

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s248>

УДК 664.85

Влияние ягодных композиций на антиоксидантные свойства при изготовлении и хранении многокомпонентных дробленых ягод без сахара

Л.П. Нилова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Корреспонденция:

Нилова Людмила Павловна, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
E-mail: nilova_l_p@mail.ru

Конфликт интересов:

автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 27.12.2024**Поступила после рецензирования:** 10.03.2025**Принята:** 30.03.2025**Copyright:** © 2025 Автор**АННОТАЦИЯ**

Введение. Среди фруктовых консервов только дробленые фрукты могут не подвергать увариванию, минимизируя термическую обработку, что способствует сохранению их антиоксидантных свойств. Ягоды клюквы в изготовлении дробленых ягод без сахара возможно использовать в комбинации с ягодами с более высоким содержанием сахаров.

Цель работы – изучить возможность использования ягод клюквы в ягодных композициях с черникой или голубикой для изготовления многокомпонентных дробленых ягод без сахара и их влияние на антиоксидантные свойства при изготовлении и хранении.

Материалы и методы. Для изготовления многокомпонентных дробленых ягод использовали дикорастущие ягоды клюквы, черники и голубики, которые термически обрабатывали 5 минут, разливали в стерильные банки и хранили в течение года в холодильных условиях. Контролем служили дробленые ягоды клюквы без сахара. В ягодах определяли содержание сахаров и титруемую кислотность, до и после изготовления дробленых ягод и в процессе хранения каждые 3 месяца – содержание флавоноидов, антоцианов, гидрооксикоричных кислот, витамин С и антиоксидантную активность методом FRAP.

Результаты. Многокомпонентные дробленые ягоды без сахара включали следующие композиции: клюква/черника (2:3) и клюква/голубика (1:1), что было определено на основании органолептической оценки и сахарокислотного индекса ягод. Изготовление консервов из дробленых ягод привело к потерям антиоксидантов на 25,9–40,5 %. Композиции дробленых ягод клюква/черника и клюква/голубика по сравнению с дробленой клюквой содержали больше флавоноидов на 14,1 и 15,9 %, антоцианов – на 37,9 и 30,1 %, гидрооксикоричных кислот – на 10,4 и 12,7 %, антиоксидантную активность – 10,4 и 6,2 %, соответственно. Холодильное хранение в течение года приводило к дальнейшей деградации антиоксидантов во всех видах дробленых ягод, составляя 16,9–31,0 % для фенольных антиоксидантов и до 50 % для витамина С. Основные потери произошли в первые 3 месяца хранения, а затем скорость их деградации стабилизировалась. В конце хранения антиоксидантные свойства многокомпонентных дробленых ягод превышали антиоксидантные свойства дробленых ягод клюквы.

Выводы. Для изготовления многокомпонентных дробленых ягод без сахара можно использовать ягоды клюквы в сочетании с черникой (2:3) или голубикой (1:1), что формирует их кисло-сладкий вкус и антиоксидантные свойства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

консервы; дробленые ягоды; клюква; черника; голубика; композиции ягод; биоактивные соединения; антиоксидантная активность; хранение



Для цитирования: Нилова, Л. П. (2025). Влияние состава ягод на антиоксидантные свойства при производстве и хранении многокомпонентных дробленых ягод без сахара. *Health, Food & Biotechnology*, 7(1), 42–54. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s248>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s248>

Effect of Berry Compositions on Antioxidant Properties During the Production and Storage of Multicomponent Crushed Berries without Sugar

Liudmila P. Nilova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Correspondence:

Liudmila P. Nilova,

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia
E-mail: nilova_l_p@mail.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 27.12.2024

Received in revised form: 10.03.2025

Accepted: 30.03.2025

Copyright: © 2025 The Author

ABSTRACT

Introduction. Among canned fruits, only crushed fruits may not be boiled, minimizing heat treatment, which helps to preserve their antioxidant properties. In the processing of crushed berries without sugar, cranberries can be used in combination with berries with a higher sugar content.

Purpose of the work is to study the possibility of using cranberries in berry compositions with bilberries or blueberries to produce multi-component crushed berries without sugar and their effect on antioxidant properties during production and storage.

Materials and Methods. Multicomponent crushed berries were made from wild cranberries, bilberries and blueberries, which were heat-treated for 5 minutes, poured into sterile jars and stored for a year in refrigeration conditions. Crushed cranberries without sugar served as a control. The sugar content and titratable acidity were determined in the berries, before and after the production of crushed berries and during storage every 3 months – the content of flavonoids, anthocyanins, hydroxycinnamic acids, vitamin C and antioxidant activity by the FRAP method.

Results. For the production of multi-component crushed berries without sugar, berry compositions of cranberry/bilberry (2:3) and cranberry/blueberry (1:1) were organoleptically selected based on the sugar-acid index of berries. After heat treatment, the antioxidants in the multi-component crushed berries decreased by 25.9–40.5 %, with the greatest loss of anthocyanins and vitamin C. After production, the multi-component crushed berries cranberry/bilberry and cranberry/blueberry, compared to crushed cranberries, contained more flavonoids by 14.1 and 15.9 %, anthocyanins by 37.9 and 30.1 %, hydroxycinnamic acids by 10.4 and 12.7 %, antioxidant activity by 10.4 and 6.2 %, respectively. Refrigerated storage for a year resulted in further degradation of antioxidants in all types of multicomponent crushed berries, which amounted to 16.9–31.0 % for phenolic antioxidants and up to 50 % for vitamin C. The main losses occurred in the first 3 months of storage, and then the rate of their degradation stabilized. At the end of storage, the antioxidant properties of multi-component crushed berries exceed the antioxidant properties of crushed cranberries.

Conclusions. Multi-component crushed berries without sugar can be produced from cranberries in combination with bilberries (2:3) or blueberries (1:1), which forms their sweet and sour taste and antioxidant properties.

KEYWORDS

canned food, crushed berries, cranberries, blueberries, bilberries, berry compositions, bioactive compounds, antioxidant activity, storage



To cite: Nilova, L. P. (2025). Effect of berry compositions on antioxidant properties during the production and storage of multicomponent crushed berries without sugar. *Health, Food & Biotechnology*, 7(1), 42-54. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s248>

ВВЕДЕНИЕ

Дисбаланс структуры питания, существующий в России на протяжении многих лет с преобладанием потребления сахара и недостатком потребления фруктов и овощей (Нилова, 2014; Тутельян, 2021), приводит к неполноценному обеспечению рациона питания низкомолекулярными антиоксидантами и, как следствие, развитию неинфекционных заболеваний (Тутельян et al, 2020; Кедринская et al, 2023). Ограниченность потребления фруктов и ягод связана с сезонностью их производства. Восполнить их потребление в межсезонье способны варенье, джемы, желе, производство которых за последние 5 лет выросло на 17,8 %¹.

Варенье, джемы, повидло и др., представляющие собой сахаристые фруктово-ягодные изделия, предлагаются потребителю в виде фруктовых консервов для непосредственного употребления или используются как компонент в составе мучных изделий и кисломолочных напитков (de Morais et al, 2024). В настоящее время эту продукцию изготавливают однокомпонентной или многокомпонентной не только из фруктов (Amakura et al, 2010; Diaconeasa et al, 2019; de Mello et al, 2022; Chen et al, 2023), но и овощей — морковь (оранжевая, желтая, фиолетовая) (Renna et al, 2013; Kamiloglu et al, 2015), красная свекла (Wang et al, 2020). Их антиоксидантные свойства зависят от состава продукта (вид фруктов, сахар, пектин) и технологии производства (температура и время обработки) (Queiroz et al, 2009; Amakura et al, 2010; Renna et al, 2013; Scrob et al, 2022; Chen et al, 2023). Комплекс антиоксидантов, содержащихся в сахаристых фруктово-ягодных изделиях, при их употреблении человеком, может способствовать защите от окислительного стресса. В эксперименте на лабораторных животных установлено, что ежевичный джем значительно снижает не только перекисное окисление липидов, но и содержание карбонильных белков в клетках мозга мышей, обработанных перекисями (de Mello et al, 2022).

В научной литературе накоплен достаточный опыт изучения антиоксидантных свойств сахаристых фруктово-ягодных изделий на примере джемов. По данным (Amakura et al, 2010) в джемах из 9 разных ягод содержание общих фенольных соединений (ОФС) варьировало от 30,24 до 85,35 мг/100 г, формируя ряд в зависимости от вида ягод: брусника > клюква > ежевика > красная смородина > черная смородина > клубника > восковица > малина > голубика. Потери ОФС при уваривании джемов до °Brix 55–65 были максимальными в джеме из восковицы (14,6 %). Для некоторых джемов, изготовленных из брусники, клюквы и ежевики, наоборот, количество

ОФС увеличилось за счет гидролиза гликозидных форм. При этом корреляция между ОФС и антирадикальной активностью (АРА) джемов по отношению к DPPH радикалу была установлена только для пяти видов джемов: из ежевики ($R = 0,9685$), черной смородины ($R = 0,9495$), клюквы ($R = 0,7231$) малины ($R = 0,6359$), голубики ($R = 0,5736$). Отсутствие зависимости количества ОФС и АРА (DPPH-тест) было подтверждено в исследовании (Манев et al, 2019) на примере джемов из облепихи. При уваривании джемов из облепихи (°Brix 84) количество ОФС уменьшилось более чем в 4 раза, а значения АРА увеличились в 7 раз по сравнению со свежими ягодами.

Разные ботанические сорта ягод одного вида, отличающиеся содержанием биоактивных соединений, формируют различные антиоксидантные свойства джемов при одинаковых условиях производства (Kovačević et al, 2015; Shinwari et al, 2018). Преобладание биоактивных соединений в одном виде сырья не означает, что антиоксидантные свойства получаемых джемов будут выше, чем джемов из другого сырья с более низким содержанием биоактивных соединений, если условия термической обработки были разные (Martinsen et al, 2020).

Сахар, как один из ингредиентов джемов, также способствует формированию антиоксидантных свойств продукции посредством участия в образовании промежуточных продуктов реакции Майяра (Velotto et al., 2023). Это подтверждают исследования Howard et al (Howard, et al, 2010), которые установили, что джемы из голубики с сахаром имели значения АРА (ORAC-тест) в 6 раз выше, чем джемы без сахара. Использование коричневого сахара повышает АРА джемов из киви в 3 раза, но не влияет на АРА джемов из клубники или брусники (Cervera-Chiner et al, 2021; Scrob et al, 2022). Замена сахара на сахарозаменители (сорбит) в джемах из черной моркови снижает АРА (ORAC-тест) на 20,0 % (Kamiloglu et al, 2015), так же как эритрит в брусничных джемах (ABTS-тест), а экстракт стевии наоборот повышает на 30 % (Scrob et al, 2022).

Традиционные процессы производства сахаристых фруктово-ягодных изделий включают различные виды тепловой обработки, такие как бланширование фруктов и концентрирование их с сахаром длительное время при высоких температурах, что приводит к потерям биоактивных соединений из-за их термической чувствительности (Iguar, et al, 2013; Renna et al, 2013; Kamiloglu et al, 2015; Nilova et al, 2020; Chen et al, 2023; Velotto et al., 2023). С другой стороны, может происходить разрушение связанных ОФС с увеличением свободной фракции и их участие в образовании продуктов реакции Майяра

¹ Рынок варенья, джемов, повидла в России в 2017–2024 гг. Цифры, тенденции, прогноз. URL: <https://tk-solutions.ru/russia-gynok-varenja-dzhema-povidla>

путем термической дегградации промежуточного продукта, такого как 4-винилгваякол (Velotto et al., 2023; Ding et al, 2024; Li et al, 2024).

Термическая обработка кипячением в течение 30 минут при изготовлении джемов из черной моркови снизила содержание ОФС (89,2–90,5%), фенольных кислот (49,5–96,7%) и значений АРА (АВТS-тест) (83,3–91,3%) (Kamiloglu, et al, 2015). Снижение температуры до +80 °С увеличило продолжительность обработки до 40 минут при изготовлении черничного джема, в результате количество ОФС снизилось на 42–51%, антоцианов – на 81%, значений АОА (FRAP-тест) – на 36–47% (Poiana et al, 2012). Сокращение времени термической обработки до 15 минут при изготовлении джемов из моркови разной окраски уменьшила потери ОФС до 46–56%, значений АРА (DPPH-тест) до 36% (Renna et al, 2013).

Наиболее существенные потери биоактивных соединений при изготовлении джемов характерны для антоцианов, которые могут достигать до 80% в зависимости от условий термической обработки и вида фруктово-ягодного сырья (Mendelová et al, 2013; Cordeiro. et al, 2021; Enaru et al, 2021). По мнению Jiménez et al (Jiménez et al, 2020) стабильность антоцианов при высоких температурах связана со снижением активности воды. Максимальная дегградация антоцианов происходит при $a_w=0.76$. Более длительное уваривание джемов в течение 25 минут, приводящее к возрастанию °Brix до 80, увеличивало дегградацию антоцианов практически в 2 раза – с 20–30% до 50–60% по сравнению с увариванием джемов в течение 15 минут (Queiroz et al, 2009). Дегградация антоцианов при изготовлении джемов из разных сортов культивируемой голубики может достигать до 85% (Mendelová et al, 2013), черники – до 81% (Poiana et al, 2012), малины и бузины – до 70 и 60%, соответственно (Cordeiro. et al, 2021).

Термическая обработка при изготовлении джемов хотя и снижает содержание биоактивных соединений, но при этом увеличивается их биодоступность (Kamiloglu et al, 2015; Shinwari et al, 2018).

Из всех фруктово-ягодных консервов минимальной термической обработке подвергаются дробленые фрукты, которые могут производить из одного или нескольких видов ягод с сахаром и без него². Высокое содержание органических кислот в клюкве не позволяет использовать ее самостоятельно без сахара в производстве кон-

сервов, включая дробленые ягоды, что ограничивает их потребление с позиции здорового питания. Использование клюквы в сочетании с ягодами с более высоким содержанием сахаров позволит вырабатывать многокомпонентные дробленые ягоды без сахара, что может способствовать увеличению в них биоактивных соединений антиоксидантного действия.

Цель работы – изучить возможность использования ягод клюквы в ягодных композициях с черникой или голубикой для изготовления многокомпонентных дробленых ягод без сахара и их влияние на антиоксидантные свойства при изготовлении и хранении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований явились дробленые ягоды клюквы, черники и голубики, и их композиции, для изготовления которых были собраны ягоды дикорастущие в Новгородской области, Старорусский район.

Оборудование

Дробление ягод осуществляли на шнековой электромеханической машине «ЭКМ-3», АО «Электросила», Россия. Нагревание композиций дробленых ягод проводили в терморегулируемом шкафу SNOL 67/350 с терморегулятором ТП 400. Для определения титруемой кислотности использовали установку для титрования ручную (бюретка без крана, зажим Мора, штатив лабораторный), Россия, с установлением конца титрования на лабораторном рН-метре АМТ10. Содержание флавоноидов, антоцианов, витамина С и гидрооксикоричных кислот определяли на спектрофотометре «UNICO-2800», США, в стеклянных кюветах с толщиной слоя 1 см. Взятие навесок продукта для анализа осуществляли на весах технических лабораторных ВЛТЭ-510П-В, Россия.

Методы

Стандартными методами определяли: титруемую кислотность по ГОСТ ISO 750³; массовую долю общих и редуцирующих сахаров по ГОСТ 8756.13⁴; содержание витамина С фотометрическим методом по ГОСТ 24556⁵ при длине волны 500 нм; общее содержание флавоноидов по реакции с хлоридом алюминия спектрофото-

² ГОСТ Р 52467–2005 Продукты переработки фруктов. Термины и определения. – М.: Стандартинформ. – 2008.

³ ГОСТ ISO 750–2013 Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности.

⁴ ГОСТ 8756.13–87 Продукты переработки фруктов и овощей. Метод определения сахаров.

⁵ ГОСТ 24556–89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.

метрически при длине волны 420 нм по ГОСТ Р 55312⁶, Калибровочную кривую строили по рутину. Содержание антоцианов определяли спектрофотометрически при длине волны 535 нм в экстрактах, полученных из 2 г продукции и смеси соляной кислоты/этанола 1:4 после выдержки на водяной бане. В качестве раствора сравнения использовали раствор соляной кислоты/этанола. При расчетах коэффициент экстинкции антоцианов при 535 нм принимали 98,2 (Zhang et al, 2016). Количество гидрооксикоричных кислот (ГКК) определяли прямой спектрофотометрией при длине волны 327 нм в пробах, полученных экстрагированием 60 %-ным этиловым спиртом из 2 г продукции. В качестве раствора сравнения использовали 95 %-ный этиловый спирт. Результаты пересчитывали на хлорогеновую кислоту с коэффициентом экстинкции 531 (Абрамова et al, 2011). Антиоксидантную активность определяли спектрофотометрически методом FRAP с хлоридом железа в присутствии о-фенантролина при длине волны 505 нм (Рогожин и Рогожина, 2016)⁷. Калибровочную кривую строили по аскорбиновой кислоте, ЧДА, АО «ЛенРеактив», Россия.

Процедура

Свежие ягоды очищали от примесей и дефектных ягод, промывали под небольшим напором воды, высушивали на ровной поверхности при комнатной температуре, замораживали при температуре минус 18 °С и хранили при этой температуре до проведения исследований из-за одновременного созревания. Каждый вид ягод измельчали отдельно на электромеханической шнековой машине, а затем подбирали их композиции путем последовательной замены дробленой клюквы другими ягодами. На основании результатов органолептического анализа выбраны варианты композиций с рациональным количеством дробленых ягод клюквы и добавленных дробленых ягод черники или голубики, обеспечивающих отсутствие сахара в рецептуре. Дробленые ягоды клюквы (контроль) и полученные композиции дробленых ягод помещали в терморегулируемый шкаф, выставленный на +105 °С, и после восстановления заданной температуры в шкафу, выдерживали 5 минут. Дробленые ягоды в горячем состоянии укладывали в подготовленные стерильные стеклянные банки, которые закрывали винтовой крышкой⁸. Банки с дроблеными ягодами хранили при температуре + (4±2) °С в течение 12 месяцев. Содержание сахаров и титруемую кислотность определяли в дробленых ягодах до термообработки, содержание биоактивных соединений и антиоксидант-

ную активность — в дробленых ягодах до и после термообработки и затем каждые 3 месяца в течение всего периода хранения.

Анализ данных

Каждый вид дробленых ягод и их комбинаций был изготовлен в трех повторностях, в которых проводили исследования показателей в 3–5 повторностях. Теоретические значения биоактивных соединений и АОА многокомпонентных дробленых ягод рассчитывали согласно рецептуре по их содержанию в дробленых ягодах до термообработки, а потери в процессе термообработки как разницу между теоретическими и фактическими значениями. Статистическую обработку результатов измерений проводили в соответствии с критериями Стьюдента при доверительном интервале P=0,95 с использованием Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Химический состав и антиоксидантные свойства дробленых ягод клюквы, черники и голубики

Дробленые ягоды представляли собой измельченную массу с частичками кожицы размером 2–4 мм без желирования характерного цвета, вкуса и аромата в зависимости от вида ягод. Более сладкими были дробленые ягоды голубики, что подтверждают значения сахарокислотного индекса (СКИ) (Таблица 1). Голубика не только содержала больше редуцирующих сахаров, но и имела низкую кислотность, хотя при сравнении с дроблеными ягодами черники статистически значимые различия в кислотности установлены не были.

В отличие от дробленых ягод черники и голубики дробленые ягоды клюквы характеризовались более высокой кислотностью, значения которой превышали в 2,81 и 2,88 раз, соответственно. Это привело к изменению СКИ, отличающимся в 4,5 и 5,8 раз. Различное количество биоактивных соединений в ягодах, особенно антоцианов, которых в голубике и чернике было в 2 раза больше, чем в клюкве, оказало влияние на показатели АОА, что сформировало ряд: голубика > черника > клюква (Таблица 2). Между черникой и голубикой отличие в содержании антоцианов было незначительным, не превышая 5 %. Общее содержание флавоноидов в дробленых ягодах черники и голубики также было очень близко по значениям,

⁶ ГОСТ Р 55312–2012 Прополис. Метод определения флавоноидных соединений.

⁷ Рогожин, В.В. & Рогожина, Т.В. (2016) Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции. СПб:ГИОРД, 480 с.

⁸ Скрипников, Ю.Г. Технология переработки плодов и ягод: учебное пособие. — М.: Агропромиздат. — 1988. — 287 с.

Таблица 1

Титруемая кислотность и содержание сахаров в дробленых ягодах

Table 1

Titrateable Acidity and Sugar Content in Crushed Berries

Ягоды	Титруемая кислотность, ммоль / 100 г	Содержание сахаров, %			СКИ
		всего	редуцирующие сахара	сахароза	
Клюква	3,45 ± 0,06	4,48 ± 0,09	4,28 ± 0,10	0,20 ± 0,01	1,29
Черника	1,23 ± 0,02	7,15 ± 0,12	6,77 ± 0,14	0,38 ± 0,01	5,81
Голубика	1,20 ± 0,02	8,95 ± 0,14	8,45 ± 0,18	0,50 ± 0,01	7,45

Таблица 2

Биоактивные соединения и антиоксидантная активность дробленых ягод до термообработки, мг / 100 г

Table 2

Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Crushed Berries before Heat Treatment, mg/100 g

Ягоды	Флавоноиды	Антоцианы	ГКК	Витамин С	АОА
Клюква	374,2 ± 6,1	171,5 ± 3,5	41,9 ± 0,4	24,5 ± 0,5	455,5 ± 10,2
Черника	467,8 ± 10,2	312,4 ± 6,0	47,9 ± 0,8	20,6 ± 0,5	527,1 ± 12,0
Голубика	491,6 ± 9,8	327,6 ± 5,6	53,4 ± 0,9	28,9 ± 0,7	568,2 ± 10,8

а в дробленых ягодах клюквы уступало на 20,0 и 23,9 %, соответственно. Похожая картина наблюдалась для ГКК и витамина С, но их более низкое на порядок количество, не может оказать влияния на ряд АОА.

Соотношение дробленых ягод в многокомпонентных системах формировали на основании органолептической оценки. Дробленые ягоды клюквы без сахара имели выраженный кислый вкус, который постепенно смягчался при их замене дроблеными ягодами черники или голубики. Было установлено, что для обеспечения отсутствия сахара в дробленых ягодах с использованием клюквы многокомпонентные дробленые ягоды должны содержать 50 % клюквы и 50 % голубики (1:1) или 40 % клюквы и 60 % черники (2:3), что формирует кисло-сладкий вкус.

Исследование влияния различных ягодных композиций на содержание биоактивных соединений и антиоксидантную активность многокомпонентных дробленых ягод до и после термообработки

Многокомпонентные дробленые ягоды по сравнению с дробленой клюквой повысили свои антиоксидантные свойства (Таблица 3) за счет биоактивных соединений, содержащихся в голубике и чернике. После термической обработки в процессе изготовления многокомпонентные дробленые ягоды клюква/черника и клюква/голубика по сравнению с дробленой клюквой содержали больше флавоноидов на 14,1 и 15,9 %, антоцианов —

Таблица 3

Биоактивные соединения и антиоксидантная активность многокомпонентных дробленых ягод после термообработки, мг / 100 г

Table 3

Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Multicomponent Crushed Berries after Heat Treatment, mg/100 g

Показатели	Дробленые ягоды					
	клюква		клюква/черника (2:3)		клюква/голубика (1:1)	
	расчет.	факт.	расчет.	факт.	расчет.	факт.
Флавоноиды	374,2	242,4±5,8	430,4	282,2±6,2	432,9	288,3±6,7
Антоцианы	171,5	103,8±2,0	256,1	167,1±3,8	249,6	148,5±5,1
ГКК	41,9	30,2±0,6	45,5	33,7±0,5	47,7	34,6±0,5
Витамин С	24,5	14,1±0,3	22,2	13,2±0,2	26,7	16,0±0,4
АОА	455,5	333,6±7,8	498,5	372,2±8,6	511,9	359,8±8,4

на 37,9 и 30,1 %, ГКК – на 10,4 и 12,7 %, АОА – на 10,4 и 6,2 %, соответственно. Вклад внесли не только композиции ягод и содержание в них биоактивных соединений, но и их деградация при термической обработке.

Термическая обработка дробленых ягод привела к потерям всех биоактивных соединений, среди которых наибольшей деградации подвергались антоцианы и витамин С. В дробленой клюкве после термической обработки количество антоцианов уменьшилось на 39,5 %, в многокомпонентных ягодах с клюквой и черникой – на 34,8 %, с клюквой и голубикой – на 40,5 %. Витамин С разрушался более интенсивно, чем фенольные антиоксиданты, но в многокомпонентных дробленых ягодах в меньшей степени, чем в дробленой клюкве. Потери витамина С в дробленой клюкве составили 42,5 %, клюкве с черникой – 40,5 %, клюкве с голубикой – 40,1 %. Общее

содержание флавоноидов и ГКК после термообработки в дробленых ягодах снижалось менее интенсивно, их потери находились в пределах 33,4–35,2 % и 25,9–27,9 %, соответственно. При этом значения АОА уменьшились всего на 25,3–29,7 %, изменив ряд дробленых ягод: клюква/черника > клюква/голубика > клюква.

Изменение антиоксидантной активности и содержания биоактивных соединений в многокомпонентных ягодных композициях в процессе холодильного хранения

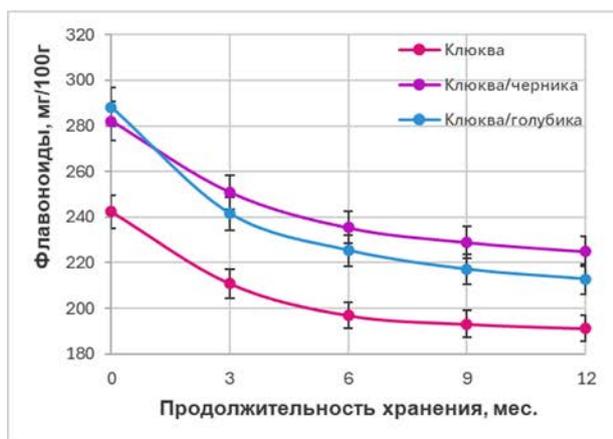
Холодильное хранение приводило к дальнейшим потерям биоактивных соединений, что отражено на Рисунке 1.

Рисунок 1

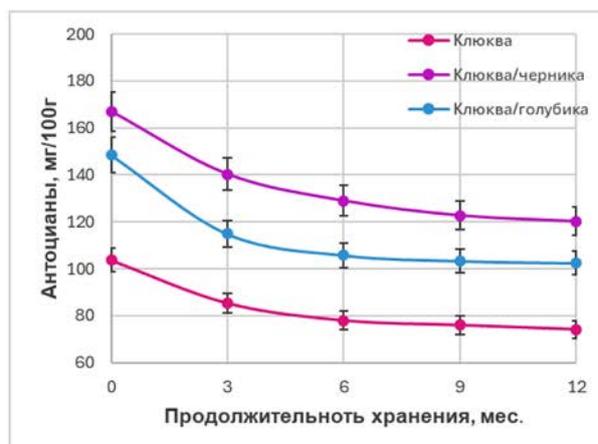
Содержание биоактивных соединений в многокомпонентных дробленых ягодах на разных этапах холодильного хранения в течение 12 месяцев

Figure 1

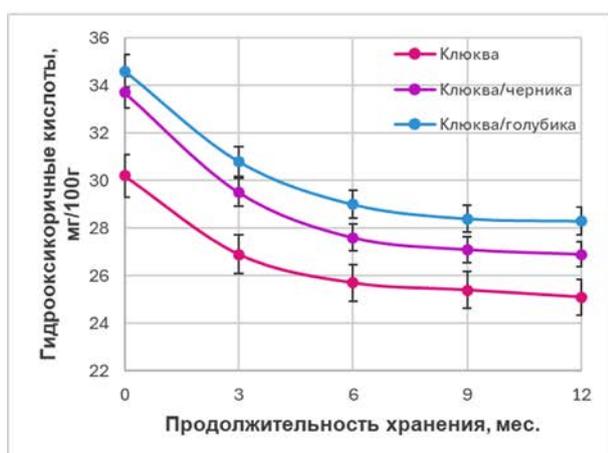
Content of Bioactive Compounds in Multicomponent Crushed Berries at Different Stages of Refrigerated Storage During 12 Months



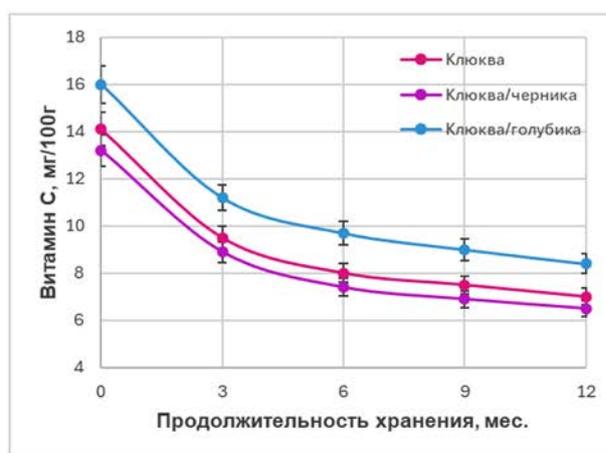
Флавоноиды



Антоцианы



Гидрооксикоричные кислоты



Витамин С

За 12 месяцев холодильного хранения больше всего уменьшилось количество витамина С, что составило около 50 % от исходного содержания дробленых ягод после термообработки. Основные потери произошли в первые 3 месяца хранения – 30,0–33,6 % с преобладанием в многокомпонентных дробленых ягодах клюквы с черникой. Количество антоцианов также значительно уменьшилось, но по сравнению с витамином С их потери за весь период хранения были меньше почти на 20 % и не превысили 31 %. 2/3 потерь произошли в первые 3 месяца хранения, а затем скорость их деградации стабилизировалась. Среди дробленых ягод этот процесс был наиболее выражен в многокомпонентных дробленых ягодах клюквы с голубикой, отличаясь от других дробленых ягод в среднем на 6 % за 3 месяца и на 3 % за весь период хранения.

Потери флавоноидов и ГКК в процессе хранения были меньше, не превышая 26 и 21 %, соответственно, за весь период хранения. Но так же, как для антоцианов и витамина С, большинство их разрушилось в первые 3 месяца хранения, составляя 11–16 % и 11–12,5 %, соответственно для флавоноидов и ГКК.

Деградация биоактивных соединений в процессе хранения дробленых ягод привела к уменьшению значений АОА, но скорость процесса была не столь выражена (см. Рисунок 2).

За весь период хранения АОА дробленых ягод снижалась в пределах 22,9–28,6 %, преобладая в первые 3 месяца с потерями 11,3–14,5 % от начала хранения, что со-

ставляет около 50 % потерь за весь период. В дробленых ягодах клюквы было более выраженное уменьшение значений АОА, как в первые 3 месяца, так и в течение всего срока хранения. На конец хранения значения АОА многокомпонентных дробленых ягод клюквы с черникой и клюквы с голубикой превышали значения АОА дробленых ягод клюквы на 20,5 и 12,8 %, соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые дикорастущие ягоды имели типичный биохимический состав, входящий в диапазон значений, широко варьируемый в зависимости от места произрастания, климатических условий, формы произрастания (дикорастущая или культивируемая), методов определения (Borges et al, 2010; Ботиров et al, 2015; Chorfa et al, 2015; Shinwari et al, 2018; Яшин et al, 2019; Nilova et al, 2020; Алексеенко et al, 2023). Например, количество антоцианов может составлять, мг/100 г: в чернике – 195–2497 (Nilova et al, 2020; Алексеенко et al, 2023); голубике – 180–1220 мг/100 г (Величко et al, 2016; Li et al, 2017); клюкве – 175–467 (Nilova et al, 2020; Guo et al, 2024).

Значительный вклад в формирование антиоксидантных свойств ягод вносят антоцианы (Яшин et al, 2019), которые содержали все исследуемые дробленые ягоды: голубика > черника > клюква. По опубликованным данным (Chorfa et al, 2015; Li et al, 2017; Nilova et al, 2020) корреляция (R) между количеством антоцианов в чернике и ее АОА может превышать 0,979, голубики – 0,910, клюквы – 0,874.

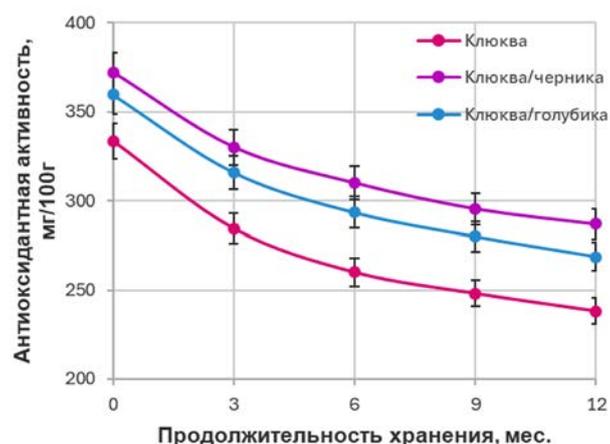
В результате термической обработки дробленых ягод происходили потери фенольных антиоксидантов и витамина С, которые хотя и доходили до 40 %, но были в 1,5–2 раза меньше, чем при уваривании джемов в течение 30 минут (Poiana et al, 2012; Mendelová et al, 2013; Scrob et al, 2022; Velotto et al, 2023). Значительные отличия между дроблеными ягодами были в потере антоцианов, которые связаны с их качественным составом, имеющем ряд: мальвидины > петунидины > дельфинидины ≥ цианидины (Queiroz et al, 2009; Enaru et al, 2021). Преобладание в голубике мальвидинового кластера (Borges et al, 2010) могло способствовать более интенсивной деградации антоцианов при нагревании многокомпонентных дробленых ягод с клюквой и голубикой. По данным (Howard et al, 2010) нагревание измельченных ягод голубики в таких же условиях, как и в наших исследованиях, но в течение 1 минуты, приводит к потерям антоцианов до 21 %. Напротив, в чернике преобладают дельфининовый и цианидиновый кластеры (Полина et al, 2014; Васяров et al, 2016; Howard et al, 2024), что наравне с большим количеством дробленых ягод черники в составе многокомпонентных дробленых ягод, могло способствовать их меньшей деградации. В случае преобла-

Рисунок 2

Антиоксидантная активность многокомпонентных дробленых ягод на разных этапах холодильного хранения в течение 12 месяцев

Figure 2

Antioxidant Activity of Multicomponent Crushed Berries at Different Stages of Refrigerated Storage During 12 Months



дания в клюквенных джемах цианидинового кластера их антиоксидантная АОА повышается более чем в 3 раза по сравнению с джемами из голубики (Diaconeasa et al, 2019). Это подтверждают данные о разной скорости деградации антоцианов при изготовлении джемов из малины и из бузины, потери которых при термической обработке при 100 °С в течение 10 минут отличались более, чем на 10 % (Cordeiro. et al, 2021).

Несмотря на значительные потери биоактивных соединений после термической обработки дробленых ягод снижение значений их АОА было меньше и максимально составляло 29,7 % для дробленых ягод клюквы с голубикой, что могло быть обусловлено образованием промежуточных продуктов реакции Майяра – низкомолекулярных меланоидинов, обладающих антиоксидантной активностью (Ding et al, 2024; Li et al, 2024).

В процессе хранения деградация биоактивных соединений продолжалась даже в условиях холодильного хранения, что подтверждают многочисленные исследования фруктово-ягодных джемов с сахаром, с пониженным его содержанием, без сахара или с сахарозаменителями (Poiana et al, 2012; Mazur et al, 2014; Tobal et al, 2019; Teribia et al, 2021; Kalisz et al, 2023; Scrob et al, 2023). Некоторые авторы (Iguar et al, 2013) считают, что наибольшие потери флавоноидов в джемах в первый период хранения через 30 суток происходят под действием термостойких полифенолоксилаз, а затем стабилизируются. Все пероксидазы, считающиеся относительно термостабильными, вызывают деградацию антоцианов путем гидролиза антоциановых гликозидов до халконов, которые распадаются на альдегиды и фенольные кислоты, или до полимерных антоцианов путем прямых реакций конденсации (Shinwari et al, 2018). В многокомпонентных дробленых ягодах при хранении основные потери произошли через 3 месяца, а затем затормаживались с разной интенсивностью в зависимости от количества биоактивных соединений. Аналогичные результаты были получены при хранении в течение года джема из суринамской вишни, где основные потери антоцианов и витамина С происходили через 90–120 дней, но высокое содержание в продукте сахара способствовало увеличению значений АОА (Tobal et al, 2019). При холодильном хранении конфитюра из жимолости за 4 и 6 месяцев потери витамина С составили 52,7 % и 74,3 %, соответственно. При этом потери ОФС и антоцианов были меньше и составили через 6 месяцев 25,3 и 25,8 %, соответственно (Kalisz et al, 2023). АОА может различаться в зависимости от метода определения: ABTS метод показал снижение значений на 26,6 %, а DPPH метод – отсутствие изменений на протяжении 6 месяцев (Kalisz et al, 2023). Напротив, при определении АОА черничного джема методом FRAP в процессе хранения при +20 °С снижение значений через 7 месяцев доходит до 45 %, что сопро-

вождается потерями антоцианов до 70 %, ОФС – до 57 %, витамина С – до 55 % (Poiana et al, 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изготовления многокомпонентных дробленых ягод без сахара можно использовать ягоды клюквы в сочетании с черникой (2:1) или голубикой (1:1), что формирует кисло-сладкий вкус и повышает их антиоксидантные свойства за счет фенольных антиоксидантов (флавоноидов, антоцианов, ГКК) по сравнению с дроблеными ягодами клюквы.

В процессе изготовления многокомпонентных дробленых ягод за счет термической обработки происходит уменьшение количества исследуемых антиоксидантов ягод в пределах 25,9–40,5 %, что наиболее выражено для антоцианов и витамина С. После изготовления многокомпонентные дробленые ягоды клюква/черника и клюква/голубика по сравнению с дробленой клюквой содержат больше флавоноидов на 14,1 и 15,9 %, антоцианов – на 37,9 и 30,1 %, ГКК – на 10,4 и 12,7 %, АОА – 10,4 и 6,2 % соответственно, на что повлияло не только деградация биоактивных соединений при термической обработке, но и соотношение ягод в соответствии с рецептурой.

В процессе холодильного хранения в течение 12 месяцев происходит дальнейшая деградация антиоксидантов, которая имеет одинаковый характер с преобладанием процесса в первые 3 месяца хранения, независимо от состава многокомпонентных дробленых ягод и биоактивных соединений. За 12 месяцев хранения деградация фенольных антиоксидантов во всех видах многокомпонентных дробленых ягодах находилась в пределах 16,9–31,0 %, а для витамина С около 50 %. АОА дробленых ягод за 12 месяцев хранения снижалась в пределах 22,9–28,6 %, также преобладая в первые 3 месяца с потерями 11,3–14,5 % от начала хранения. В дробленых ягодах клюквы было более выраженное уменьшение значений АОА, как в первые 3 месяца, так и в течение всего срока хранения. На конец хранения значения АОА многокомпонентных дробленых ягод клюквы с черникой и клюквы с голубикой превышали значения АОА дробленых ягод клюквы на 20,5 и 12,8 %, соответственно.

Таким образом, использование ягод клюквы в сочетании с черникой или голубикой в составе многокомпонентных дробленых ягод позволяет не только избежать использование сахара в рецептуре, но и повысить антиоксидантные свойства готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

- Абрамова, Я. И., Калинкина, Г. И., & Чучалин, В. С. (2011). Разработка методики количественного определения фенольных соединений в желчегонном сборе 2. *Химия растительного сырья*, (4), 265–268.
- Abramova, Ya. I., Kalinkina, G. I. & Chuchalin, V. S. (2011). Development of a method for the quantitative determination of phenolic compounds in a choleric collection 2. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, (4), 265–268. (In Russ.)
- Алексеенко, Е. В., Каримова, Н. Ю., & Цветкова, А. А. (2023). Современное состояние и перспективы развития способов переработки ягод черники: Обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>
- Alekseenko, E. V., Karimova, N. Yu. & Tsvetkova, A. A. (2023). The current state and prospects for the development of methods for processing bilberries: Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353> (In Russ.)
- Ботиров, Э. Х., & Лютикова, М. Н. (2015). Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы. *Химия растительного сырья*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>
- Botirov, E. Kh., & Lyutikova, M. N. (2015). Chemical composition and practical application of lingonberries and cranberries. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429> (In Russ.)
- Васияров, Г. Г., Дробь, А. А., Титова, Е. В., & Староверов, С.М. (2016). Кластерный анализ антоцианов черники методом ВЭЖХ. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 16(4), 488–495.
- Vasiyarov, G. G., Drob, A. A., Titova, E.V., & Staroverov, S. M. (2016). Cluster analysis of blueberry anthocyanins by HPLC. *Sorption and Chromatography Processes*, 16(4), 488–495. (In Russ.)
- Величко, Н. А., & Берикашвили, З. Р. (2016). Исследование химического состава ягод голубики обыкновенной и разработка рецептур напитков на ее основе. *Вестник КрасГАУ*, 118(7), 126–131.
- Velichko, N. A., & Berikashvili, Z. R. (2016). Study of chemical composition of blueberries and development of beverage recipes based on them. *The Bulletin of KrasGAU*, 118(7), 126–131. (In Russ.)
- Кедринская, Л. И., Яшин, А. Я., & Яшин, Я. И. (2023). Профилактика и лечение сердечно-сосудистых заболеваний природными антиоксидантами. *Аналитика*, 13(5), 338–345. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2023.13.5.338.344>
- Kedrinskaya, L. I., Yashin, A. Ya., & Yashin, Ya. I. (2023). Prevention and treatment of cardiovascular diseases with natural antioxidants. *Analytics*, 13 (5), 338–345. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2023.13.5.338.344> (In Russ.)
- Манев, З. К., Иванова, П. Х., & Михова, Т. М. (2019). Разработка джема из облепихи со средним содержанием сахара. *Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта*, 15(4), 244–251.
- Manev, Z. K., Ivanova, P. H., & Mikhova, T. M. (2019). Development of sea buckthorn jam with medium sugar content. *Health, Physical Culture and Sports*, 15(4), 244–251. (In Russ.)
- Нилова, Л. П. (2014) Управление ассортиментом продовольственных товаров для ликвидации дисбаланса структуры питания населения России. *Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности*, 1(5), 64–70.
- Nilova, L. P. (2014). Management of the range of food products to eliminate the imbalance in the nutritional structure of the population of Russia. *Problemy Ekonomiki i Upravleniya v Torgovle i Promyshlennosti*, 1(5), 64–70. (In Russ.)
- Полина, С. А., & Ефремов, А. А. (2014). Состав антоцианов плодов черники обыкновенной, брусники обыкновенной и клюквы обыкновенной Красноярского края по данным ВЭЖХ. *Химия растительного сырья*, (2), 103–110. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402103>
- Polina, S. A., & Efremov A. A. (2014). Composition of anthocyanins in the fruits of blueberries, lingonberries and cranberries of the Krasnoyarsk Territory by HPLC. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, (2), 103–110. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402103> (In Russ.)
- Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б., Батурич, А. К., Васильев, А. В., Гаппаров, М. М. Г., Жилинская, Н. В., & Коденцова, В. М. (2020). Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи. *Вопросы питания*, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>

- Tutelyan, V. A., Nikityuk, D. B., Baturin, A. K., Vasiliev, A. V., Gapparov, M. M. G., Zhilinskaya, N. V., & Kodentsova, V. M. (2020). Nutriome as a direction of the "main strike": determination of physiological needs for macro- and micronutrients, minor biologically active substances of food]. *Problems of Nutrition*, 89(4), 24–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
- Тутельян, В. А. (2021). Здоровое питание для общественного здоровья. *Общественное здоровье*, 1(1), 56–64. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64>
- Tutelyan, V. A. (2021). Healthy nutrition for public health. *Public Health*, 1(1), 56–64. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64> (In Russ.)
- Яшин, А. Я., Веденин, А. Н., Яшин, Я. И., & Немзер, Б. В. (2019). Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность, влияние потребления на здоровье человека. *Аналитика*, 9(3), 222–231. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230>
- Yashin, A. Ya., Vedenin, A. N., Yashin, Ya. I., & Nemzer, B. V. (2019). Berries: Chemical composition, antioxidant activity, impact of consumption on human health. *Analytics*, 9(3), 222–231. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230> (In Russ.)
- Amakura, Yo., Umino, Yu., Tsuji, S., & Tonogai, Ya. (2010). Influence of jam processing on the radical scavenging activity and phenolic content in berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (48), 6292–6297. <https://doi.org/10.1021/jf000849z>
- Borges, G., Degeneve, A., Mullen, W., & Crozier, A. (2010). Identification of flavonoid and phenolic antioxidants in black currants, blueberries, raspberries, red currants, and cranberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (58), 3901–3909. <https://doi.org/10.1021/jf902263n>
- Chen, M., Wang, Z., Yu, Ji., Wang, Ju., Xu, H., & Yue, X. (2023). Effects of electron beam irradiation and ultrahigh-pressure treatments on the physicochemical properties, active components, and flavor volatiles of jujube jam. *LWT – Food Science and Technology*, (187), 115292. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115292>
- Chorfa, N., Savard S., & Belkacemi Kh. (2015). An efficient method for high-purity anthocyanin isomers isolation from wild blueberries and their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 197, 1226–1234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.076>
- Cordeiro, T., Fernandes, I., Pinho, O., Calhau, C., Mateus, N., & Faria, A. (2021). Anthocyanin content in raspberry and elderberry: The impact of cooking and recipe composition. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, (24), 100316. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100316>
- Diaconeasa, Z., Iuhas, C. I., Ayvaz, H., Rugina, D., Stanila, A., Dulf, F., Bunea, A., Socaci, S. A., Socaciu C., & Pinteia, A. (2019). Phytochemical characterization of commercial processed blueberry, blackberry, blackcurrant, cranberry, and raspberry and their antioxidant activity. *Antioxidants*, (8), 540; <https://doi.org/10.3390/antiox8110540>
- Ding, X., Zhang, Ya., Li, Ji., & Yan, Sh. (2024). Structure, spectral properties and antioxidant activity of melanoidins extracted from high temperature sterilized lotus rhizome juice. *International Journal of Biological Macromolecules*, (270), 132171. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132171>
- Enaru, B., Dretcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: factors affecting their stability and degradation. *Antioxidants*, 10, 1967. <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>
- Guo, L., Qiao, Ji., Mikhailovich, M. S., Wang, L., Chen, Yu., Ji, X., She, H., Zhang, L., Zhang, Ya., & Huo, Ju. (2024). Comprehensive structural analysis of anthocyanins in blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.), bilberry (*Vaccinium uliginosum* L.), cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.), and antioxidant capacity comparison. *Food Chemistry: X*, (23), 101734. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101734>
- Howard, L. R., Castrodale, Ch., Brownmiller, C., & Mauromoustakos, A. (2010). Jam processing and storage effects on blueberry polyphenolics and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (58), 4022–4029. <https://doi.org/10.1021/jf902850h>
- Howard, L., Brownmiller, C., & Garzón, G. A. (2024). Monitoring effects on anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and ORACFL values of Colombian bilberry (*V. meridionale* Swartz) during pulping and thermal operations. *Heliyon*, (10), e33504. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33504>
- Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., & Martínez-Navarrete, N. (2013). Jam processing and storage effects on β -carotene and flavonoids content in grapefruit. *Journal of Functional Foods*, (5), 736–744. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2013.01.019>

- Jiménez, N., Bassama, Jo., & Bohuon, Ph. (2020). Estimation of the kinetic parameters of anthocyanins degradation at different water activities during treatments at high temperature (100–140 °C) using an unsteady-state 3D model. *Journal of Food Engineering*, (279), 109951. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109951>
- Kalisz, S., Polak, N., Cacak-Pietrzak, G., Cendrowski, A., & Kruszewski, B. (2023). Impact of production methods and storage time on the bioactive compounds and antioxidant activity of confitures made from blue honeysuckle berry (*Lonicera caerulea* L.). *Applied Sciences*, (13), 12999. <https://doi.org/10.3390/app132412999>
- Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., Camp, Jo. V., & Capanoglu, E. (2015) Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*, (186), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.046>
- Kovačević, D. B., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Vahčić, N., Babojelić, S. M., & Levaj, B. (2015). Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. *Food Chemistry*, (181), 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.063>
- Li, D., Li, D., Ma, Y., Sun, X., Lin, Y., & Meng X. (2017) Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, (62), 84–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.006>
- Li, Yi., Xiao, S., Zhang, Q., Wang, N., Yang, Q., & Hao, Ji. (2024) Development and standardization of spectrophotometric assay for quantification of thermal hydrolysis-origin melanoidins and its implication in antioxidant activity evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, (476), 135021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135021>
- Martinsen, B. K., Aaby, K., & Skrede, G. (2020) Effect of temperature on stability of anthocyanins, ascorbic acid and color in strawberry and raspberry jams. *Food Chemistry*, (316), 126297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126297>
- Mazur, S. P., Nes, A., Wold, A.-B., Remberg, S. F., Martinsen, B., & Aaby, K. (2014) Effects of ripeness and cultivar on chemical composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits and their suitability for jam production as a stable product at different storage temperatures. *Food Chemistry*, (146), 412–422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.086>
- de Mello e Silva, G. N., Rodrigues, E. S. B., de Macêdo, I. Y. L., Gil, H. P. V., Campos, H. M., Ghedini, P. C., da Silva, L. C., Batista, E. A., de Araújo, G. L., Vaz, B. G., de Castro Ferreira, T. A. P., do Couto, R. O., & de Souza Gil, E. (2022). Blackberry jam fruit (*Randia formosa* (Jacq.) K. Schum): An Amazon superfruit with in vitro neuroprotective properties. *Food Bioscience*, (50), 102084. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102084>
- Mendelová, A., Mendel, L., Fikselová, M., & Czako, P. (2013). Evaluation of anthocyanin changes in blueberries and in blueberry jam after processing and storage. *Potravinárstvo*, 7 (1), 130–135. <https://doi.org/10.5219/293>
- de Moraes, J. L., Bezerril, F. F., Viera, V. B., Dantas, C. E. A., de Figueirêdo, R. M. F., Moreira, I. dos S., dos Santos, K. M. O., do Egito A. S., Lima, M. dos S., Soares, Ju. K. B. & de Oliveira, M. E. G. (2024). Incorporation of mixed strawberry and acerola jam into greek-style goat yogurt with autochthonous adjunct culture of *Limosilactobacillus mucosae* CNPC007: Impact on technological, nutritional, bioactive, and microbiological properties. *Food Research International*, (196), 115130. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115130>
- Nilova, L., Ikramov, R., & Malyutenkova, S. (2020). The possibility of using microwaves to obtain extracts from berry press residues and jelly products with bioactive characteristics. *Agronomy Research*, 18 (S3), 1829–1843. <https://doi.org/https://doi.org/10.15159/AR.20.044>
- Poiana, M.-A., Alexa, E., & Mateescu, C. (2012) Tracking antioxidant properties and color changes in low-sugar bilberry jam as effect of processing, storage and pectin concentration. *Chemistry Central Journal*, 6 (4), 1–11.
- Queiroz, F., Oliveira, C., Pinho, O.V., & Ferreira, I. (2009) Degradation of anthocyanins and athocyanidins in blueberry jams/stuffed fish. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (57), 10712–10717. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9021948>
- Renna, M., Pace, B., Cefola, M., Santamaria, P., Serio, F., & Gonnella, M. (2013). Comparison of two jam making methods to preserve the quality of colored carrots. *LWT – Food Science and Technology*, (53), 547–554. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.018>
- Scrob, T., Varodi, S. M., Vintilă, G. A., Casoni, D., & Cimpoiu, C. (2022). Estimation of degradation kinetics of bioactive compounds in several lingonberry jams as affected by different sweeteners and storage conditions. *Food Chemistry: X*, (16), 100471. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100471>

- Shinwari, K. Ja., & Rao, P. S. (2018) Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. *Trends in Food Science & Technology*, (75), 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.002>
- Teribia, N., Buvé, C., Bonerz, D., Aschoff, Ju., Goos, P., Hendrickx, M., & Loey A. V. (2021) The effect of thermal processing and storage on the color stability of strawberry puree originating from different cultivars. *LWT – Food Science and Technology*, (145), 111270. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111270>
- Tobal, Th. M., & Rodrigues, L. V. (2019) Effect of storage on the bioactive compounds, nutritional composition and sensory acceptability of pitanga jams. *Food Science and Technology*, 39(S.2), 581–587. <https://doi.org/10.1590/fst.27618>
- Velotto, S., Palmeri, R., Alfeo, V., Gugino, I. M., Fallico, B., Spagna, G., & Todaro, A. (2023). The effect of different technologies in pomegranate jam preparation on the phenolic compounds, vitamin C and antioxidant activity. *Food Bioscience*, (53), 102525. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102525>
- Wang, T., Liu, L., Rakhmanova, A., Wang, X., Shan, Yu., Yi, Ya., Liu B., Zhou, Yu., & Lü, X. (2020). Stability of bioactive compounds and in vitro gastrointestinal digestion of red beetroot jam: Effect of processing and storage. *Food Bioscience*, 38, 100788. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100788>
- Zhang, L.-L., Ren, Ji.-N., Zhang, Ya., Li, Ji.-Ji., Liu, Ya-L., Guo, Z.-Ya., Yang, Z.-Yu, Pan, S.-Yi., & Fan, G. (2016). Effects of modified starches on the processing properties of heat-resistant blueberry jam. *LWT – Food Science and Technology*, (72), 447–456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.018>