

УДК 664.8/.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯГОД ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ В ХОДЕ ОБРАБОТКИ ЖИДКИМ АЗОТОМ

© *М.С. Воронина**, *Н.В. Макарова*, *Д.Ф. Игнатова*, *А.Н. Гуляева*, *Т.С. Голубева*, *В.Г. Каткасова*,
А.А. Бабенкова

*Самарский государственный технический университет,
ул. Галактионовская, 141, Самара, 443010 (Россия),
e-mail: marianna419@rambler.ru*

В данной статье представлены некоторые аспекты, касающиеся замораживания ягоды черной смородины с использованием жидкого азота: продолжительность процесса, анализ замороженных и оттаявших ягод, изменение физико-химических показателей и химического состава, преимущества и недостатки этого современного метода. Быстрое замораживание пищевых продуктов в криогенной морозильной камере заключается в использовании скрытой теплоты испарения жидкого азота, а также ощутимого тепла паров, температура которых повышается до конечной температуры замороженного продукта. Учитывая требования по снижению расхода топлива, необходимого для выработки электроэнергии для классических холодильных систем, в этом способе используется замораживание жидкого азота, полученного в качестве вторичного продукта при производстве кислорода. Черная смородина является одним из наиболее ценных и доступных источников высокого содержания витаминов и биологически активных полифенолов. В списке традиционных ягодных растений эта культура занимает одно из лидирующих положений по содержанию питательных и биологически активных веществ, необходимых для сбалансированного питания человека. Современные стандарты, предъявляемые к сортам черной смородины, обязательно включают определенные требования и к качеству ягод, в том числе к их биологическому составу.

Ключевые слова: ягоды, жидкий азот, антиоксиданты, антирадикальная активность, водно-спиртовой экстракт, спектрофотометр.

Работа выполнена в рамках государственного задания на фундаментальные исследования Самарского государственного технического университета № 0778-2020-0005.

Введение

Дефицит витаминов и минералов в настоящее время – наиболее распространенное и вместе с тем наиболее вредное отклонение питания от рациональных физиологически обоснованных норм. Являясь натуральным

Воронина Марианна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент Высшей биотехнологической школы, e-mail: marianna419@rambler.ru

Макарова Надежда Викторовна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии и организации общественного питания, e-mail: makarovnv1969@yandex.ru

Игнатова Динара Фанисовна – кандидат технических наук, доцент Высшей биотехнологической школы, e-mail: dinara-bakieva@mail.ru

Гуляева Алена Николаевна – ведущий инженер Высшей биотехнологической школы, e-mail: nikol163@bk.ru

Голубева Татьяна Сергеевна – студент, e-mail: tanchesssko15@yandex.ru

Каткасова Виктория Геннадьевна – студент, e-mail: vikakatkasova@gmail.com

Бабенкова Алина Арсеньевна – студент, e-mail: aln.babenkova@gmail.com

концентратом биологически активных веществ, ягоды проявляют физиологически активные свойства после попадания в организм человека и оказывают влияние на его метаболизм и жизнедеятельность. Черная смородина – это одно из ценнейших витаминосодержащих растений. Объясняется выдающаяся ценность ягод черной смородины тем, что витамины С и Р, содержащиеся в них в большом количестве, взаимно усиливают полезные для здоровья эффекты витаминов и минералов.

Замораживание – один из самых простых и распространенных способов сохранения продуктов с высоким содержанием влаги. Замороженные ягоды могут храниться много месяцев, поскольку

* Автор, с которым следует вести переписку.

влаги в них превратилась в твердое вещество. Снижение температуры и обезвоживание во время перехода влаги, содержащейся в ягодах, в твердое состояние создает неблагоприятные условия для развития биохимических реакций в замороженном объекте и их скорость резко замедляется. Образование кристаллов льда вместе с замерзанием влагосодержащего объекта приводит к нарушению структуры межклеточных стенок. Нарушение структуры межклеточных стенок продукта вызвано как механическими, так и осмотическими факторами. Кристаллы льда, образовавшиеся вне ячеек, деформируются и разрушают мембраны, увеличиваясь в размерах в процессе замораживания. Более того, рост кристаллов льда в межклеточном пространстве приводит к диффузии клеточной влаги через мембраны и обезвоживание клетки. Интенсивность и характер преобразований в замораживаемом продукте зависит от условий и параметров процесса и качественных характеристик объекта низкотемпературной обработки. Интенсификация теплоотвода в процессе замораживания сопровождается увеличением количества зародышей кристаллизации, что, в свою очередь, способствует образованию микрокристаллической структуры. Чем интенсивнее происходит процесс теплоотвода, тем меньше будут кристаллы в замороженном продукте. В этом случае кристаллическая структура будет однородной и кристаллы льда сформируются как в межклеточном пространстве, так и в самих клетках. Отвод тепла при заморозке ягод можно усилить либо за счет понижения температуры теплоотводящей среды, либо ускоряя ее скорость. В первом случае увеличение теплоотвода будет иметь обширный характер из-за большой разницы температур между объектом низкотемпературной обработки и средой. Во втором случае увеличение тепла вывод будет носить интенсивный характер из-за большого коэффициента теплоотдачи между замораживаемым объектом и хладагентом. Интенсификация теплообмена при замораживании ягод сопровождается ростом энергозатрат как в первом, так и во втором случаях. Чтобы усилить отвод тепла в процессах настоящей заморозки ягод, используется совокупный эффект двух вышеперечисленных способов. Важным вопросом при разработке технологии низкотемпературной обработки является энергетический компонент в себестоимости готовой свежемороженой продукции. По этой причине соотношение тепловых и конвективных факторов является основополагающим элементом оптимизации энергопотребления в процессе обработки ягод жидким азотом.

Процесс замораживания ягод – современное средство для наилучшего сохранения питательных и органолептических свойств большого количества пищевых продуктов, обеспечивающих лучшее качество и долгосрочную сохранность по сравнению с продуктами системы сжатия пара. При использовании криогенных систем можно избежать больших инвестиций, необходимых для компрессионной холодильной системы, если используется только сжиженная криогенная жидкость время от времени.

Быстрая заморозка продуктов в криогенной морозильной камере заключается в использовании скрытой теплоты испарения жидкого азота, а также ощутимого тепла паров, температура которых повышается до конечной температуры замороженного продукта; способ имеет основное преимущество большого увеличения коэффициента теплопередачи внутри продукта, подлежащего замораживанию.

Замораживание – это процесс, при котором большая часть внутриклеточной жидкости из тканей продукта (капиллярные сосуды, межклеточные пространства) превращается в лед. Температура кристаллизации воды колеблется в пределах $-1 \dots -5$ °С, при которой 60–75% содержания воды превращается в твердое вещество.

Процесс должен быть продолжен после этого путем охлаждения продукта до конечной температуры от -18 до -25 °С, при которой от 90 до 95% из-за спада содержания воды увеличивается содержание сухих веществ.

Явление переноса является сложным из-за изменения фазы затвердевающей воды и транспортных свойств продукта (теплопроводность, удельная теплоемкость и т.д.).

Основными преимуществами замораживания жидким азотом (используется в основном на таких дорогих продуктах, как рыбное филе, морепродукты, кондитерские изделия, ягоды, и т.д.) являются следующие:

- простая конструкция, небольшое требуемое пространство и легкая очистка;
- короткое время запуска и замораживания, передвижные морозильные камеры;
- снижение потерь веса;
- система может использоваться для различных пищевых продуктов без изменения;
- возможна полная автоматизация, размораживания не требуется (нет испарителя);
- из-за высокой температуры замерзания образующиеся кристаллы льда очень небольшие и они не повреждают клетки замороженных продуктов, таким образом, сохраняется первоначальный цвет и вкус.

Основным недостатком этого метода замораживания является высокая стоимость жидкого азота, но учитывая, что стоимость замораживания составляет только 13.3% от цены товара, можно не обращать внимания на этот недостаток [1–4].

Цель нашего исследования – изменение физико-химических показателей и химического состава, содержащихся в исследуемых ягодах черной смородины, подвергнутой обработкой жидким азотом. Также были поставлены следующие задачи: изучение химического состава и антиоксидантной активности ягод черной смородины, сравнение значения химического состава и физико-химических показателей ягод до обработки жидким азотом и после нее.

Экспериментальная часть

В научно-исследовательской работе были использованы следующие методы: определения общего содержания фенольных соединений; определения общего содержания флавоноидов и антоцианов; определения общего содержания сухих веществ по ГОСТ 33977-2016 и метод определения титруемой кислотности по ГОСТ ISO 750-2013.

Экспериментальным методом в ягодах черной смородины [5], прошедших обработку жидким азотом, были определены: общее содержание фенольных соединений, общее содержание флавоноидов, содержание антоцианов, антирадикальная активность и восстанавливающая сила по методу Frap, содержание сухих веществ, титруемая кислотность. Проводилось исследование экстрактов свежемороженых ягод черной смородины и ягод черной смородины после обработки жидким азотом [6]. Обработка жидким азотом проводилась с различной длительностью. Метод настаивания [7]: навески измельченных плодов ягод и ягодного пюре по 2 г (для экстракта концентрацией 0.1 г/см³) помещают в колбы с притертой пробкой, добавляют по 10 мл смеси дистиллированной воды и водного этилового спирта (модуль 1 : 1), выдерживают в термостате при 37 °С в течение 2 ч.

Исследования проводили в трех параллельных определениях, результаты количественного анализа антиоксидантов и антиоксидантной активности представлены в виде среднего результата с учетом стандартного отклонения.

Обсуждение результатов

1. Общее содержание фенольных веществ. Для определения использовали 0.25 мл водно-этанольного экстракта или стандарта галловой кислоты, 4 мл дистиллированной воды, 0.25 мл реактива Folin-Ciocalteu и 0.25 мл насыщенного водного раствора карбоната натрия [8]. Образцы встряхивались и выдерживались в темноте в течение 30 мин при комнатной температуре [9]. Содержание фенольных веществ в прозрачном растворе экстракта ягод определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре [10–13]. Спектр поглощения снимают при длине волны 725 нм в кювете с толщиной слоя жидкости 10 мм. В кювету сравнения помещают контрольную пробу. Результаты выражали в мг галловой кислоты/100 г исходного сырья (рис. 1).

Максимальное разрушение межклеточных стенок с освобождением большего количества фенольных соединений происходит в промежуток обработки жидким азотом от 5 до 10 мин. Дальнейшая обработка жидким азотом не способствует интенсивному росту освобожденных фенольных соединений из межклеточных стенок. Большое выделение фенольных веществ выявлено в ягодах черной смородины, прошедших 10-минутную обработку жидким азотом, дальнейшая обработка не ведет к увеличению содержания фенольных веществ. Так, содержание фенольных веществ в свежих ягодах составляет 196 мг галловой кислоты/100 г исходного сырья, 5 мин обработки жидким азотом – 210 мг галловой кислоты/100 г исходного сырья и 10 мин обработки жидким азотом – 355 мг галловой кислоты/100 г исходного сырья.

2. Общее содержание флавоноидов. Определение общего содержания флавоноидов в водно-этанольных экстрактах измеряли с использованием модифицированного метода [11–14]. В пробирки помещают 0.50 мл экстракта ягод концентрацией 0.1 мг/см³, 2.50 мл дистиллированной воды, 0.15 мл раствора 5%-ного нитрита натрия. Выдерживают в течение 5 мин при 20–25 °С. Затем приливают 0.30 мл 10%-ного хлорида алюминия (III), выдерживают в течение 5 мин при 20–25 °С. Содержание флавоноидов определяют спектрофотометрическим методом на спектрофотометре. Спектр поглощения снимают при длине волны 510 нм

в кювете с толщиной слоя жидкости 10 мм. В кювету сравнения помещают дистиллированную воду. Результаты выражали в мг катехина/100 г сырья (рис. 2).

Максимальное разрушение межклеточных стенок с освобождением большого количества флавоноидов происходит в процессе обработки жидким азотом не более 5 мин. Дальнейшая обработка жидким азотом способствует интенсивному разрушению флавоноидов. Количество флавоноидов по результатам исследования в ягодах, прошедших 5 мин, увеличивается (содержание в свежих ягодах – 35 мг катехина/100 г сырья) – 96 мг катехина/100 г сырья.

3. *Общее содержание антоцианов.* Определение общего содержания антоцианов, содержащихся в исследуемом экстракте, проводили путем измерения коэффициента поглощения двух различных рН (1.0 и 4.5) при 515 и 700 нм [11–13, 15]. Содержание антоцианов выражали в мг эквивалента цианидин-3-гликозида в 100 г сухого вещества (рис. 3).

Максимальное разрушение межклеточных стенок с освобождением большого количества антоцианов происходит в процессе обработки жидким азотом не более 5 мин. Дальнейшая обработка жидким азотом способствует интенсивному разрушению антоцианов. Количество антоцианов по результатам исследования в ягодах, прошедших 5 мин, увеличивается (содержание в свежих ягодах – 115 мг цианидин-3-гликозида/100 г исходного сырья) – 148 мг цианидин-3-гликозида/100 г исходного сырья.

4. *Антирадикальная активность.* Антиоксидантная активность образцов измерялась в соответствии с методом [16]. Аликвоты исследуемого экстракта (0.05; 0.10; 0.40; 0.80; 1.00 и 5.00 мл) растворяли в 100 мл дистиллированной воды. Затем к 2 мл каждого исследуемого раствора прибавляли 2 мл раствора DPPH при 20 °С и выдерживали в темноте в течение 30 мин [17]. В контрольную пробу по экстракту помещают вместо раствора DPPH дистиллированную воду. В контрольную пробу по раствору 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида приливают вместо экстракта дистиллированную воду [18]. Коэффициент пропускания определяли при длине волны 517 нм в кювете толщиной слоя жидкости 10 мм. Антиоксидантную активность выражали в виде концентрации исходного экстракта в мкг/мл, при котором наблюдалось связывание 50% радикалов [11–13, 19] (рис. 4).

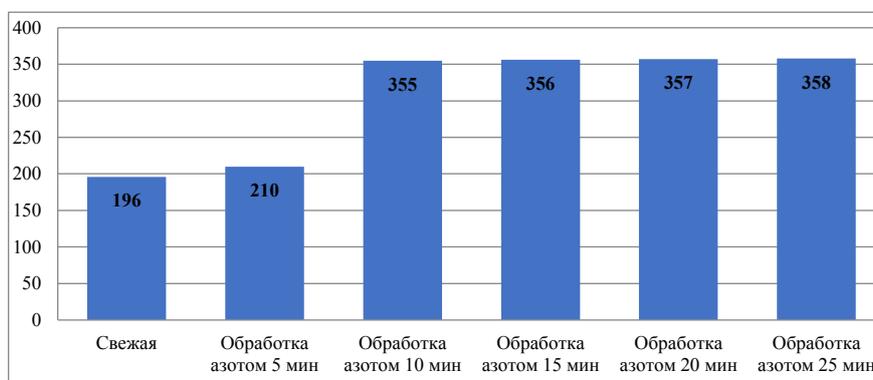


Рис. 1. Общее содержание фенольных веществ в ягодах черной смородины, мг галловой кислоты/100 г исходного сырья

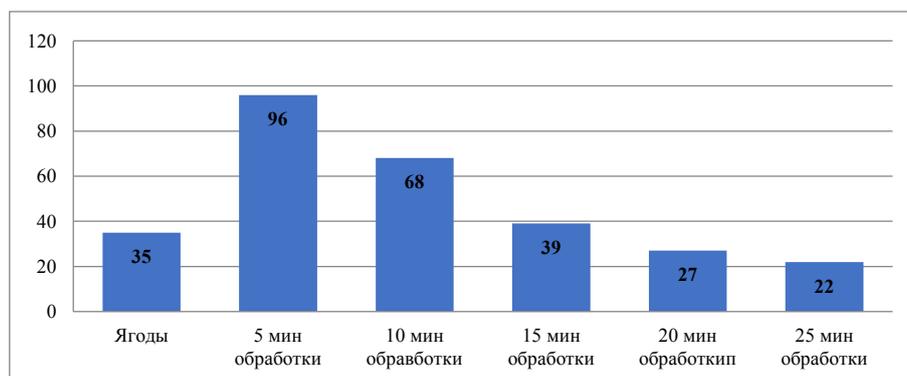


Рис. 2. Общее содержание флавоноидов в ягодах черной смородины, мг катехина/100 г сырья

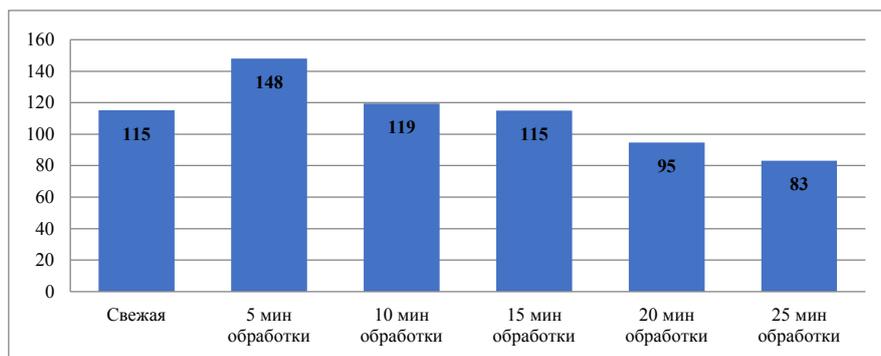


Рис. 3. Общее содержание антоцианов в ягодах черной смородины, мг цианидин-3-гликозида/100 г исходного сырья

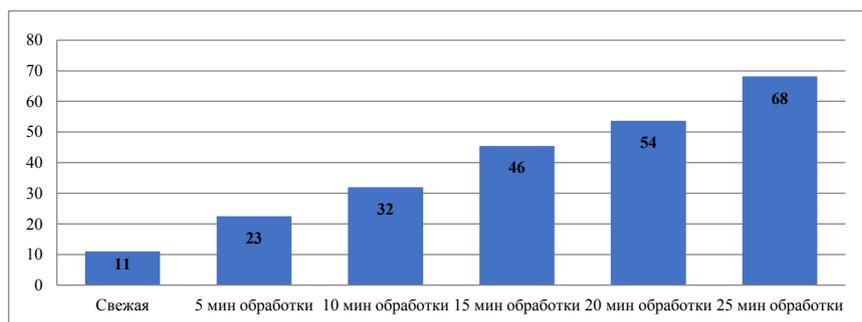


Рис. 4. Антирадикальная активность антиоксидантов в ягодах черной смородины, мкг/мл

Наибольшее значение антирадикальной активности наблюдается у ягод после 25 мин обработки жидким азотом – 68 мкг/мл, наименьшее значение антирадикальной активности замечено у свежих ягод – 11 мкг/мл.

5. *Восстанавливающая сила.* К анализируемому экстракту (0.10 мл) прибавляют 1.00 мл реактива FRAP, 3.00 мл дистиллированной воды. В контрольную пробу приливают вместо экстракта 0.10 мл дистиллированной воды. Смесь выдерживают 4 мин при температуре 37 °С. Определение железосвязывающей активности проводят спектрофотометрическим методом при длине волны 593 нм в кювете с толщиной слоя жидкости 10 мм. В кювету сравнения приливают дистиллированную воду. Определение восстанавливающей силы определяли по калибровочному графику и выражали в ммоль Fe^{2+} /1 кг исходного сырья [11–13, 20] (рис. 5).

Максимальный пик восстанавливающей силы по методу Frap выявлен в ягодах после 5 мин обработки жидким азотом. Дальнейшая обработка жидким азотом способствует интенсивному снижению восстанавливающей силы. Восстанавливающая сила исследуемых объектов заметно преобладает у ягод после 5-минутной обработки – 17 ммоль Fe^{2+} /1 кг исходного сырья, по сравнению со свежими ягодами – 14 ммоль Fe^{2+} /1 кг исходного сырья).

Результаты анализа физико-химических свойств ягод представлены в таблице.

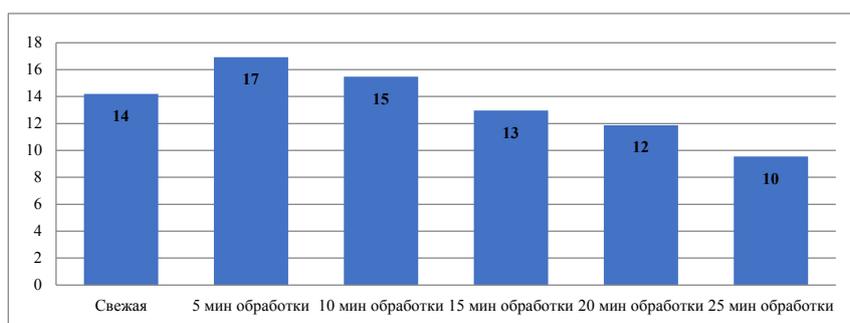


Рис. 5. Восстанавливающая сила антиоксидантов в ягодах черной смородины, ммоль Fe^{2+} /1 кг исходного сырья

Результаты исследования физико-химических показателей продуктов переработки черной смородины

Показатели	Объекты исследования					
	Ягоды свежие	5 мин обработки	10 мин обработки	15 мин обработки	20 мин обработки	25 мин обработки
Содержание растворимых сухих веществ, %	13.0	15.0	29.0	42.0	60.0	80.0
Титруемая кислотность, Н ⁺ /100 см ³	42.0	36.0	19.2	18.4	16.8	12.6

В результате исследования выявлено, что продолжительная обработка жидким азотом способствует увеличению содержания сухих веществ в объектах, обработанных жидким азотом, вследствие разрушения межклеточного пространства и высвобождения клеточного сока. Во время обработки жидким азотом в объектах снижается показатель титруемой кислотности.

Заключение

Таким образом, следует рекомендовать 5-минутную обработку ягод жидким азотом с целью увеличения выхода экстрактивных веществ в ходе разрушения межклеточных стенок, но при этом она не способствует разрушению основных антиоксидантных веществ и не снижается антиоксидантная активность. Это объясняется тем, что в технологии после обработки жидким азотом ягод предусмотрено механическое воздействие. Данная технология приводит к большому разрушению клеточных стенок и высокой экстрактивности сухих веществ. Однако более продолжительная обработка способствует разрушению большого количества антиоксидантов с последующим снижением антиоксидантной активности.

Сравнивая обработку ягод жидким азотом между собой, можно выделить объекты, обработанные 5 мин, значения показателей которого максимальны по сравнению с дальнейшими объектами обработки.

Список литературы

- Petrov A.N., Maslennikova G.A. Physical and chemical aspects of vacuum drying of berry raw materials // *Foods and Raw Materials*. 2016. Vol. 4. N1. Pp. 129–134. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-1-129-134.
- Kim B., Park Y., Wegner C.J., Bolling B.W., Lee J. Polyphenol-rich black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extract regulates the expression of genes critical for intestinal cholesterol flux in Caco-2 cells // *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2013. Vol. 24. Pp. 1564–1570. DOI: 10.1016/j.nutres.2013.03.001.
- McDougall G.J., Austin C., Van Schayk E., Salal M.P. Gaultheria shallon and aronia (*Aronia melanocarpa*) fruits from Orkney: Phenolic content, composition and effect of wine-making // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 205. Pp. 239–247. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.03.025.
- Kim J.H., Auger C., Kurita I., Anselm E., Rivoarilala L.O., Lee H.J., Lee K.W., Schini-Kerth V.B. Aronia melanocarpa juice, a rich source of polyphenols, induces endotheliumdependent relaxations in porcine coronary arteries via the redox-sensitive activation of endothelial nitric oxide synthase // *Nitric Oxide*. 2013. Vol. 35. Pp. 54–64. DOI: 10.1016/j.niox.2013.08.002.
- Xie L. Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes // *Food and Bioprocess Technology*. 2017. Vol. 102. Pp. 320–331. DOI: 10.1016/j.fbp.2017.01.012.
- Pap N., Jaakkola M., Pongracz E. The effect of pre-treatment on the anthocyanin and flavonol content of black currant juice (*Ribes nigrum* L.) in concentration by reverse osmosis // *Journal of food engineering*. 2010. Vol. 98. N4. Pp. 429–436. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.024.
- Plaza M., Domínguez-Rodríguez G., Castro-Puyana M., Marina M. Polyphenols analysis and related challenges. Elsevier, 2018. Pp. 177–232. DOI: 10.1016/B978-0-12-813572-3.00006-3.
- Cheigh C.I., Chung E.Y., Chung M.S. Enhanced extraction of flavanones hesperidin and narirutin from Citrus unshiu peel using subcritical water // *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 110. Pp. 472–477. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.12.019.
- Alessandro L.G., Kriaa K., Nikov I., Dimitrov K. Ultrasound assisted extraction of polyphenols from black chokeberry // *Separation and Purification Technology*. 2012. Vol. 93. Pp. 42–47. DOI: 10.1111/jfs.13404.
- Burgos-Edwards A. Colonic fermentation of polyphenols from Chilean currants (*Ribes* spp.) and its effect on antioxidant capacity and metabolic syndrome-associated enzymes // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 258. Pp. 144–155. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.053.
- Воронина М.С. Исследование химических характеристик продуктов и отходов переработки ягод черники и черной смородины // *Химия растительного сырья*. 2021. №1. С. 251–257.
- Макарова Н.В. Исследования химического состава и антиоксидантных свойств функциональных пищевых продуктов из торговой сети // *Вестник КамчатГТУ*. 2018. №44. С. 38–49.

13. Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов черноплодной рябины // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20. №3. С. 600–608.
14. Wu L.C., Hsu H.W., Chen Y.C., Chiu C.C., Lin Y.L., Annie Ho J.A. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya // Food Chemistry. 2009. Vol. 95. N5. Pp. 319–327. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002.
15. Rugina D., Sconța Z., Leopold L., Pintea A., Bunea A., Socaciu C. Antioxidant activities of chokeberry extracts and the cytotoxic action of their anthocyanin fraction on HeLa human cervical tumor cells // Journal of Medicinal Food. 2012. Vol. 15. N8. Pp. 700–706. DOI: 10.1089/jmf.2011.0246.
16. Orsavová J. Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes L.*) and gooseberry (*Ribes uva-crispa L.*) fruits // Food Chemistry. 2019. Vol. 284. Pp. 323–333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.
17. Gagnet M. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content // Powder Technology. 2019. Vol. 342. Pp. 1008–1015. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.
18. Isabelle M., Lee B.L., Lim M.T., Koh W.P., Huang D.j., Ong G.N. Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore // Food Chemistry. 2010. Vol. 120. N4. Pp. 993–1003. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.11.038.
19. Oszmianski J., Wojdyło A. Aronia melanocarpa phenolics and their antioxidant activity // European Food Research and Technology. 2005. Vol. 221. Pp. 809–813. DOI: 10.1007/s00217-005-0002-5.
20. Remini H. Recent Advances On Stability Of Anthocyanins // Veterinary Sanitary Expertise. 2018. Vol. 13. Pp. 257–286. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-4-257-286.

Поступила в редакцию 17 ноября 2021 г.

После переработки 28 февраля 2022 г.

Принята к публикации 8 мая 2022 г.

Для цитирования: Воронина М.С., Макарова Н.В., Игнатова Д.Ф., Гуляева А.Н., Голубева Т.С., Катасова В.Г., Бабенкова А.А. Исследование химических характеристик ягод черной смородины в ходе обработки жидким азотом // Химия растительного сырья. 2022. №3. С. 301–308. DOI: 10.14258/jcrpm.20220310572.

Voronina M.S.*, Makarova N.V., Ignatova D.F., Gulyaeva A.N., Golubeva T.S., Katkasova V.G., Babenkova A.A. STUDY OF CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BLACKCURRANT BERRIES DURING TREATMENT WITH LIQUID NITROGEN

Samara State Technical University, ul. Galaktionovskaya, 141, Samara, 443010 (Russia),
e-mail: marianna419@rambler.ru

This article presents some aspects related to the freezing of blackcurrant berries using liquid nitrogen: the duration of the process, the analysis of frozen and thawed berries, the change in physicochemical parameters and chemical composition, the advantages and disadvantages of this modern method. Fast freezing of food products in a cryogenic freezer is based on the use of the latent heat of vaporization of liquid nitrogen, as well as the sensible heat of vapors, the temperature of which rises to the final temperature of the frozen product. Given the requirement to reduce the fuel consumption required to generate the electricity needed for classical refrigeration systems, this method is used to freeze liquid nitrogen obtained as a by-product in the production of oxygen. Black currant is one of the most valuable and affordable sources of high content of vitamins and biologically active polyphenols. In the list of traditional berry plants, this crop occupies one of the leading positions in terms of the content of nutrients and biologically active substances necessary for a balanced human diet. Modern standards for blackcurrant varieties necessarily include certain requirements for the quality of berries, including their biological composition.

Keywords: berries, liquid nitrogen, antioxidants, antiradical activity, hydroalcoholic extract, spectrophotometer.

References

1. Petrov A.N., Maslennikova G.A. *Foods and Raw Materials*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 129–134. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-1-129-134.
2. Kim B., Park Y., Wegner C.J., Bolling B.W., Lee J. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2013, vol. 24, pp. 1564–1570. DOI: 10.1016/j.nutres.2013.03.001.
3. McDougall G.J., Austin C., Van Schayk E., Salal M.P. *Food Chemistry*, 2016, vol. 205, pp. 239–247. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.03.025.
4. Kim J.H., Auger C., Kurita I., Anselm E., Rivoarilala L.O., Lee H.J., Lee K.W., Schini-Kerth V.B. *Nitric Oxide*, 2013, vol. 35, pp. 54–64. DOI: 10.1016/j.niox.2013.08.002.
5. Xie L. *Food and Bioproducts Processing*, 2017, vol. 102, pp. 320–331. DOI: 10.1016/j.fbp.2017.01.012.
6. Pap N., Jaakkola M., Pongracz E. *Journal of food engineering*, 2010, vol. 98, no. 4, pp. 429–436. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.024.
7. Plaza M., Domínguez-Rodríguez G., Castro-Puyana M., Marina M. *Polyphenols analysis and related challenges*. Elsevier, 2018, pp. 177–232. DOI: 10.1016/B978-0-12-813572-3.00006-3.
8. Cheigh C.I., Chung E.Y., Chung M.S. *Journal of Food Engineering*, 2012, vol. 110, pp. 472–477. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.12.019.
9. Alessandro L.G., Kriaa K., Nikov I., Dimitrov K. *Separation and Purification Technology*, 2012, vol. 93, pp. 42–47. DOI: 10.1111/jfs.13404.
10. Burgos-Edwards A. *Food Chemistry*, 2018, vol. 258, pp. 144–155. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.053.
11. Voronina M.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 251–257. (in Russ.).
12. Makarova N.V. *Vestnik KamchatGTU*, 2018, no. 44, pp. 38–49. (in Russ.).
13. Yeremeyeva N.B. *Vestnik MGTU*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 600–608. (in Russ.).
14. Wu L.C., Hsu H.W., Chen Y.C., Chiu C.C., Lin Y.I., Annie Ho J.A. *Food Chemistry*, 2009, vol. 95, no. 5, pp. 319–327. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002.
15. Rugina D., Sconța Z., Leopold L., Pinteá A., Bunea A., Socaciu C. *Journal of Medicinal Food*, 2012, vol. 15, no. 8, pp. 700–706. DOI: 10.1089/jmf.2011.0246.
16. Orsavová J. *Food Chemistry*, 2019, vol. 284, pp. 323–333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.
17. Gagneten M. *Powder Technology*, 2019, vol. 342, pp. 1008–1015. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.
18. Isabelle M., Lee B.L., Lim M.T., Koh W.P., Huang D.j., Ong G.N. *Food Chemistry*, 2010, vol. 120, no. 4, pp. 993–1003. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.11.038
19. Oszmianski J., Wojdylo A. *European Food Research and Technology*, 2005, vol. 221, pp. 809–813. DOI: 10.1007/s00217-005-0002-5.
20. Remini H. *Veterinary Sanitary Expertise*, 2018, vol. 13, pp. 257–286. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-4-257-286.

Received November 17, 2021

Revised February 28, 2022

Accepted May 8, 2022

For citing: Voronina M.S., Makarova N.V., Ignatova D.F., Gulyaeva A.N., Golubeva T.S., Katkasova V.G., Babenkova A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 3, pp. 301–308. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220310572.

* Corresponding author.