотой *in vitro*, что указывает на потенциальную нейротоксичность, пуринергические рецепторы, которые важны для поддержания клеточного гомеостаза и контроля воспаления и апоптоза [6], E102 (тартразин) изменяет ферментативную активность протеаз *in vivo*, что может иметь вредные последствия для пищеварения [7].

Натуральные пищевые красители становятся

ся все более востребованными не только из-за обеспокоенности потребителей безопасностью искусственных пищевых добавок, но и из-за потенциальной пользы для здоровья. [5]. При этом использование натуральных пищевых красителей ограничено их внутренней молекулярной нестабильностью, а также более высокой стоимостью по сравнению с искусственными, необходимостью более высоких концентраций для достижения эквивалентной интенсивности цвета, а также более узким диапазоном оттенков – красно-сине-фиолетовыми антоцианами, красными беталаинами, зелеными хлорофиллами и желто-оранжево-красными каротиноидами. [8]

Наиболее распространенные соединения, используемые в качестве натуральных пищевых красителей, - антоцианы (Е163), представляющие собой водорастворимые пигменты, обычно локализующиеся в вакуолях растительных клеток. [4, 8, 9]. Антоцианы принадлежат к группе флавоноидов. Преобладающие формы антоцианов - пеларгонидин, цианидин, пеонидин, дельфинидин, петунидин и мальвидин. Цвет продуктов, богатых антоцианиновыми пигментами варьируется от темно-синего (черника, *Vaccinium sp.* L. – основной антоциан дельфинидин-3-галактозид) до фиолетового (баклажан, *Solanum melongena* L. – дельфинидин-3-(*p*-кумароилрутинозид)-5-глюкозид) и красного (клубника, *Fragaria × ananassa* - пеларгонидин-3-глюкозид).

Традиционными источниками антоцианов являются плоды и овощи (малина, вишня, красный лук, фиолетовая морковь и пр.), однако ведутся исследования по использованию нетрадиционных, например, плодов паслена Санберри, клоновых подвоев яблони, выжимок плодов черники и брусники, пр. [10, 11, 12, 13].

Выбор метода получения антоциановых пищевых красителей во многом зависит от исходного сырья, природы антоцианов и пр. [4, 9, 14, 15, 16]. Например, Чернобровиной А.Г. с соавторами предложено для получения термостабильных антоциановых красителей из плодов культивируемой красной смородины, дикорастущих малины, брусники и клюквы проводить ферментативно-тепловую обработку сырья [17]; Малеева А.З. с соавторами разработана технология получения пищевой добавки из виноградных выжимок (общее количество антоцианов 3,5-3,7 г/дм³), состоящая из последовательного воздействия электромагнитной, ферментативной и физико-химической (экстрагирование, прессование, фильтрование, концентрирование) обработок сырья [18]; Разгоновой М.П. с соавторами - из дикорастущих плодов голубики болотной, различных видов смородины и жимолости, предусматривающая использование сверхкритической флюидной CO₂-экстракции в комплексе с другими растворителями [19]; Pereira R.N. с соавторами - из картофеля с синими и

фиолетовыми тонами (*Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte), предусматривающая использование омического нагрева посредством приложения умеренных электрических полей, обладающего функциональными свойствами за счет содержащихся глюкозидов петунидина, мальвидина и дельфинидина [20]; Puértolas E. с соавторами – из картофеля с пурпурной окраской мякоти (*Ipomoea batatas* L.), предусматривающая использование импульсного электрического поля, воды в качестве растворителя и низких температур (не выше 40 °С) с высоким содержанием антоцианов (65,8 мг/100 г) [21].

Цвет антоцианов, их стабильность и реакционная способность зависят от множества факторов - сопряженных двойных связей, количества и положения гидроксильных групп, степени метилирования -ОН-групп, уровней гликозилирования и рН, пр. [17, 22].

Основные свойства для здоровья, связанные с антоцианами – противораковые, противодиабетические, антиоксидантные, противовоспалительные [4, 23]. Например, Bontempo P. с соавторами исследовали действие антоцианы картофеля (*Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte) при раке молочной железы и гематологическом раке, в результате которых установили, что при лечении происходит модуляция регуляторов клеточного цикла, ингибирование передачи сигналов Akt-mTOR вызывающая созревание клеток острого миелолейкоза [24]; Strugała P. с соавторами – доказали антидиабетическую активность и антиоксидантный статус ацилированного антоциана петунидин-3-*O*-*p*-кумарил-рутинозид-5-*O*-глюкозида фиолетового картофеля сорта Blue Congo variety у крыс Вистар с диабетом, индуцированным стрептозотоцином [25].

Поскольку в последние годы отмечается рост потребительского спроса в отношении продуктов питания, содержащих только нативные ингредиенты, проводятся разработки по созданию данной группы продукции, в том числе за счет использования натуральных пищевых добавок [26, 27, 28, 29, 30, 31]. Леды сладкие пищевые могут выступать в качестве полезных замороженных десертов с многочисленными органолептическими возможностями [32, 33, 34, 35]. Простота их изготовления является еще одним преимуществом их доступности на рынке.

Цель работы – провести исследования по определению возможности использования антоцианового красителя из *Solanum tuberosum* L. при изготовлении льда сладкого пищевого. Задачи работы: исследования влияния различных количеств добавляемого антоцианового красителя на органолептические и физико-химические характеристики льда сладкого пищевого; исследования качественных характеристик льда сладкого пищевого в процессе хранения.

ВЛИЯНИЕ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ СЛАДКИХ ПИЩЕВЫХ

МЕТОДЫ

Объектами исследований служили образцы сладкого пищевого льда (далее - льда), которые согласно ГОСТ Р 55625-2013 «Льды сладкие пищевые. Технические условия» представляют собой фруктовые льды без аромата с пищевкусовыми продуктами.

В таблице 1 представлены наилучшие варианты рецептур льда – количество ингредиентов подобрано в соответствии с проведенными ранее исследованиями.

Таблица 1 – Расход сырья на 100 кг льда сладкого пищевого (без учета потерь), кг

Table 1 – Consumption of raw materials per 100 kg of sweet food ice (excluding losses), kg

Сырье	Вариант продукта		
	1	2	3
Ягоды брусники	17,00	15,00	13,50
Мед натуральный	25,00	25,00	26,00
Ксантановая камедь	0,30	0,30	0,30
Антоциановый краситель	0,05	0,10	0,15

В ранее проведенных нами исследованиях установлены условия экстракции в сверхкритической системе флюидной экстракции в присутствии CO₂ и этанола, в количестве 2,5 % в жидкой фазе, клубней *Solarium tuberosum* L. (давление 600 бар, температура 70 °С), позволяющие получить антоциановый краситель, представляющего собой порошок темно-фиолетового цвета, содержащий не менее 87,0% растворимых сухих веществ, 3,90±0,15 г/кг антоцианов, рН от 4,5 до 4,9 усл.ед. [36]. В качестве пищевкусовых продуктов использовали ягоды *Vaccinium vitis-idaea* L., мед натуральный, стабилизатор (ксантановая камедь), показатели качества которых соответствовали требованиям действующей нормативной документации - ГОСТ 20450-2019 «Брусника свежая. Технические условия», ГОСТ 33823-2016 «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия», ГОСТ 19792-2017 «Мед натуральный. Технические условия», ГОСТ 33333-2015 «Добавки пищевые. Камедь ксантановая Е415. Технические условия».

Технологический процесс производства льда включал в себя следующие операции: перемешивание ингредиентов, кроме CO₂-экстракта из *Solarium tuberosum* L. (красителя); ультразвуковая обработка смеси; охлаждение; выдерживание; перемешивание с CO₂-экстрактом из *Solarium tuberosum* L. (красителем); формование; закалывание; упаковывание; дозакалывание; хранение. В закрытую емкость вносилась вода питьевая температурой 65-70 °С, мед натуральный, ксантановая камедь (стабилизатор), свежие ягоды брусники. [37]. Смесь перемешивалась и подвергалась ультразвуковой обработке при температуре 65-70 °С в течение 15-25 мин при частоте ультразвуковых колебаний 22 кГц и интенсивности ультра-

звукового воздействия 20 Вт/см². Смесь охлаждалась до температуры 2-6 °С и выдерживалась в течение 4-6 ч, в нее добавлялся CO₂-экстракт из *Solarium tuberosum* L. (краситель), перемешивался в течение 10-15 мин, формовался и закалывался до температуры минус 10-15 °С, упаковывался, дозакалывался в течение 24-36 ч до температуры в центре не выше минус 18 °С, хранился при температуре минус 20±2 °С в течение 18 месяцев.

Исследования содержания общих сухих веществ, кислотности и температуры в центре продукта осуществляли согласно ГОСТ Р 55625-2013 «Льды сладкие пищевые. Технические условия», сахаров (включая сахарозу) согласно ГОСТ 8756.13-87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров». Исследования микробиологических показателей (мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов, дрожжей, а также бактерий группы кишечных палочек) осуществляли согласно ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов», ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов», ГОСТ 31746-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*» и ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа». В образцах методом рН-дифференциальной спектрофотометрии определяли массовую долю суммы антоцианинов согласно ГОСТ 32709-2014 «Продукция соковая. Методы определения антоцианинов». Органолептическую оценку образцов осуществляли согласно балльной шкале, разработанной Тяпкиной Е.В.: коэффициенты весомости внешнего вида, цвета, консистенции, структуры, запаха и вкуса соответственно 0,1, 0,1, 0,1, 0,2, 0,2 и 0,3; уровни качества «отличная», «хорошая», «удовлетворительная» и «неудовлетворительная» соответственно в пределах 4,6-5,0, 3,6-4,5, 2,6-3,5, менее 2,5 баллов [38].

При проведении исследований использовали следующее лабораторное оборудование: автоклав Prestige Medical Classic Standart (Великобритания), баню водяную Biosan WB-4MS (Латвия), весы лабораторные Ohaus PA2102C (Китай), весы лабораторные Ohaus PA214 (Китай), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), микроскоп Микромед 2 (Россия), настольный измеритель рН Ohaus Starter 2100 (Китай), плиту программируемую ПЛП-03 НПП «Томьаналит» (Россия), спектрофотометр СФ-102 (Россия), стерилизатор паровой ВК-0701 (Россия), термометр-щуп ИТ7-В (Россия), термостат MIR-262 Sanyo (Япония), УЗ-аппарат «Алена» (Россия), центрифуга Termo SL 40R (Германия), шейкер орбитальный OS-20 (Латвия), шкаф сушильный ШС-80 (Россия).

Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 10. Все экспериментальные определения проводили в пяти повторностях, результаты представляли, как среднее значение \pm стандартное отклонение. Для анализа данных проводился однофакторный дисперсионный анализ, апостериорный тест Тьюки – для сравнения средних значений. Оценку силы влияния красителя на формирование качественных характеристик продукции определяли методом Снедекора. Для оценки взаимосвязи между органолептическими и физико-химическими характеристиками продукции проводился корреляционный анализ, используя критерий Пирсона. Для определения влияния срока хранения на изменения качественных характеристик продукции проводился регрессионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены результаты органолептической оценки исследуемых вариантов льдов.

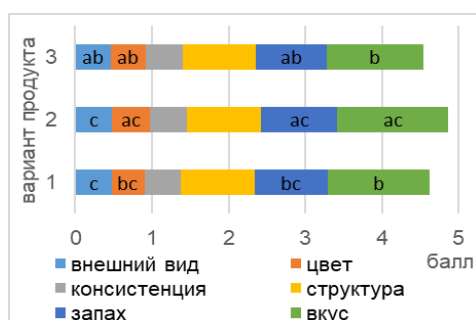


Рисунок 1 – Оценка органолептических показателей льдов сладких пищевых ($p < 0,05$)

Примечания: различия средних значений по показателю с разными строчными буквами существенны

Figure 1 – Assessment of organoleptic characteristics of sweet food ices ($p < 0,05$)

Notes: differences in average values for indicators with different lowercase letters are significant

Установлено, что по показателю «внешний вид» все образцы льда получили одинаковое количество баллов (0,48), представляя собой непрозрачную, матовую порцию продукта конусовидной формы, с ровной и гладкой поверхностью, без повреждений, с плотно держащейся палочкой, выступающей из продукции не менее чем на 3 см. Аналогичная тенденция характерна и для показателей «консистенция» и «структура» льда – все образцы получили соответственно по 0,48 и 0,96 баллов: лед обладал плотной (твердой) консистенцией, однородной, с неощутимыми кристаллами льда структурой; ягоды обладали нежной консистенцией, упругой структурой.

Наилучшим, красно-фиолетовым цветом, равномерным по всей массе, отличался второй образец льда, получившим максимальное количество баллов (0,50). Третий образец незначительно уступал второму по цвету, получил 0,46

баллов, в отличие от первого, который получил 0,42 балла, поскольку в них отметили излишние оттенки соответственно красного и фиолетового цветов. Следует отметить, что цвет ягод, находящихся в массе – темно-красный.

Наилучшими запахом и вкусом обладал второй образец льда (соответственно 1,00 и 1,44 баллов) - запах был чистым, медовым, с оттенками ягод брусники, вкус был чистым, освежающим, сладким, медовым, с приятной кислоткой при прожёвываемости ягод брусники. В первом образце в запахе и вкусе отметили излишние оттенки ягод брусники (соответственно 0,96 и 1,32 баллов), а в третьем – меда (соответственно 0,92 и 1,26 баллов).

Категория качества первого и второго образцов льда «отличная» (норма свыше 4,6 баллов), третьего – «хорошая» (от 3,60 до 4,59 баллов).

В таблице 2 представлены результаты исследований физико-химических показателей образцов льдов.

Таблица 2 – Физико-химические показатели льдов сладких пищевых ($p < 0,05$)

Table 2 – Physico-chemical parameters of sweet food ices ($p < 0,05$)

Показатель	Вариант продукта		
	1	2	3
Массовая доля общих сухих веществ, %	22,06 \pm 0,01 ^{bc}	21,85 \pm 0,01 ^{ac}	22,49 \pm 0,01 ^{ab}
Кислотность, °Т	6,41 \pm 0,01 ^{bc}	6,00 \pm 0,01 ^{ac}	5,83 \pm 0,01 ^{ab}
Массовая доля сахаров (включая сахарозу), %	20,65 \pm 0,01 ^{bc}	20,50 \pm 0,01 ^{ac}	21,16 \pm 0,01 ^{ab}
Температура в центре продукта, °С	19 \pm 1	19 \pm 1	19 \pm 1
Массовая концентрация антоцианинов, мг/100 г, в пересчете на цианидин 3-глюкозид	0,189 \pm 0,008 ^{bc}	0,382 \pm 0,015 ^{ac}	0,562 \pm 0,022 ^{ab}

Примечания: различия средних значений в строке с разными строчными буквами существенны

Количество сухих веществ и кислотность представляют собой факторы, влияющие на стабильность цвета – чем их больше, тем лучше стабильность [39]. Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что химический состав, а, следовательно, физико-химические показатели, напрямую зависят от содержания основных ингредиентов рецептуры (ягод брусники и меда натурального) опытных образцов льдов. Исследуемые образцы льдов ранжируются следующим образом по содержанию: общих сухих веществ, а также сахаров (включая сахарозу) - третий > первый > второй; органических кислот – первый > второй > третий. Температура всех исследуемых образцов в центре продукта не превышала регламентируемые минус 18 °С. Содержание антоцианов в образцах льда зависела от количества используемого в рецептуре красителя, а, следовательно, образцы льда ранжируются следующим образом: третий > второй > первый.

В результате проведенных исследований установили, что добавление антоцианового кра-

ВЛИЯНИЕ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ СЛАДКИХ ПИЩЕВЫХ

сителя из *Solarium tuberosum* L. оказывает существенное влияние на формирование внешнего вида, цвета, запаха и вкуса при изготовлении льда сладкого пищевого – сила влияния соответственно 93,0, 98,4, 98,0 и 94,9 % ($p < 0,01$). Используемый краситель оказывал значительное влияние на физико-химические показатели продукции – общие сухие вещества, кислотность и содержание антоцианинов (сила влияния 99,9 %, $p = 0,00$). Не выявили влияния красителя на формирование консистенции и структуры продукции, как и на содержание в последней сахарозы, температуры в центре продукта ($p > 0,05$).

Коэффициенты корреляции Пирсона между органолептическими и физико-химическими показателями опытных образцов льдов приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Коэффициенты корреляции Пирсона между органолептическими и физико-химическими показателями вариантов льдов сладких пищевых ($p < 0,05$)

Table 3 - Pearson correlation coefficients between organoleptic and physico-chemical indicators of sweet food ice options ($p < 0,05$)

Показатель	Общие сухие вещества	Кислотность	Сахара	Антоцианины
Внешний вид	-0,95	0,73	-0,98	-0,86
Цвет	-0,32	-0,69	-0,21	0,52
Консистенция	-0,75	-0,23	-0,68	0,02
Структура	-0,75	-0,23	-0,68	0,02
Запах	-0,98	0,29	-0,95	-0,48
Вкус	-0,93	0,10	-0,88	-0,31

В образцах льдов отметили высокую по-

Таблица 4 - Динамика изменений показателей качества льда сладкого пищевого «Искра» в процессе хранения ($p < 0,05$)

Table 4 - Dynamics of changes in quality indicators of sweet food ice "Iskra" during storage ($p < 0,05$)

Показатель	Срок хранения, мес			
	0	6	12	18
Массовая доля общих сухих веществ, %	21,85±0,01 ^{b-d}	21,88±0,01 ^{acd}	21,96±0,01 ^{abc}	22,14±0,01 ^{a-c}
Кислотность, °Т	6,00±0,01 ^{cd}	5,99±0,01 ^d	5,97±0,01 ^{ac}	5,91±0,01 ^{a-c}
Массовая доля сахаров (включая сахарозу), %	20,50±0,01 ^{b-d}	20,45±0,01 ^{acd}	20,33±0,01 ^{abd}	20,07±0,01 ^{a-c}
Температура в центре продукта, °С	19±1	19±1	19±1	19±1
Массовая концентрация антоцианинов, мг/100 г, в пересчете на цианидин 3-глюкозид	0,382±0,015 ^{b-d}	0,351±0,014 ^{ac}	0,332±0,013 ^{ac}	0,275±0,011 ^{a-c}
Внешний вид, балл	0,48±0,04 ^{cd}	0,46±0,05 ^{cd}	0,42±0,04 ^{ab}	0,32±0,04 ^{ac}
Цвет, балл	0,50±0,00 ^{cd}	0,48±0,04 ^d	0,46±0,05 ^{ac}	0,38±0,04 ^{a-c}
Консистенция, балл	0,48±0,04 ^{cd}	0,46±0,05 ^{cd}	0,40±0,00 ^{abd}	0,30±0,00 ^{a-c}
Структура, балл	0,96±0,08 ^{b-d}	0,92±0,10 ^{acd}	0,84±0,08 ^{abd}	0,56±0,08 ^{a-c}
Запах, балл	1,00±0,00 ^{cd}	0,96±0,08 ^{cd}	0,84±0,08 ^{abd}	0,56±0,08 ^{a-c}
Вкус, балл	1,44±0,12 ^{cd}	1,38±0,15 ^{cd}	1,20±0,00 ^{abd}	0,84±0,12 ^{a-c}
Среднее количество колоний, КОЕ/г: - мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов ¹ - дрожжей ² - плесеней ²	Нет роста Нет роста Нет роста	Нет роста Нет роста Нет роста	Нет роста Нет роста Нет роста	Нет роста Нет роста Нет роста
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) ³	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено

Примечания: различия средних значений в строке с разными строчными буквами существенны
¹Не более 1·10⁵ КОЕ/г согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»
²Не более 100 КОЕ/г согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»
³Не допускается в 0,01 г согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»

ложительную связь между кислотностью и внешним видом опытных образцов льдов. При этом отметили очень высокую отрицательную связь между общими сухими веществами и внешним видом, запахом, вкусом, между сахарами и внешним видом, запахом, между антоцианинами и внешним видом опытных образцов льдов, высокую отрицательную связь между сухими веществами и консистенцией, структурой, а также между сахарами и вкусом. Положительная средняя связь отмечена между антоцианинами и цветом образцов льдов, отрицательная – между кислотностью и цветом, между сахарами и консистенцией, структурой. В опытных образцах льдов отметили незначительные положительные корреляции между кислотностью и запахом, вкусом, между антоцианинами и консистенцией, структурой, отрицательную - между сухими веществами и цветом, между кислотностью и консистенцией, структурой, между сахарами и цветом, между антоцианинами и запахом, вкусом.

На основании проведенных исследований выявлена наилучшая рецептура льда, которому присвоено рабочее название «Искра» (второй вариант).

Хранение льда, упакованного полипропиленовую пленку массой 50 г, осуществляли при температуре минус 20±2 °С в течение 18 месяцев (с учетом коэффициента резерва 1,15 согласно МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» для несекорпортирующихся продуктов). Результаты исследований представлены в таблице 4.

Пониженные температуры, используемые при изготовлении льда и его последующем хранении, позволяют ингибировать многие метаболические процессы, замедлять кинетику роста микроорганизмов, предотвращать реакции разложения многих соединений, в том числе обладающих физиологическими свойствами (антоцианов, фенольных кислот и пр.), пр. [39, 40]

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что в процессе хранения льда содержание общих сухих веществ, в том числе сахаров и кислотности, существенно изменялись - происходило увеличение количества общих сухих веществ с 21,85 до 22,14 % ($p < 0,01$), при одновременном снижении количества кислотности и сахаров, включая сахарозу, соответственно с 6,00 до 5,91 °Т ($p < 0,01$) и с 20,50 до 20,07 % ($p < 0,05$). Температура в центре продукта в процессе хранения оставалась неизменной, не выше минус 18 °С ($p > 0,05$). Содержание антоцианинов в процессе хранения льда снижалось - к концу 12 и 18 месяцев хранения сохранность нутриента составляла соответственно в среднем 87 и 72 % ($p < 0,01$).

Из данных таблицы 4 видно, что через 12 и 18 месяцев хранения льда произошли изменения органолептических показателей - категория качества соответственно снизилась с отличной (4,86 баллов) до соответственно «хорошей» и «удовлетворительной» (соответственно 4,16 и 3,46 баллов). По истечении 18 месяцев хранения льда наибольшие потери характерны для показателя «запах» (44,0 %, $p < 0,01$) - терял выраженность меда. Значительные потери характерны для показателя «структура» (41,7 %, $p < 0,01$) - лед становился плотным, а ягоды теряли упругость. Аналогичные потери (41,7 %, $p < 0,01$) характерны для показателя «вкус» - становился менее гармоничным, терял интенсивность меда, ягоды кислыми. Консистенция льда становилась в процессе хранения снежистой, а ягод жесткой, что и обусловило снижение оценок за данный показатель на 37,5 % к концу исследуемого периода хранения ($p < 0,01$). В процессе хранения внешний вид льда терял свою привлекательность, а цвет становился менее насыщенным - сохранность оценок за данные показатели по истечении 18 месяцев хранения составила соответственно 66,7 и 76,0 % ($p < 0,01$). Такого дефекта, как неоднородное распределение цвета на поверхности и нижней части продукта, из-за использования водорастворимого красителя [39], не отметили. Цвет ягод брусники в процессе хранения не изменялся.

Возможно снижение интенсивности цвета льда можно объяснить особенностями химической структуры используемого красителя и его окислением до бесцветных соединений под воздействием ферментов. При изготовлении

использовалась «мягкая» технология, предусматривающая не только механическое, но не термическое, воздействие в отношении пищевой добавки, остались достаточно высокими значения кислотности продукции. [8, 41]

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что во льду на момент изготовления и по истечению 18 месяцев хранения отсутствовал рост мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, дрожжей и плесеней, не содержали бактерий группы кишечных палочек.

Полученные результаты можно представить в виде обобщенных регрессионных зависимостей изменений исследуемых показателей (y) от срока хранения (x) льда ($p = 0,00$):

- общих сухих веществ:

$$y = 21,815 + 0,016x, R^2 = 0,875; \quad (1)$$

- кислотности:

$$y = 6,011 - 0,005x, R^2 = 0,757; \quad (2)$$

- сахаров:

$$y = 20,549 - 0,024x, R^2 = 0,893; \quad (3)$$

- антоцианинов, в пересчете на цианидин 3-глюкозид:

$$y = 0,386 - 0,006x, R^2 = 0,870; \quad (4)$$

- внешний вид:

$$y = 0,498 - 0,009x, R^2 = 0,854; \quad (5)$$

- цвет:

$$y = 0,512 - 0,006x, R^2 = 0,826; \quad (6)$$

- консистенция:

$$y = 0,5 - 0,01x, R^2 = 0,889; \quad (7)$$

- структура:

$$y = 1,015 - 0,022x, R^2 = 0,838; \quad (8)$$

- запах:

$$y = 1,05 - 0,024x, R^2 = 0,858; \quad (9)$$

- вкус:

$$y = 1,568 - 0,047x, R^2 = 0,809. \quad (10)$$

Негативные изменения органолептических характеристик послужили основанием установления срока годности льдов не более 12 месяцев.

ВЫВОДЫ

Наше исследование демонстрирует потенциал использования CO₂-экстракта из *Solarium tuberosum* L. при изготовлении льдов сладких пищевых. Установили, что использование антоцианового красителя оказывает существенное влияние на формирование внешнего вида, цвета, запаха и вкуса продукции, а также на содержание в ней общих сухих веществ, кислот и антоцианинов. Продукция, содержащая антоциановый краситель в количестве 0,1 % от массы сырья, получила наивысшую органолептическую оценку.

Процесс хранения льдов сладких пищевых в течение 18 месяцев привел к ухудшению органолептических показателей (запах > структура, вкус > консистенция > внешний вид > цвет), увеличению количества общих сухих веществ, уменьшению содержания кислот и сахаров. Ис-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2024

ВЛИЯНИЕ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ СЛАДКИХ ПИЩЕВЫХ

пользование красителя позволило обеспечить высокую сохранность антоцианов в продукции по истечении 18 месяцев хранения – потери составили 28,0 %. Использование красителя не оказывало влияния на температуру в центре продукта и микробиологическую безопасность при изготовлении и последующем хранении льдов.

Результаты исследований: расширили существующие знания о положительном воздействии CO₂-экстрактов из *Solarium tuberosum* L. при формировании качественных характеристик продуктов переработки сырья растительного происхождения; могут быть использованы при создании продукции, содержащей только нативные нутриенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрченко В.В., Ингель Ф.И., Ахальцева Л.В. и др. Генетическая безопасность синтетических пищевых красителей. Обзор литературы //Экологическая генетика, 2021, 19(4), 323-341. <https://doi.org/10.17816/ecogen79399>
2. Ristea M.-E. and Zarnescu O. Indigo Carmine: Between Necessity and Concern //Journal of Xenobiotics, 2023, 13(3):509-528. <https://doi.org/10.3390/jox13030033>
3. Петьш Я.С. Анализ мирового рынка натуральных пищевых красителей //Хлебопродукты, 2015, 9, 20-22.
4. Luzardo-Ocampo I., Ramírez-Jiménez A.K., Yañez J., Mojica L. and Luna-Vital D.A. Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review //Foods, 2021, 10(3), 634. <https://doi.org/10.3390/foods10030634>
5. Shammout M.-J.A., Alsaleh M.M., Natsheh I.Y., Albadawi D.K. and Alkhalwaldeh A.K. Dyes Are the Rainbow of Our Health //Chemistry, 2023, 5(4), 2229-2245. <https://doi.org/10.3390/chemistry5040149>
6. Olas B., Bialecki J., Urbańska K. and Bryś M. The Effects of Natural and Synthetic Blue Dyes on Human Health: A Review of Current Knowledge and Therapeutic Perspectives //Advances in Nutrition (Bethesda, Md.), 2021, 12(6), 2301-2311. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab081>
7. Ameer F.Z., Mehedi N., Rivas C.S., Gonzalez A., Kheroua O. and Saidi D. Effect of tartrazine on digestive enzymatic activities: in vivo and in vitro studies //Toxicological Research, 2020, 36, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s43188-019-00023-3>
8. Jurić M., Król-Kilińska Z., VlahovičekKahlina K., Vinceković M., Dragović-Uzelac V. and Donsi F. Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods //Food Reviews International, 2022, 38(8), 1735-1790. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
9. Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Егорова О.С. Производство и применение натуральных антоциановых пищевых красителей (обзор) //Пищевая промышленность, 2021, 10, 13-19. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.10.017>
10. Акишин Д.В., Тафинцев Я.А., Палфитов В.Ф. Изучение паслена Санберри в открытом грунте Центрально-Черноземного региона //Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2022, 1, 94-97. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-1-94-97>
11. Тарова З.Н., Дубровский М.Л., Дворецкий Д.С. и др. Клоновые подвои яблони как сырье для получения пищевых антоциановых красителей //Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, 2022, 2, 171-178. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-171-178>
12. Школьникова М.Н., Аверьянова Е.В. Выжимки ягодного сырья как источник антоциановых красителей //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2021, 10(1), 117-121. <https://doi.org/10.46548/21vek-2021-1053-0021>
13. Barretto F.J.F.P., Clemente H.A., Bandeira A. and Vasconcelo M.A.S. Stability of encapsulated and non-encapsulated anthocyanin in yogurt produced with natural dye obtained from *Solanum melongena* L. Bark //Revista Brasileira de Fruticultura, 2020, 42(3). <https://doi.org/10.1590/0100-29452020137>
14. Даудова Т.Н., Исригова Т.А., Дайдова Л.А., Омарова М.М. Интенсификация экстракции антоциановых красителей ультразвуковой обработкой дикорастущих плодов //Проблемы развития АПК региона, 2021, 1(45), 160-163. https://doi.org/10.52671/20790996_2021_1_160
15. Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Попов А.М. и др. Пути светостабилизации природных красителей с использованием фуллерена C60 //Пищевая промышленность, 2023, 1, 10-13. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.1.1.002>
16. Candela R.G., Lazzara G., Piacente S., Bruno M., Cavallaro G. and Badalamenti N. Conversion of Organic Dyes into Pigments: Extraction of Flavonoids from Blackberries (*Rubus ulmifolius*) and Stabilization //Molecules, 2021, 26(20), 6278. <https://doi.org/10.3390/molecules26206278>
17. Чернобровина А.Г., Куликова Н.Е., Роева Н.Н. и др. Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья //Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2022, 2(222), 72-85. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_6
18. Малеева А.З., Щербакоева Е.В., Ольховатов Е.А. Инновационный способ производства антоцианового красителя из вторичных сырьевых ресурсов виноделия //Плодоводство и виноградарство Юга России, 2021, 69(3), 303-315. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-3-69-303-315>
19. Разгонова М.П., Сенотрусова Т.А., Ли Н.Г. и др. Аспекты комплексной переработки дальневосточных ягодных культур //Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2023, 53(8), 15-26. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-8-2>
20. Pereira R.N., Rodrigues R.M., Genisheva Z., Oliveira H., de Freitas V., Teixeira J.A. and Vicente A.A. Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato //LWT, 2016, 74, 493-503. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.074>
21. Puértolas E., Cregenzán O., Luengo E., Álvarez I. and Raso J. Pulsed-electric-field-assisted extraction of anthocyanins from purple-fleshed potato //Food Chemistry, 2013, 136, 1330-1336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.080>
22. Fernández-López J.A., Fernández-Lledó V. and Angosto J.M. New insights into red plant pigments: More than just natural colorants //RSC advances, 2020, 10(41), 24669-24682. <https://doi.org/10.1039/D0RA03514A>
23. Alappat B. and Alappat J. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics //Molecules, 2020, 25(23), 5500. <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>
24. Bontempo P., De Masi L., Carafa V., Rigano D., Scisciola L., Iside C., Grassi R., Molinari A.M., Aversano R., Nebbioso A., Carputo D. and Altucci L. Anticancer activities of anthocyanin extract from genotyped *Solanum tuberosum* L. «Vitelotte» //Journal of Functional Foods, 2015, 19, 584-593. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.063>
25. Strugała P., Dzydzan O., Brodyak I., Kucharska A.Z., Kuroopka P., Liuta M., Kaleta-Kurawicz K., Przewodowska A., Michalowska D., Gabrielska J. and Sybirna N. Antidiabetic and Antioxidative Potential of the Blue Congo Variety of Purple Potato Extract in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats //Molecules, 2019, 24(17), 3126.

<https://doi.org/10.3390/molecules24173126>

26. Кадрицкая Е.А., Школьников М.Н., Кокорева Л.А. и др. Обоснование состава кондитерской глазури с меланином из гречневой лузги //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2022, 11(1), 58-63. DOI 10.46548/21vek-2022-1157-0011.

27. Казанцева С.Ю. Тренды российского рынка продуктов здорового питания //Экономика и предпринимательство, 2019, 10(111), 125-128.

28. Молибога Е.А., Сухостав Е.В., Козлова О.А., Зинич А.В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект //Техника и технология пищевых производств, 2022, 52(4), 775-786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>

29. Игнатова Т.А., Подкорытова А.В., Березина М.О. Красная водоросль *Palmaria palmata*: биологическая и химико-технологическая характеристика, рекомендации по ее использованию как источника нутриентов в питании человека //Индустрия питания, 2023, 8(3), 134-151. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-3-14

30. Manohar S., Rehman V. and Sivakumaran B. Role of unfamiliarity and information on consumers' willingness to try new healthy foods //Food Quality and Preference, 2021, 87, 104037. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104037>

31. Sun X., Follett P.A., Wall M.M., Duff K.S., Wu X., Shu C., Plotto A., Liang P. and Stockton D.G. Physical, Chemical, and Sensory Properties of a Turmeric-Fortified Pineapple Juice Beverage //Foods, 2023, 12(12), 2323. <https://doi.org/10.3390/foods12122323>

32. Лобачева Е.М., Давыденко Н.И., Голуб О.В., Тяпкина Е.В. Применение ягод красной смородины в качестве основы льдов пищевых //Индустрия питания, 2021, 6(1), 65-74. <http://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-1-8>.

33. Medeiros A.C. and Bolini H.M.A. Plant-Based Frozen Desserts: Temporal Sensory Profile and Preference //Brazilian journal of food technology, 2021, 24, e2020037. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03720>

34. Palka A. and Skotnicka M. The Health-Promoting and Sensory Properties of Tropical Fruit Sorbets with Inulin //Molecules, 2022, 27(13), 4239. <https://doi.org/10.3390/molecules27134239>.

35. Petkova T., Doykina P., Alexieva I., Mihaylova D. and Popova A. Characterization of Fruit Sorbet Matrices with Added Value from *Zizyphus jujuba* and *Stevia rebaudiana* //Foods, 2022, 11(18), 2748. <https://doi.org/10.3390/foods11182748>.

36. Захаренко А.М., Голохваст К.С., Голуб О.В., Мотовилов О.К. Исследование возможности получения антоцианового красителя из картофеля //Индустрия питания, 2021, 6(4), 76-86. <http://doi.org/110.29141/2500-1922-2021-6-4-8>.

37. Патент № 2774067 С1 Российская Федерация, МПК А23G 9/04, А23G 9/42. Способ производства замороженного продукта типа фруктовый лёд: № 2021132903: заявл. 11.11.2021: опубл. 15.06.2022 /О.В. Голуб, Е.В. Тяпкина, Н.И. Давыденко и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехно-

логий Российской академии наук.

38. Тяпкина Е.В. Органолептическая оценка качества льда сладкого пищевого //Молодежь в науке и предпринимательстве. – Гомель: БТЭУПК, 2020, 318-321.

39. Krahl T., Fuhrmann H. and Dimassi S. Ice cream //Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages, Woodhead Publishing, 2016, 197-207. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00009-9>

40. Žlabur J.Š., Mikulec N., Doždor L., Duralija B., Galić A. and Voća S. Preservation of Biologically Active Compounds and Nutritional Potential of Quick-Frozen Berry Fruits of the Genus *Rubus* //Processes, 2021, 9(11), 1940. <https://doi.org/10.3390/pr9111940>

41. Enaru B., Dreţcanu G., Pop T.D., Stănilă A. and Diaconeasa Z. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation //Antioxidants, 2021, 10(12), 1967. <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>

Информация об авторах

О. В. Голуб – д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр. ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

А. М. Захаренко – канд. хим. наук, зам. д-ра по научно-технической работе ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

О. К. Мотовилов - д-р техн. наук, доцент, гл. науч. сотр. ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

Г. П. Чекрыга – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

Information about the authors

O. V. Golub - Dr.Sci.(Eng.), Professor, chief researcher of the Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

A. M. Zakharenko - Cand.Sci.(Ch.), deputy director for scientific and technical work of the Russian Academy of Sciences.

O. K. Motovilov - Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, chief researcher of the Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

G. P. Chekryga - Cand.Sci.(Biol.), leading researcher of the Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 10 Nov 2023; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.