

УДК 664.97

Исследование влияния криопротекторов на криоскопическую температуру и количество вымороженной воды в процессе замораживания

Д-р техн. наук В. Д. БОГДАНОВ¹, А. А. СИМДЯНКИН², И. А. СЫТНИК³

¹bogdanovvd@dgtru.ru, ²And-sim@mail.ru, ³Ivan992222@mail.ru

Дальневосточные государственные технический рыбохозяйственный университет

Реализация основной задачи крионики, заключающейся в минимизации негативных последствий применения низких температур, невозможна без использования криопротекторов — веществ, предотвращающих или замедляющих рост кристаллов льда при замораживании. В качестве криопротекторов используются сорбит, глицерин, пропиленгликоль, маннит, сахароза, раффиноза, диметилсульфоксид и др. В этой связи целью работы является исследование влияния криопротекторов на криоскопическую температуру и количество вымороженной воды, в процессе замораживания рыбного фарша. Количество воды в тканях минтая перед замораживанием определяли стандартным методом — высушиванием навески в шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. Криоскопическую температуру определяли термографическим способом, по формированию на кривой изменения температуры образца термостатической площадки. Определены криоскопические температуры рыбного фарша, содержащего различные криопротекторы. Проанализированы кривые зависимостей количества вымороженной воды от температуры замораживания. Результаты проведенных исследований обосновывают рациональность исследования композиционных криопротекторов следующего состава: № 1—1 % NaCl+2 % сорбита+2 % смеси криоконцентратов «Минералокорректирующая» (МНК); № 2—1 % NaCl+2 % сорбита+2 % криоконцентрата молока; № 3—1 % NaCl+3 % сорбита+3 % смеси криоконцентратов «Минералокорректирующая».

Ключевые слова: замораживание, кривые замораживания, криоскопическая температура, вымороженная вода, криопротекторы.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 22.11.2022, одобрена после рецензирования 16.01.2023, принята к печати 26.01.2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-85-92

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Богданов В. Д., Симдянкин А. А., Сытник И. А. Исследование влияния криопротекторов на криоскопическую температуру и количество вымороженной воды в процессе замораживания. // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 85–92. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-85-92

The influence of cryoprotectors on the cryoscopic temperature and the amount of frozen-out water in the process of freezing

D. Sc. V. D. BOGDANOV¹, A. A. SIMDIANKIN², I. A. SYTNIK³

¹bogdanovvd@dgtru.ru, ²And-sim@mail.ru, ³Ivan992222@mail.ru

Far Eastern State Technical Fisheries University

The implementation of the main task of cryonics, which consists in minimizing the negative consequences of the use of low temperatures, is not possible without the use of cryoprotectants — substances that prevent or slow down the growth of ice crystals during freezing. Sorbitol, glycerin, propylene glycol, mannitol, sucrose, raffinose, dimethyl sulfoxide, etc. are used as cryoprotectants. In this regard, the aim of the work is to study the effect of cryoprotectants on the cryoscopic temperature and the amount of frozen water in the process of freezing minced fish. The amount of water in the tissues of pollock before freezing was determined by the standard method — drying the sample in a cabinet at a temperature of 105 °C to constant weight. The cryoscopic temperature was determined by the thermographic method according to the formation of a thermostatic platform on the temperature change curve of the sample. The cryoscopic temperatures of minced fish containing various cryoprotectants were determined. The dependence curves of the amount of frozen water on the freezing temperature were analyzed. The results of the conducted studies substantiate the rationality of the study of composite cryoprotectors of the following composition: No. 1—1 % NaCl+2 % sorbitol+2 % mixture of cryoconcentrates «Mineral Corrective» (MNC); No. 2—1 % NaCl+2 % sorbitol+2 % milk cryoconcentrate; No. 3—1 % NaCl+3 % sorbitol+3 % mixture of cryoconcentrates «Mineral Corrective».

Keywords: freezing, freezing curves, cryoscopic temperature, frozen water, cryoprotectants.

Article info:

Received 22/11/2022, approved after reviewing 16/01/2023, accepted 26/01/2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-85-92

Article in Russian

For citation:

Bogdanov V. D., Simdiankin A. A., Sytnik I. A. The influence of cryoprotectors on the cryoscopic temperature and the amount of frozen-out water in the process of freezing. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2023. No 1. p. 85–92.

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-85-92

Введение

Одной из задач криоконсервирования водных биологических ресурсов является достижение высокой степени обратимости процесса холодильной обработки сырья, что обеспечивает высокое качество готовой продукции и минимальные производственные потери. Для ее решения используют криопротекторы, регулирующие процессы кристаллообразования и денатурации белков консервируемом сырье. Анализ зарубежной и отечественной литературы свидетельствует о научных достижениях в области криоконсервирования биологических объектов с высокой степенью их функциональной обратимости. Научные знания физических и химических процессов низкотемпературной обработки сырья и его последующего хранения, в настоящее время, находят практическое применение в криобиологии, биомедицине, косметологии, производстве фармацевтических и биофармацевтических препаратов [1]–[3]. Имеются отдельные научные работы по использованию криопротекторов в производстве продуктов питания из мяса, рыбы, молока, зерновых, овощей и фруктов [4]–[7].

Вместе с тем холодильная обработка — основной способ консервирования биологического сырья водного происхождения. В процессе ее осуществления вследствие фазового перехода воды в лед оказывается существенное физико-химическое воздействие на белковые структуры замораживаемого сырья. Происходят физические и химические изменения белков сырья, чем меньше их глубина, тем выше пищевая ценность продукта и его технологический выход. Поэтому сохранение нативных свойств белков, биологической активности отдельных компонентов в процессе технологического воздействия на сырье, важная научно-производственная задача, решение которой обеспечит высокое качество и объемы выпускаемой мороженой рыбной продукции.

В Дальрыбвтузе разработаны и внедрены в производство технологии сухих концентратов морепродуктов, которые содержат антифризные белки, каротиноиды, полисахариды, гликозиды и др. биологически активные вещества, проявляющие криозащитные свойства.

В этой связи, целью работы является исследование влияния криопротекторов на криоскопическую температуру и количество вымороженной воды, в процессе замораживания рыбного фарша.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся минтай. В качестве криопротекторов использовали: спирты (глицерин, сорбит) [8, 9], пектин [10], NaCl [11], сухой концентрат молока сельди, смесь сухих концентратов «минералокорректирующая» [12].

Замораживание производилось воздушным способом в морозильной камере, оборудованной холодильной установкой АМЕ-L-3x2EC2 на базе трех полугерметичных поршневых компрессоров 2EC-22-40С фирмы Bitzer. Температура подаваемого в камеру воздуха составляла $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость циркуляции — $3,5\text{ м/с}$.

Количество вымороженной воды рассчитывалось по формуле Д. Г. Рютова:

$$\omega = \left(1 - b \frac{1 - W}{W}\right) \left(1 - \frac{t_{\text{кр}}}{t}\right),$$

где W — общее содержание воды в продукте, кг/кг продукта; b — содержание связанной воды, кг/кг сухих веществ; $t_{\text{кр}}$ — криоскопическая температура продукта, $^{\circ}\text{C}$; t — температура, при которой ведется расчет, $^{\circ}\text{C}$. Для расчетов количество связанной воды в продуктах животного происхождения $b=0,27\text{ кг/кг}$ сухих веществ.

Количество воды в тканях минтай перед замораживанием определяли стандартным методом — высушиванием навески в шкафу при температуре $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы.

Криоскопическую температуру определяли термодинамическим способом, по формированию на кривые изменения температуры образца термостатической площадки [13].

Для статистической обработки экспериментальных данных и построения графиков с выводом формул использовали стандартный пакет программ Microsoft Office 2007 и CurveExpert 1.4.

Результаты исследования и их обсуждение

Свежевыловленный минтай обезглавливали, обесчкуривали и очищали от внутренностей. Далее удалялся позвоночник и кости, из полученного филе готовили фарш, используя мясорубку с диаметром решетки 3 мм.

На первом этапе исследовалась криозащитная способность различных материалов и веществ, при внесении их в рыбный фарш (минтай) перед его замораживанием. Использовались: смесь сухих криоконцентратов морепродуктов МНК, криоконцентрат молока сельди тихоокеанской, пектин, глицерин, сорбит, поваренная соль. Термограммы, характеризующие изменение температуры рыбного фарша во времени при использовании различных криопротекторов приведены на рис. 1.

Анализ кривых замораживания опытных образцов рыбного фарша с исследуемыми криопротекторами позволил определить их криоскопические температуры (рис. 2).

Как видно из данных рис. 2, все исследуемые криопротекторы снижают криоскопическую температуру

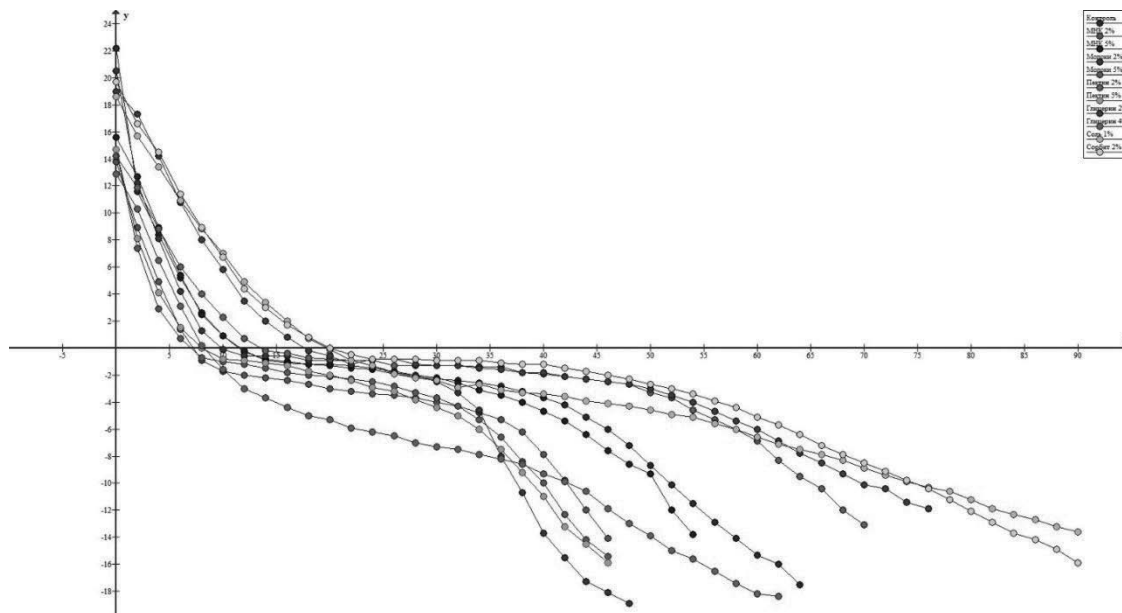


Рис. 1. Термограммы изменений температуры рыбного фарша во времени при использовании различных криопротекторов
 Fig. 1. Thermograms of temperature changes in minced fish over time during the collection of various cryoprotectants

по сравнению с контрольным образцом рыбного фарша. Самая низкая криоскопическая температура $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ у рыбного фарша, содержащего 4,0% глицерина. Известно, что глицерин проявляет высокие криозащитные свойства биоматериалов при сравнительно высоких концентрациях 10–5% [6, 11]. Что касается пищевых систем, то его применение ограничено 2%-ной концентрацией из-за сладкого вкуса, передающегося продукту [14]. При концентрации глицерина 2%, криоскопическая температура снижается до $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. В целом следует отметить, что использование отдельно взятых проникающих и непроникающих криопротекторов дает снижение криоскопической температуры рыбного фарша при замораживании до значений близких к $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Так применение 2% сорбита снижает криоскопическую температуру до $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а использование 5% пектина до $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Использование 5% разработанных нами сухих концентратов молот сельди и 5% минералокорректирующей композиции из сухих концентратов, показало снижение криоскопической температуры до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Как известно в процессах хранения рыбной продукции температура хранения является доминирующим фактором, определяющим скорость роста микроорганизмов [15]. Стремление увеличить срок хранения мышечной ткани рыб и избежать повреждений, вызываемых замораживанием, привело к появлению способа хранения рыбной продукции в переохлажденном виде [16]. Из научной литературы известно, что при вымораживании влаги до 40% мышечная ткань рыбы может полностью восстанавливаться. Что может, говорить о соответствии замороженной до такого состояния рыбы показателям охлажденной продукции [17]. В связи с этим, определим количество вымороженной воды для выбранных образцов, используемых в экспериментах.

Применив формулу Рютова рассчитаем количество вымороженной воды (рис. 3).

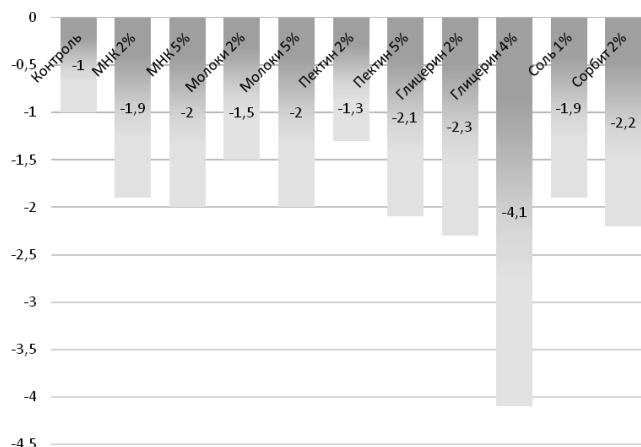


Рис. 2. Криоскопические температуры образцов рыбного фарша с различными криопротекторами
 Fig. 2. Cryoscopic temperatures of minced fish samples with various cryoprotectants

Анализ графиков, показанных на рис. 3, свидетельствует, что при использовании различных криопротекторов количество вымороженной воды при одинаковых режимах хранения значительно отличается. Например, при температуре замораживания $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рекомендуемая температура хранения рыбы [19]) наибольшее количество воды вымораживается в контрольном образце 90,4%. В то же время наименьшее количество вымороженной воды в образце с содержанием 4% глицерина — 78,5%. Опираясь на научные исследования, условно примем допустимую величину вымороженной воды, обеспечивающую первоначальное качество продукции равную 40% [17, 19, 20]. На рис. 4 видно, что при таком количестве вымороженной воды, для рыбного фарша с добавлением 5% минералокорректирующей композиции из сухих концентратов наступает, при температуре $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

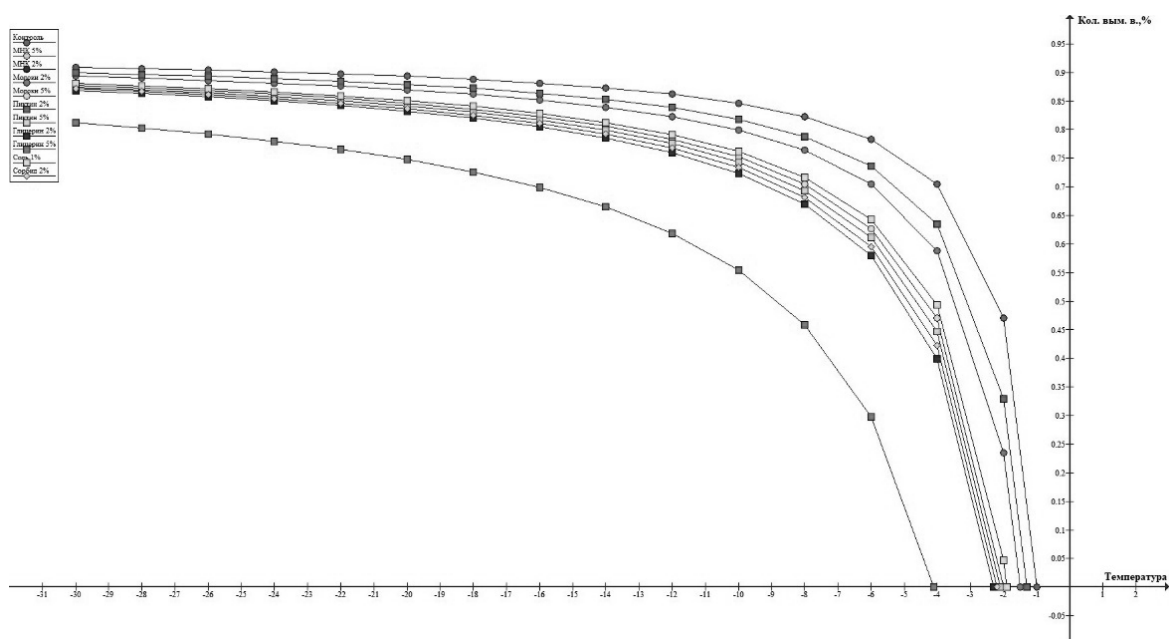


Рис. 3. Количество вымороженной воды в замороженных образцах рыбного фарша с различными криопротекторами
 Fig. 3. The amount of frozen water in frozen samples of minced fish with various cryoprotectants

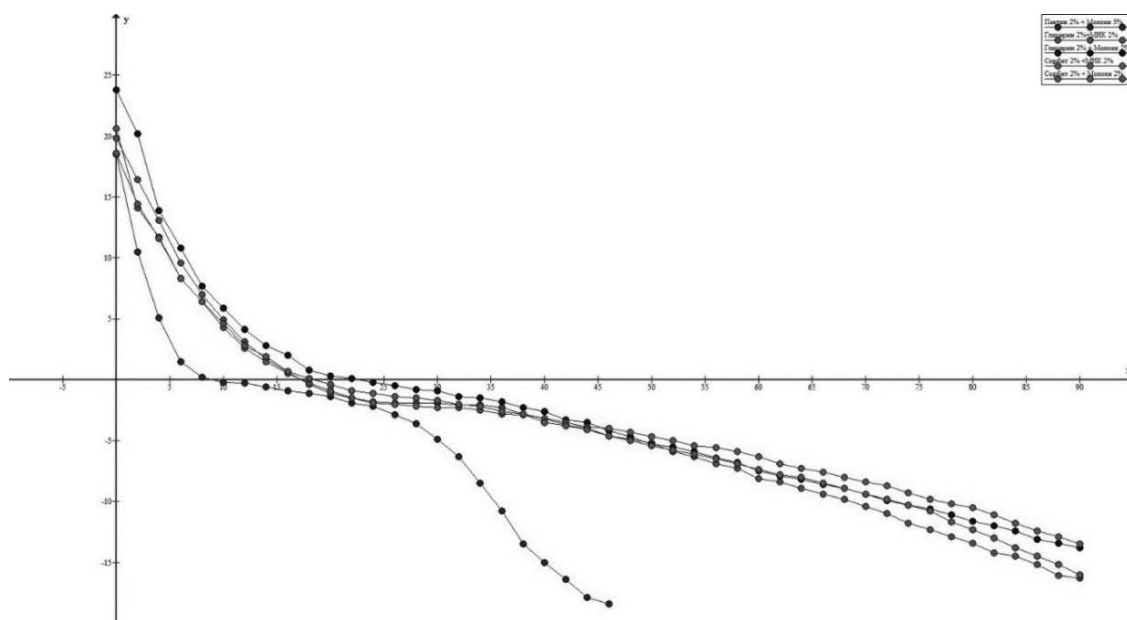


Рис. 4. Термограммы изменений температуры рыбного фарша во времени при использовании различных бинарных композитов криопротекторов

Fig. 4. Thermograms of changes in the temperature of minced fish over time when using various binary composites of cryoprotectants

При использовании в качестве криопротектора 5% пектина, 40% вымороженной воды наблюдается, при температуре $-3,8^{\circ}\text{C}$. В то же время у рыбного фарша, содержащего 4,0% глицерина, этот показатель достигается, при температуре $-7,3^{\circ}\text{C}$.

Снижение криоскопической температуры рыбного фарша при замораживании до диапазона значений от -2°C до $-2,3^{\circ}\text{C}$, является недостаточным. Поэтому многими исследователями рекомендуется для повышения эффективности криопротекторов использовать их в комбинациях из проникающих и непроникающих компонентов. Реализация такого подхода нашла отражение в использовании нами бинарных смесей эндоцеллюляр-

ных и экзоцеллюлярных композитов следующих составов: 2% глицерина+2% МНК; 2% глицерина+2% концентрата молока; 2% пектина+3% концентрата молока; 2% сорбита+2% МНК; 2% сорбита+2% концентрата молока.

На втором этапе исследовалась криозащитная способность различных материалов и веществ при внесении их в рыбный фарш (минтая) перед его замораживанием. Использовались: бикомпонентные смеси криопротекторов.

Термограммы, характеризующие изменение температуры рыбного фарша во времени при использовании различных биоконпонентных криопротекторов приведены на рис. 4.

Анализ кривых замораживания опытных образцов рыбного фарша с исследуемыми крипротекторами позволил определить их криоскопические температуры, которые приведены на рис. 5.

Как следует из данных рис. 5, совместное использование пектина и молока в количестве 2 и 3% соответственно не дает положительного результата по снижению криоскопической температуры рыбного фарша. Что касается других бинарных композиций, их применение сопровождается снижением криоскопической температуры образцов. Например, криоскопическая температура рыбного фарша, содержащего 2% глицерина и 2% концентрата молока сельди равна $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В то же время лучший криозащитный эффект получен у образца рыбного фарша, содержащего проникающий крипротектор сорбит 2% и непроникающие — МКН и концентрат молока также по 2%. Криоскопическая температура данного образца равна $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Применив формулу Рютова, рассчитаем количество вымороженной воды для замороженного рыбного фарша с добавлением бинарных крипротекторов и построим графики на рис. 6.

Анализируя графики на рис. 6 видим, что при температуре $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ наибольшее количество воды вымораживается в образце с использованием пектина 2% и молока в количестве 3–87,5%. Наименьшее количество вымороженной воды при тех же условиях равно 81,6% в образце с содержанием сорбита 2% и минералокорректирующей добавки в количестве 2%. При использовании в качестве крипротектора смеси из 2% глицерина и 2% молока, 40% вымороженной воды наблюдается, при температуре $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У рыбного фарша, содержащего сорбит 2% и минералокорректирующую добавку в количестве 2%, этот показатель достигается, при температуре $-5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В продолжение наших работ по созданию эффективных крипротекторов предложено включить в ком-

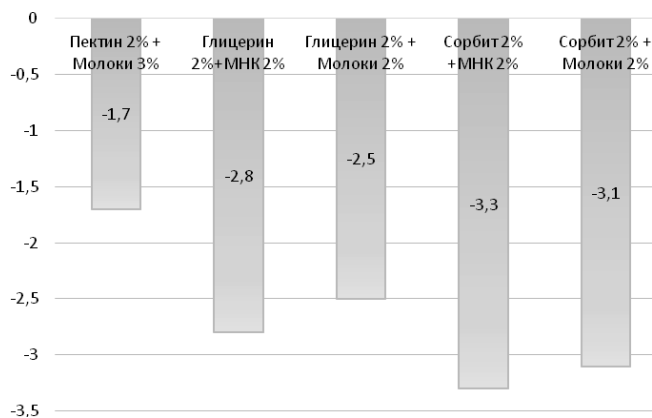


Рис. 5. Криоскопические температуры образцов рыбного фарша с различными бинарными крипротекторами

Fig. 5. Cryoscopic temperatures of minced fish samples with various binary cryoprotectants

позиции лучших бинарных смесей проникающий минерал NaCl, а также испытать дополнительные композиции с увеличенным на 1% содержанием сорбита, МКН и концентрата молока.

Термограммы замораживания, характеризующие изменение температуры рыбного фарша во времени при использовании трехкомпонентных крипротекторов, приведены на рис. 7.

Анализ кривых замораживания опытных образцов рыбного фарша с исследуемыми крипротекторами позволил определить их криоскопические температуры, которые приведены на рис. 8.

Приведенные на рис. 8 данные свидетельствуют о возможно высокой криозащитной способности исследованных композиционных крипротекторов, так как они обладают способностью существенного снижения криоскопической температуры рыбного фарша при его замораживании. Стоит отметить, что увеличение кон-

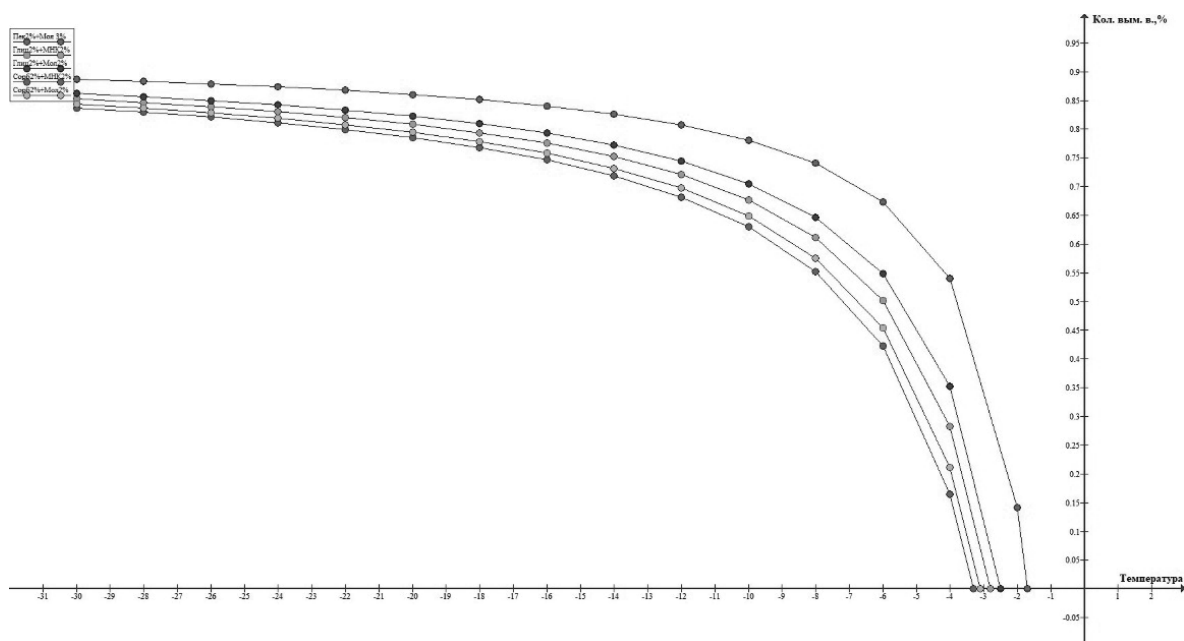


Рис. 6. Количество вымороженной воды в замороженных образцах рыбного фарша с различными крипротекторами

Fig. 6. The amount of frozen water in frozen samples of minced fish with various cryoprotectants

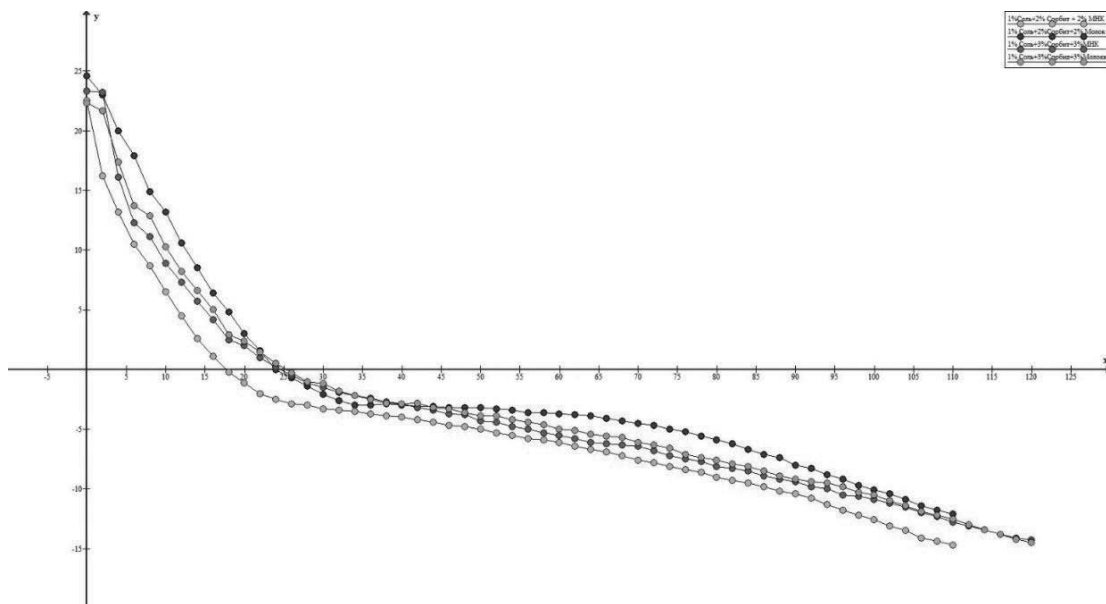


Рис. 7. Термограммы замораживания рыбного фарша при использовании различных композиций криопротекторов
 Fig. 7. Thermograms of minced fish freezing using various compositions of cryoprotectants

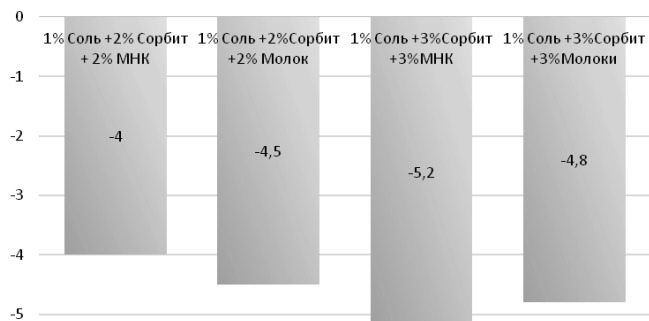


Рис. 8. Криоскопические температуры образцов рыбного фарша с трехкомпонентными криопротекторами
 Fig. 8. Cryoscopic temperatures of minced fish samples with three-component cryoprotectants

центрации до 3 % сорбита и МНК дает существенный положительный эффект по снижению криоскопической температуры — на 1,2 °С, чего не скажешь относительно подобного увеличения для сорбита и концентрата молока.

Применив формулу Рютова, рассчитаем количество вымороженной воды для замороженного рыбного фарша с добавлением бинарных криопротекторов и построим графики на рис. 9.

Анализируя графики на рис. 9, видим, что при температуре -25°C наибольшее количество воды вымораживается в образце с использованием NaCl (1%), сорбита 2% и минералокорректирующей добавки в количестве 2 — 79,0%. Наименьшее количество вымороженной воды 74,5% наблюдается в образце с содержанием

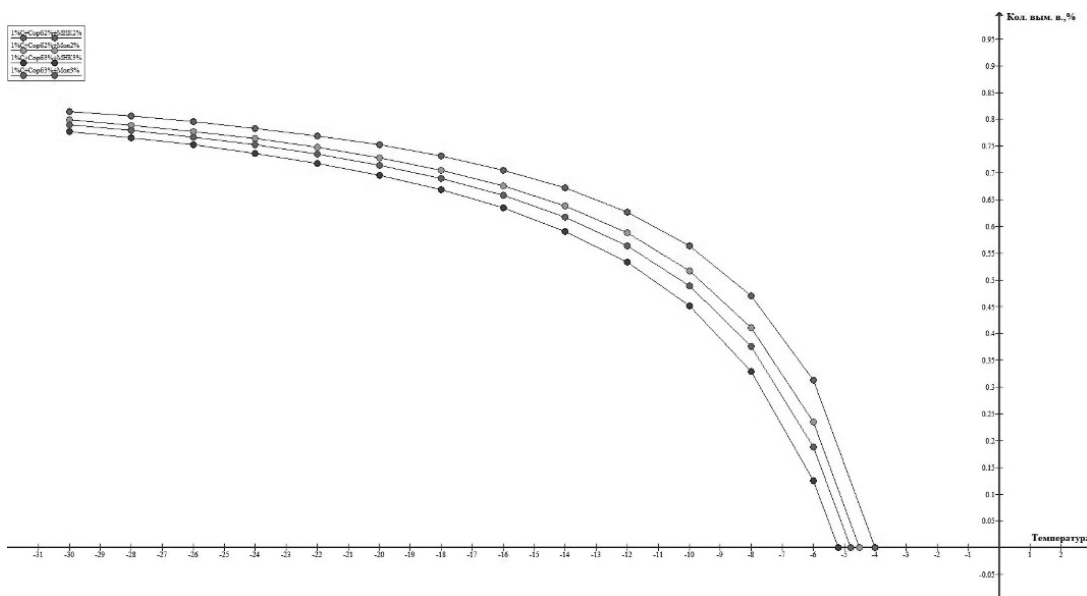


Рис. 9. Количество вымороженной воды в замороженных образцах рыбного фарша с трехкомпонентными криопротекторами
 Fig. 9. The amount of frozen water in frozen samples of minced fish with three-component cryoprotectants

NaCl 1 %, сорбита 3 % и минералокорректирующей добавки в количестве 3 %. Выбранный нами базовый показатель количества вымороженной воды в размере 40 % достигается образцом с использованием NaCl 1 %, сорбита 2 % и минералокорректирующей добавки в количестве 2 % при температуре $-7,1$ °C. Рыбный фарш с добавлением NaCl 1 %, сорбита 2 % и концентрата молока сельди в количестве 2 % имеет этот показатель при температуре $-7,8$ °C. Использование в качестве криопротектора из смеси NaCl 1 %, сорбита 3 % и концентрата молока сельди в количестве 3 %, позволяет обеспечить 40 % вымороженной воды, при температура $-8,4$ °C. Наилучшими криозащитными свойствами обладает трехкомпонентная смесь из NaCl 1 %, сорбита 2 % и минералокорректирующей добавки в количестве 2 % позволяющая хранить образец в переохлажденном виде при температуре $-9,2$ °C.

Литература

1. *Борода А. В.* Влияние экзогенных липидов и антиоксидантов на выживаемость и функциональную активность клеток личинок моллюсков и иглокожих после криоконсервации: автореф. диссертации на соискание ученой степени канд. биол. наук. Владивосток, 2010. 24 с.
2. *Enrique Dupré Javiera Carvajal.* Cryopreservation of embryos and larvae of the edible sea urchin *Loxechinus albus* // *Cryobiology*. 2019. Vol. 86. P. 84–88.
3. *Одинцова Н. А., Борода А. В.* Криосохранение клеток и личинок морских гидробионтов // *Биология моря*. 2012. Т. 38. № 2. С. 93–103.
4. *Касьянов Г. И., Связин И. Е., Мьякинникова Е. И.* Криоконсервирование и обработка плодов криопротектором под пониженным и избыточным давлением // *Холодильная техника*. 2013. № 8. С. 50–51.
5. *Касьянов Г. И., Связин И. Е.* Реологические характеристики криолабильных растительных продуктов // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. № 2. С. 59–61.
6. *Игонина Т. Н., Брусенцев Е. Ю., Рожкова И. Н., Напримиров В. А., Амтиславский С. Я.* Сравнение различных сочетаний криопротекторов и методов оттаивания при криоконсервации эмбрионов мышей и крыс // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015. № 19 (4). С. 378–382. DOI 10.18699/VJ15.047.
7. *Кейнз Н. В.* Использование криопротекторов в хлебопекарной отрасли // *Научный журнал КубГАУ*. 2015. № 105 (01). С. 1–15.
8. *Конов К. Б.* Исследование методами эпр воздействия криопротекторов сахарозы, трегалозы, глицерина и сорбита на структуру и динамику модельной липидной мембраны. Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Казань, 2016. 21 с.
9. *Полезжаева Т. В.* Комбинированные криоконсерванты в сохранении функций лейкоцитов: автореф. диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Санкт-Петербург, 2013. 39 с.
10. *Касьянов Г. И., Связин И. Е.* Реологические характеристики криолабильных растительных продуктов // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. № 2. С. 59–61.
11. *Костяев А. А., Утёмов С. В., Андреев А. А. и др.* *Анналы криобиологии. Классификации криопротекторов и крио-*

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований обосновывают рациональность дальнейшего исследования композиционных криопротекторов следующего состава: № 1 — 1 % NaCl+2 % сорбита+2 % смеси криоконцентратов «Минералокорректирующая»; № 2 — 1 % NaCl+2 % сорбита+2 % криоконцентрата молока; № 3 — 1 % NaCl+3 % сорбита+3 % смеси криоконцентратов «Минералокорректирующая». При этом следует учитывать, что данные криопротекторы содержат криоконцентраты морепродуктов, которые имеют уникальный химический состав, позволяющий их использовать в качестве биокорректоров, обогатителей функциональных продуктов питания [12].

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Boroda A. V. Influence of exogenous lipids and antioxidants on the survival and functional activity of mollusk and echinoderm larvae cells after cryopreservation: Ph. D. dissertations for the degree of Candidate of Biological Sciences. Vladivostok, 2010. 24 p. (in Russian)
2. Enrique Dupré Javiera Carvajal. Cryopreservation of embryos and larvae of the edible sea urchin *Loxechinus albus*. *Cryobiology*. 2019. Vol. 86. P. 84–88.
3. Odintsova N. A., Boroda A. V. Cryopreservation of cells and larvae of marine hydrobionts. *Biology of the sea*. 2012. V. 38. no 2. P. 93–103. (in Russian)
4. Kasyanov G. I., Svyazin I. E., Myakinnikova E. I. Cryopreservation and treatment of fruits with a cryoprotector under reduced and overpressure. *Refrigeration technology*. 2013. no 8. P. 50–51. (in Russian)
5. Kasyanov G. I., Svyazin I. E. Rheological characteristics of cryolabile plant products. Reports of the Russian *Academy of Agricultural Sciences*. 2013. no 2. p. 59–61. (in Russian)
6. Igonina T. N., Brusentsev E. Yu., Rozhkova I. N., For exampleov V. A., Amstislavsky S. Ya. Comparison of various combinations of cryoprotectants and thawing methods for cryopreservation of mouse and rat embryos. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015. No 19 (4). P. 378–382. DOI 10.18699/VJ15.047. (in Russian)
7. Keynes N. V. The use of cryoprotectants in the baking industry. *Scientific journal of KubGAU*. 2015. No 105 (01). P. 1–15. (in Russian)
8. Konov K. B. Investigation by methods of the effect of cryoprotectants sucrose, trehalose, glycerin and sorbitol on the structure and dynamics of a model lipid membrane. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. Kazan, 2016. 21 p. (in Russian)
9. Polezhaeva T. M. Combined cryoconservatives in the preservation of leukocyte functions: abstract of the dissertation for the degree of doctor of biological sciences. 2013. 39 p. (in Russian)
10. Kasyanov G. I., Syazin I. E. Rheological characteristics of cryolabile plant products. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2013. No 2. P. 59–61. (in Russian)
11. Kostyaev A. A., Utemov S. V., Andreev A. A. et al. *Annals of cryobiology. Classifications of cryoprotectors and cryoconser-*

- консервантов для клеток крови и костного мозга // Вестник гематологии. 2016. Т. XII. № 3. С. 23–27.
12. Bogdanov V. D., Simdiankin, A. A., Pankina, A. V., Mostovoy V. D. New functional formulations for dry seafood concentrates and their properties // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020. Vol. 50 (4). P. 707–716.
 13. James C., Hanser P., James S. J. Super-cooling phenomena in fruits, vegetables and seafoods // *11th International Congress on Engineering and Food*. Athens.: Greece. 2011. P. 22–26.
 14. Семенова А. А., Беретов Л. А., Холодов Ф. В. Влияние пищевых криопротекторов на мясное сырье. // *Мясные технологии*. 2009. № 8. С. 46–49.
 15. Bogh-Sorensen L. Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. 4th Edition. International Institute of Refrigeration. Paris: IIF-IIR. 2006. 218 p.
 16. Duun A. S., Rustad T. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets // *Food Chemistry*. 2007. vol. 105. no 3. P. 1067–1075.
 17. Stevik A. M., Duun A. S., Rustad T., O'Farrell M., Schulerud H., Ottestad S. Ice fraction assessment by near-infrared spectroscopy enhancing automated superchilling process lines // *J. of Food Engineering*. 2010. vol. 100. no 1. P. 169–177.
 18. Стефановский В. М., Горбатова И. А., Румянцев М. Б. Рекомендации международного института холода по производству и хранению замороженных пищевых продуктов. // *Холодильная техника*. 2015. № 12. С. 49–55.
 19. Дибирасулаев М. А., Белоzerov Г. А., Архипов Л. О., Дибирасулаев Д. М., Донецких А. Г. К разработке научно обоснованных режимов холодильного хранения мяса различных качественных групп при субкриоскопических температурах // *Птица и птицепродукты*. 2017. № 1. С. 29–32.
 20. Харенко Е. Н., Архипов Л. О., Яричевская Н. Н. Установление функциональной зависимости количества вымороженной воды от индивидуальных криоскопических температур рыбы. // *Труды ВНИРО*. 2019. Т. 176. С. 81–94.
 21. vatives for blood cells and bone marrow. *Bulletin of Hematology*. 2016. vol. XII. no 3. P. 23–27. (in Russian)
 22. Bogdanov V. D., Simdiankin, A. A., Pankina, A. V., Mostovoy V. D. New functional formulations for dry seafood concentrates and their properties. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020. Vol. 50 (4). P. 707–716.
 23. James C., Hanser P., James S. J. 2011. Super-cooling phenomena in fruits, vegetables and seafoods. *11th International Congress on Engineering and Food*. Athens.: Greece. P. 22–26.
 24. Semenova A. A., Beretov L. A., Kholodov F. V. Influence of food cryoprotectors on meat raw materials. *Meat technologies*. 2009. no 8. P. 46–49. (in Russian)
 25. Bogh-Sorensen L. Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. 4th Edition. International Institute of Refrigeration. Paris: IIF-IIR. 2006. 218 p.
 26. Duun A. S., Rustad T. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Food Chemistry*. 2007. vol. 105. no 3. P. 1067–1075.
 27. Stevik A. M., Duun A. S., Rustad T., O'Farrell M., Schulerud H., Ottestad S. Ice fraction assessment by near-infrared spectroscopy enhancing automated superchilling process lines. *J. of Food Engineering*. 2010. vol. 100. no 1. P. 169–177.
 28. Stefanovsky V. M., Gorbatova I. A., Rumyantsev M. B. Recommendations of the International Institute of Refrigeration for the production and storage of frozen foods. *Refrigeration technology*. 2015. no 12. p. 49–55. (in Russian)
 29. Dibirasulaev M. A., Belozero G. A., Arkhipov L. O., Dibirasulaev D. M., Donetskiikh A. G. On the development of evidence-based regimes for the refrigeration storage of meat of various quality groups at subcryoscopic temperatures. *Poultry and poultry products*. 2017. no 1. p. 29–32. (in Russian)
 30. Kharenko E. N., Arkhipov L. O., Yarichevskaya N. N. Establishment of the functional dependence of the amount of frozen water on the individual cryoscopic temperatures of fish. *Proceedings of VNIRO*. 2019. V. 176. P. 81–94. (in Russian)

Сведения об авторах

Богданов Валерий Дмитриевич

Д. т. н., профессор кафедры «Технологии продуктов питания», Дальневосточный рыбохозяйственный технический университет, 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 Б, bogdanovvd@dgtru.ru.
ORCID ID 0000-0002-0913-780X

Симдянкин Андрей Андреевич

Ст. преподаватель кафедры «Холодильная техника, кондиционирование и теплотехника», Дальневосточный рыбохозяйственный технический университет, 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 Б, And-sim@mail.ru. ORCID ID 0000-0001-7242-5356

Сытник Иван Анатольевич

Аспирант кафедры «Технологии продуктов питания», ФГБОУ ВО «Дальневосточный рыбохозяйственный технический университет», 690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 Б, Ivan992222@mail.ru.
ORCID ID 0000-0003-1499-0634

Information about authors

Bogdanov Valery D.

D. Sc., Professor, Professor of the Department of Food technology, Far Eastern Fisheries Technical University, 690087, Primorsky Territory, Vladivostok, st. Lugovaya, 52 B, bogdanovvd@dgtru.ru.
ORCID ID 0000-0002-0913-780X

Simdiankin Andrei A.

Senior Lecturer of the Department of Refrigeration, air conditioning and heating engineer, Far Eastern Fisheries Technical University, 690087, Primorsky Territory, Vladivostok, st. Lugovaya, 52 B, And-sim@mail.ru.
ORCID ID 0000-0001-7242-5356

Sytnik Ivan A.

Postgraduate Student of the Department of Food Technology, Far Eastern Fisheries Technical University, 690087, Primorsky Territory, Vladivostok, st. Lugovaya, 52 B, Ivan992222@mail.ru.
ORCID ID 0000-0003-1499-0634

