

УДК 663.835.022.3:577.15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ФЕРМЕНТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖМЫХА БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПИЩЕВОЙ ИНГРЕДИЕНТ

© *Г.С. Волкова**, *Е.Н. Соколова*, *В.В. Ионов*, *В.Е. Давыдкина*, *Н.А. Фурсова*, *Е.М. Серба*

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи, ул. Самокатная, 4Б, Москва, 111033, Россия, galina.volkova@bk.ru

Разработка комплексной сквозной технологии переработки ягод на сок и образующегося ягодного жмыха в пищевые ингредиенты с повышенной биологической ценностью является актуальной научной задачей и требует проведения комплексных исследований. Актуальность применения жмыха брусники обыкновенной в качестве растительного сырья для производства пищевых ингредиентов обусловлено богатым химическим составом, дешевой сырьевой базы, используемой для выделения ценных биологически активных веществ, поскольку жмых брусники является многоотходным отходом технологических процессов в соковом производстве. Биокаталитическую обработку жмыха брусники проводили ферментативной системой следующего состава – пектиназа 0.25 ед. ПкС/г, целлюлаза 0.75 ед. ЦС/г, протеаза 0.05 ед. ПС/г, липаза 0.05 ед. ЛС/г, при гидромодуле 1 : 1 и 1 : 2 при температуре 50 °С и рН 4.8. В результате исследований получен ферментолитат жмыха брусники при 2-часовом гидролизе подобранным ферментным комплексом при рН 4.8 и 50 °С, который представляет собой жидкость темно-красного цвета с ярко выраженным запахом брусники, кислым вкусом, содержанием сухих веществ 5.0%, содержанием фенольных веществ 470 мг% и антиоксидантной активностью 912.7 мг%. Ферментолитат содержит комплекс антоцианов цианидина и пеонидина, предположительно таких как цианидин-3-галактозид, цианидин-3-арабинозид, пеонидин-3-галактозид, пеонидин-3-арабинозид. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о перспективе создания пищевых ингредиентов, обогащенных биологически ценными веществами ягодного сырья, содержащимися в ферментолитате жмыха брусники, предназначенных для восполнения дефицита нутриентов в питании и расширения ассортимента продуктов быстрого приготовления.

Ключевые слова: ферментативный комплекс, брусника, фенольные вещества, антоцианы, пищевой ингредиент.

Для цитирования: Волкова Г.С., Соколова Е.Н., Ионов В.В., Давыдкина В.Е., Фурсова Н.А., Серба Е.М. Эффективность применения комплекса ферментов для переработки жмыха брусники обыкновенной в пищевой ингредиент // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 310–319. DOI: 10.14258/jcprm.20240112766.

Введение

Плоды многих дикорастущих ягод рассматриваются в настоящее время как источники биологически активных веществ (БАВ). Также следует отметить, что выделенные БАВ растительного происхождения оказывают комплексное действие на организм человека и пригодны для использования в составе пищевых ингредиентов [1–5]. Несмотря на большой интерес к переработке растительного сырья, основным недостатком существующих технологий является их упрощенность и недостаточное использование биологического потенциала вторичных сырьевых ресурсов [6]. В большей степени это связано с тем, что при переработке лишь часть биологически активных веществ ягод переходит в сок, значительная доля находится в ассоциативной связи с компонентами клеточных стенок [6, 7]. Отходы сокового производства с содержанием влаги 13–15% подвержены быстрой микробиологической порче и могут представлять потенциальную опасность для использования в кормопроизводстве. В этой связи разработка комплексной сквозной технологии переработки ягод на сок и образующегося ягодного жмыха в пищевые ингредиенты с повышенной биологической ценностью является актуальной научной задачей. Жмыхи ягод являются классическими источниками БАВ, ост-

* Автор, с которым следует вести переписку.

рый дефицит которых испытывает современный человек, потребляющий рафинированную и неполноценную пищу [8]. Современные технологии позволяют получать из жмыха садовых и дикорастущих ягод пищевые добавки, являющиеся богатым источником БАВ, витаминов и микроэлементов [9, 10]. Известен ряд способов переработки, в том числе экстракция биологически активных веществ различными экстрагентами, фракционирование жмыха на кожицу ягод и семена, и их отдельная переработка, ферментативный гидролиз жмыха с получением комплекса БАВ [11–15].

Актуальность применения жмыха брусники обыкновенной в качестве растительного сырья для производства пищевых ингредиентов обусловлено богатым химическим составом, дешевой сырьевой базой, используемой для выделения ценных биологически активных веществ, поскольку жмых брусники является многотоннажным отходом технологических процессов в соковом производстве. В жмыхе брусники обыкновенной содержатся каротиноиды, флавоноиды (катехин, эпикатехин, мирецетин, кверцетин, каемпферол), витамины С, РР, Е, калий, фосфор, железо, марганец, цинк, медь, органические кислоты, природные консерванты [12, 14, 15, 18]. Комплекс БАВ брусники обладает антисептическим, адаптогенным, антиоксидантным действием, является источником комплекса витаминов [16–18]. Данное растение является универсальным объектом исследования, так как имеет широкий ареал распространения: от западных границ европейской территории России до Дальнего Востока, в Средней Азии. Брусника обыкновенная относительно резистентна к бактериозам, вирусным поражениям, легко культивируется и дает высокие урожаи, широко применяется в пищевой промышленности и медицине.

Изучение химического состава жмыха брусники обыкновенной дает основание предложить его как новый экономичный источник БАВ. Ферментативная обработка жмыха брусники позволяет модифицировать структурные биополимеры клеточных стенок [19], составляющих основу жмыха и формирующих белково-углеводно-фенольные комплексы.

Перспективным направлением исследований является разработка биокаталитического способа обработки свежей выжимки брусники с получением пищевых ингредиентов, обогащенных полифенолами и пищевыми волокнами. Использование отходов переработки ягод дает преимущество за счет отказа от синтетических добавок и улучшителей продуктов питания и замены их на дешевый ингредиент с натуральным составом, позволяет создать новые инновационные пищевые продукты, востребованные на отечественном рынке. Существуют разработанные технологии получения биологически активных экстрактов из отходов плодово-ягодной переработки, которые являются необходимыми для человека нутрицевтиками, а также логическим завершением переработки ягод. В связи с тем, что в настоящее время актуальность применения ферментных препаратов для обработки ягодного сырья несомненна, данное исследование посвящено проведению процесса ферментализации внутриклеточных полимеров жмыха брусники обыкновенной и отработке технологических параметров, обеспечивающих эффективный выход БАВ.

На предыдущем этапе эксперимента исследовано влияние комплекса ферментов различной субстратной специфичности на биохимический состав ферментализатов при переработке жмыха брусники. Результаты биокаталитической конверсии полимеров сырья свидетельствуют о значимом увеличении содержания в ферментализате жмыха ценных биологически активных веществ в биодоступной форме. Подобран ферментативный комплекс, содержащий пектиназу 0.25 ед. ПкС/г, целлюлазу 0.75 ед. ЦС/г; протеазу 0.05 ед. ПС/г и липазу 0.05 ед. ЛС/г для обработки жмыха брусники [20]. При действии пектиназ гидролизуются водорастворимые пектиновые вещества, повышая клеточную проницаемость растительной ткани и облегчая доступ других гидролаз к субстрату, что подтвердилось при введении в состав комплекса ферментов протеолитического, целлюлолитического и липолитического действия. С целью получения максимального выхода фенольных веществ в ферментализат жмыха брусники с помощью определенного ферментативного комплекса необходимо подобрать гидромодуль процесса и его длительность [20, 21]. Очевидно, что интерес к использованию в пищевой промышленности жмыха брусники будет увеличиваться благодаря быстрому росту сектора функциональных пищевых продуктов и широким возможностям применения данного вида вторичного сырья с высоким содержанием БАВ [22–24].

Цель данной работы – установить влияние гидромодуля и длительности гидролиза жмыха брусники подобранной ферментативной системой на выход фенольных веществ, антоцианов и антиоксидантную активность ферментализата с целью получения пищевого ингредиента с повышенной биологической ценностью.

Экспериментальная часть

Объектом исследования являлся жмых брусники обыкновенной – слегка влажная масса от красного до бурого цвета, с явно выраженным запахом и вкусом брусники, с содержанием сухих веществ 86–87%, полученная в результате первого отжима сока ягод брусники на пакетном или ленточном прессе.

Материалы и методы. При проведении ферментативного гидролиза использовали следующие ферментные препараты: пектиназа Г20Х (производитель *Aspergillus foetidus*, активность 3500 ед. ПкС/см³, производство Россия), целовиридин Г20Х (производитель *Trichoderma viride*, активность 3500 ед. ЦС/см³, ООО «Промфермент», Россия); протеаза (производитель *Aspergillus oryzae*, активность ПС 600 ед./г, ВНИИПБТ, Россия), липаза Г20Х (производитель *Aspergillus niger*, активность 4000 ед. ЛС/см³, производство Россия).

Биокаталитическую обработку жмыха брусники проводили ферментативной системой следующего состава: пектиназа 0.25 ед. ПкС/г, целлюлаза 0.75 ед. ЦС/г, протеаза 0.05 ед. ПС/г, липаза 0.05 ед. ЛС/г, при гидромодуле 1 : 1 и 1 : 2 при температуре 50 °С и рН 4.8. По окончании гидролиза в ферментализате жмыха определяли содержание фенольных соединений, редуцирующих углеводов, антиоксидантную активность и наличие антоцианов. В качестве контроля использовали водный экстракт жмыха брусники.

Количество фенольных соединений определяли спектрофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу [25], содержание редуцирующих веществ – методом Шомоди-Нельсона [26], содержание глюкозы и фруктозы определяли на системе капиллярного электрофореза «Капель-105М» по методике ФР.1.31.2020.37417.

Интенсивность окраски (наличие антоцианов) в ферментализатах жмыха брусники оценивали по спектрам поглощения на спектрофотометре SPECORD® 50 (Analytik Jena, Германия). Суммарное содержание антиоксидантов определяли методом ВЭЖХ на приборе «МаэстроКомпакт».

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0 методом однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости 0.05.

Обсуждение результатов

Для того чтобы наиболее эффективно проводить деструкцию жмыха брусники, использовали подобранную комбинацию ферментов, способствующую повышению извлечения биологически активных, ароматических и цветковых компонентов сырья. Результаты по выходу фенольных веществ при различном времени гидролиза и гидромодуле представлены на рисунке 1.

В результате эксперимента установлено, что наибольший выход фенольных веществ в гидролизат жмыха брусники достигается при гидромодуле 1 : 2 и длительности гидролиза 240 мин, при этом содержание фенольных веществ составляет 470 мг%, что составляет 74.7% от выхода фенольных веществ в контроле, а дальнейшее увеличение длительности гидролиза нецелесообразно. Извлечение фенольных веществ при гидромодуле 1 : 1 достигает максимума при длительности гидролиза 240 мин, при этом содержание фенольных веществ составляет 402.5 мг%, что на 14% меньше, чем при гидромодуле 1 : 2.

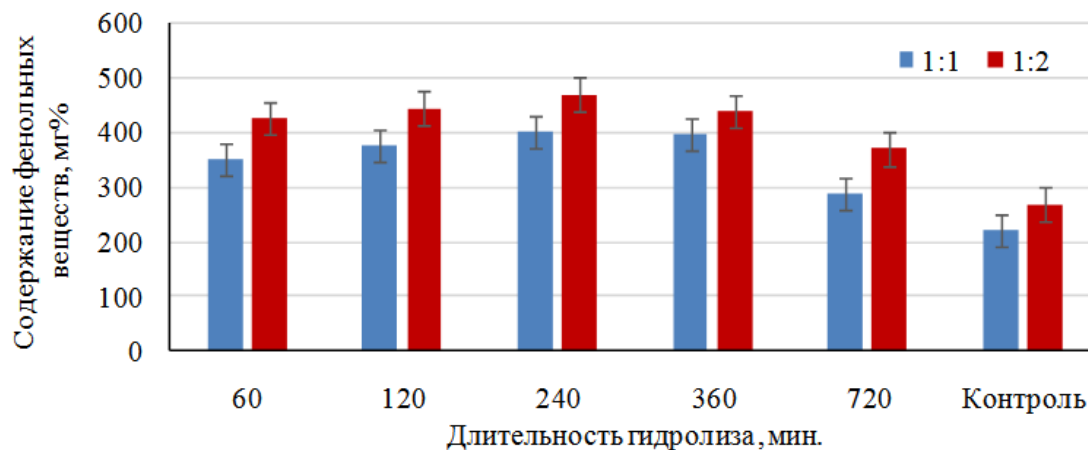


Рис. 1. Влияние гидромодуля и длительности гидролиза на выход фенольных веществ

Гидролитическую способность используемой ферментативной системы по отношению к жмыху брусники оценивали также путем измерения содержания в пробах редуцирующих сахаров. Увеличение концентрации сахаров свидетельствует о степени гидролиза полисахаридов сырья (гемицеллюлоз, целлюлозы, пектина, белка и жира); рост содержания в пробах глюкозы – о степени гидролиза целлюлозы. На рисунке 2 приведены данные по содержанию редуцирующих сахаров в ферментоллизате жмыха брусники при гидромодуле 1 : 2 и различной длительности гидролиза.

Установлено, что при гидролизе в течение 240 мин содержание сахаров в ферментоллизате составляет 7.06 г/дм³, что выше, чем в контроле, на 12%. В таблице и на рисунке 3 представлен углеводный профиль сахаров в ферментоллизате при различном гидромодуле и длительности гидролиза 240 мин.

Полученные данные позволяют использовать возможности подобранного ферментного комплекса для деструкции высокомолекулярных полимеров жмыха брусники и повысить степень его переработки для получения новых пищевых ингредиентов, содержащих фенольные соединения и простые сахара.

В продолжение исследований изучали цветность полученных ферментоллизатов жмыха брусники для оценки выхода антоциановых красителей в жидкую фазу.

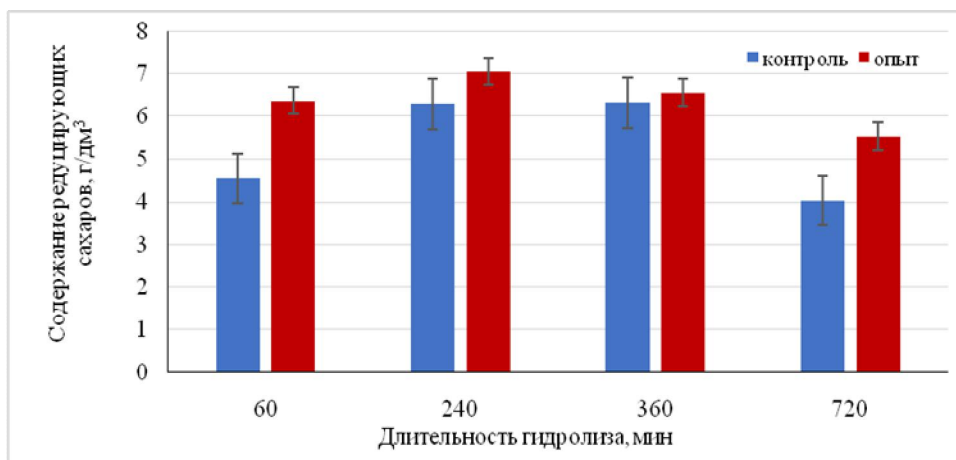


Рис. 2. Содержание сахаров в ферментоллизатах жмыха брусники при различной длительности гидролиза

Содержание глюкозы и фруктозы в ферментоллизатах жмыха брусники, полученном при различном гидромодуле

Образец		Содержание сахаров в ферментоллизате, г/дм ³	
		Гидромодуль 1 : 1	Гидромодуль 1 : 2
Контроль	Глюкоза	8.78	5.45
	Фруктоза	9.17	5.91
Опыт	Глюкоза	9.2	6.23
	Фруктоза	9.79	6.72

Примечание: статистическая значимость различий ($p < 0.05$) по сравнению с контролем.

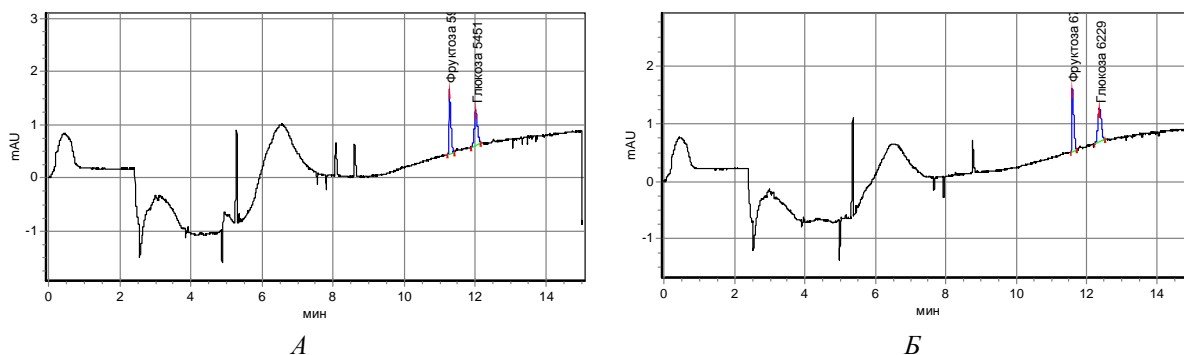


Рис. 3. Электрофореграмма ферментоллизата жмыха брусники, полученного при гидромодуле 1 : 2: А – контроль, Б – опыт

Цветообразование антоциановых красителей непосредственно связано с качественным составом соединений, которые определяют соотношение поглощенного и отраженного света в зависимости от длины волны в видимой области спектра. Антоциановые пигменты в зависимости от соотношения антоцианидинов образуют определенные цвета, а вариации цветовых оттенков связаны в основном с различием в составе гликозидов. На рисунке 4 представлены спектры поглощения антоциановых пигментов в ферментализате жмыха брусники.

На основании спектров поглощения, приведенных на рисунке 4, можно сделать вывод, что наибольшим значением оптической плотности обладает ферментализат, полученный при длительности гидролиза 2 ч по сравнению с 1, 6 и 12-часовым, которые характеризуются более слабым поглощением во всей видимой области спектра. Независимо от времени гидролиза максимум поглощения наблюдается при длине волны 520 нм, это позволяет предположить наличие в ферментализатах таких антоцианов, как цианидин-3-галактозид, цианидин-3-арабинозид, пеонидин-3-галактозид, пеонидин-3-арабинозид, идентификация которых впоследствии возможна методом ВЭЖХ-УФ-МС [23, 27].

Условия проведения процесса гидролиза при низком pH=4.8 способствует наиболее полному выходу антоцианов из ягодного сырья, при этих условиях антоцианы достаточно стабильны.

На рисунке 5 приведены экспериментальные данные по антиоксидантной активности ферментализата жмыха брусники при различной длительности гидролиза и двух вариантах гидромодуля.

Таким образом, обработка жмыха брусники подобранным комплексом ферментных препаратов, содержащим целлюлазу, пектиназу, протеазу и липазу увеличивает концентрацию антоцианов в ферментализате и влияет на его антиоксидантный потенциал. Представленные данные показывают, что полученный ферментализат жмыха брусники может являться источником антиоксидантов при использовании его в качестве пищевого ингредиента или в составе пищевой добавки.

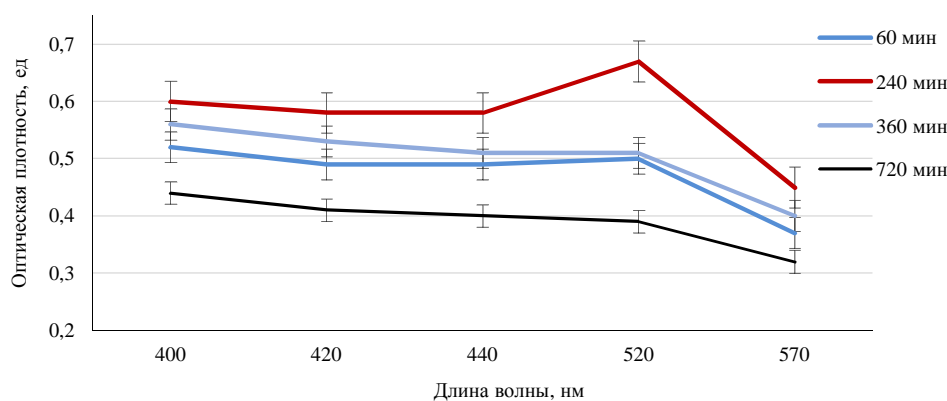


Рис. 4. Спектры поглощения антоциановых пигментов в ферментализатах жмыха брусники, полученных при различной длительности гидролиза

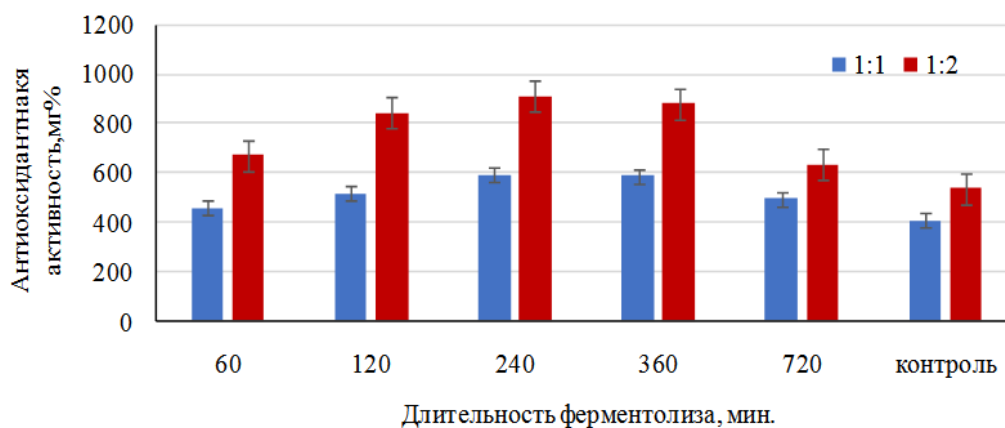


Рис. 5. Влияние длительности гидролиза жмыха брусники и гидромодуля на антиоксидантную активность ферментализата

Жмых брусники обыкновенной может быть переработан в пищевой ингредиент, представляющий собой ферментолитат, содержащий биологически активные соединения ягод (в основном флавоноиды и фенольные вещества) и препарат нерастворимых углеводов кожицы ягод, преимущественно содержащий клетчатку. При условии подбора режимов и параметров технологического процесса, а также направленного регулирования компонентного состава БАВ, возможно получить ингредиенты с богатым составом биологически ценных компонентов и разработать на их основе оригинальную линейку продуктов питания, например, обогащенных зерновых экструзионных продуктов быстрого приготовления. Пищевой ингредиент на основе жмыха брусники обыкновенной может быть использован для замены искусственных улучшителей пищи, в качестве натурального красителя, а также для обогащения различных продуктов питания фенольными веществами и антиоксидантами [28–30].

Актуальность исследований по подбору комплекса ферментов для повышения выхода биологически активных веществ из плодово-ягодного сырья подтверждают ряд авторов [7, 9, 12–15, 20–22, 24, 28], считая данное направление прогрессивно востребованной задачей в области химии и пищевой биотехнологии. В порядке обсуждения полученных результатов нами отмечено, что в ранее опубликованных материалах [1, 2, 5, 9, 11, 16–18, 29] подчеркивается недостаток сведений о составе БАВ, доступных для извлечения из некоторых видов дикорастущего сырья и продуктов его переработки, а также о технологиях переработки жмыхов в функциональные пищевые продукты.

Содержание основных БАВ в ферментолитате жмыха брусники, полученным в настоящем исследовании, является достаточно высоким и сопоставим с опубликованными данными [10–14, 17, 18, 23, 27]. Результаты могут быть использованы для практической реализации комплексной технологии переработки жмыха брусники в пищевой ингредиент и продукты быстрого приготовления.

Подобранный комплекс ферментов представляет собой научно обоснованное технологическое решение, реализация которого в производстве позволяет решить технологические сложности с переработкой вторичных сырьевых ресурсов сокового производства, а также отвечает приоритетам развития науки и технологий, ориентированных на создание индустрии здорового питания, в частности, развитие производства продуктов функционального назначения.

Выводы

В результате исследований получен ферментолитат жмыха брусники при 2-часовом гидролизе и гидромодуле 1 : 2 подобранным ферментным комплексом при pH 4.8 и 50 °С, который представляет собой жидкость темно-красного цвета с ярко выраженным запахом брусники, кислым вкусом, содержанием сухих веществ 5.0%, содержанием фенольных веществ 470 мг% и антиоксидантной активностью 912.7 мг%. Выбор ферментного комплекса для максимально глубокой и эффективной биоконверсии жмыха брусники обусловлен сочетанием ферментативных активностей в ферментном комплексе в соответствии с особенностями состава данного вида сырья.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о перспективе создания пищевых ингредиентов, обогащенных биологически ценными веществами ягодного сырья, содержащимися в ферментолитате жмыха брусники, предназначенных для восполнения дефицита нутриентов в питании и расширения ассортимента продуктов быстрого приготовления. Дальнейшие исследования будут проведены в направлении получения функционального пищевого продукта с использованием в качестве ингредиента ферментолитата жмыха брусники. Экспериментальные данные и выводы по работе являются оригинальными и представляют собой продолжение ранее проведенных исследований, выполненных авторами.

Таким образом, перспектива ферментативной экстракции целевых БАВ из жмыха брусники обыкновенной имеет высокий потенциал и является перспективной с точки зрения современных пищевых технологий.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00100.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Сафронова И.В., Гольдина И.А., Гайдудль К.В., Козлов В.А. Особенности химического состава брусники обыкновенной и перспективы ее применения в медицине и здоровом питании // Инновации и продовольственная безопасность. 2015. №4. С. 63–73.
2. Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы // Химия растительного сырья. 2015. №2. С. 5–27. DOI: 10.14258/jcprgm.201502429.
3. Овчаренко А.С., Расулова Е.А., Кондакова О.Э., Иванова О.В. Функциональные ингредиенты плодов дикорастущих растений // Пищевая промышленность. 2017. №12. С. 53–57.
4. Новикова Е.В. Энциклопедия питания. Биологически активные добавки. Т. 5. Справочное издание. М., 2019. 384 с.
5. Hakkinen S. Flavonols and phenolic acids in berries and berry products // Kuopio University Publications D. Medical Sciences. 2020. Vol. 221. P. 90.
6. Жамсаранова С.Д., Замбулаева Н.Д. Анализ и оптимизация технологического процесса извлечения фенольных соединений из выжимок ягод дикороссов // Вестник ВСГУТУ. 2015. №4. С. 61–66.
7. Пушмина И.Н. Ресурсосберегающая схема переработки ягодного сырья для обогащения пищевых продуктов функциональными ингредиентами // Научные исследования сельскохозяйственному производству. 2018. С. 389–396.
8. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы // Вопросы питания. 2017. Т. 86, №4. С. 113–124. DOI: 10.24411/0042-8833-2017-00067.
9. Može Š., Polak T., Gašperlin L., Koron D., Vanzo A., Ulrih N.P., Abram V. Phenolics in Slovenian Bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59, no. 13. Pp. 6998–7004. DOI: 10.1021/jf200765n.
10. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes* // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50, no. 3. Pp. 519–525. DOI: 10.1021/jf011062r.
11. Щетилина И.П., Попова Н.Н. Растительное сырье как источник физиологически функциональных пищевых ингредиентов: исследование на примере Воронежской области Российской Федерации // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2017. №7 (67). С. 243–251. DOI: 10.18551/rjoas.2017-07.28.
12. Taruscio T.G., Barney D.L., Exon J. Content and Profile of Flavanoid and Phenolic Acid Compounds in Conjunction with the Antioxidant Capacity for a Variety of Northwest *Vaccinium* Berries // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004. Vol. 52, no. 10. Pp. 3169–3176. DOI: 10.1021/jf0307595.
13. Замбулаева Н.Д., Жасмаранова С.Д. Исследование антиоксидантных и антимикробных свойств биопротекторов из отходов соковых производств как ингредиентов для обогащения продуктов питания // Исследование вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, №1. С. 51–58. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-51-58.
14. Алексеенко Е.В. Ферментативная биоконверсия плодово-ягодного сырья: биохимические аспекты и практическое применение // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. №3. С. 49–52.
15. Пушмина В.В., Пушмина И.Н., Первышина Г.Г., Захарова Л.М. Обоснование выбора растительного сырья и форм его переработки для обогащения пищевых продуктов // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2017. №3(83). С. 137–149. DOI: 10.24866/2311-2271/2017-3/137-149.
16. Алексеенко Е.В., Быстрова Е.А., Бакуменко О.Е. Применение сублимированного пророщка брусники при изготовлении мучных кондитерских изделий // Пищевая промышленность. 2019. №5. С. 18–21. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10065.
17. Kylli P., Nohynek L., Puupponen-Pimiä R., Westerlund-Wikström B., Leppänen T., Welling J., Moilanen E., Heinonen M. Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) and European Cranberry (*Vaccinium microcarpon*) Proanthocyanidins: Isolation, Identification, and Bioactivities // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59, no. 7. Pp. 3373–3384. DOI: 10.1021/jf104621e.
18. Ek S., Kartimo H., Mattila S., Tolonen A. Characterization of Phenolic Compounds from Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. Vol. 54, no. 26. Pp. 9834–9842. DOI: 10.1021/jf0623687.
19. Mane C., Loonis M., Juhel C., Dufour C., Malien-Aubert C. Food Grade Lingonberry Extract: Polyphenolic Composition and In Vivo Protective Effect against Oxidative Stress // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59, no. 7. Pp. 3330–3339. DOI: 10.1021/jf103965b.
20. Шариков А.Ю., Соколова Е.Н., Волкова Г.С., Куксова Е.В., Амелякина М.В., Иванов В.В. Процессы биокатализа и термопластической экструзии в технологии готовых к употреблению продуктов с использованием жмыхов плодово-ягодного сырья // Биотехнология. 2022. Т. 38, №4. С. 67–71. DOI: 10.56304/S0234275822040135.

21. Чернобровин Д.Ю., Алексеенко Е.В., Траубенберг С.Е., Осташенкова Н.В., Чернобровина А.Г. Биокатализ ягод брусники для применения в пищевых технологиях // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. №2. С. 57–60.
22. Seeram N.P. Berry Fruits: Compositional Elements, Biochemical Activities, and the Impact of Their Intake on Human Health, Performance, and Disease // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56, no. 3. Pp. 627–629. DOI: 10.1021/jf071988k.
23. Чеснокова Н.Ю., Приходько Ю.В., Каленик Т.К. Антоцианы в пищевых технологиях и биотехнологиях: монография. Владивосток, 2021. 146 с.
24. Айсина А.М., Костылева Е.В., Середа А.С., Великорецкая И.А., Цурикова Н.В. Эффективность применения комплексного ферментного препарата Ксилоризин К4 при получении соков из брусники // Пищевая промышленность. 2020. №11. С. 8–11. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10118.
25. Денисенко Т.А., Вишник А.Б., Цыганок Л.П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия. 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. №19(4). С. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.
26. Volchok A., Rozhkova A., Zorov I., Shcherbakov S., Sinitsyn A. Production of fruit wines using novel enzyme preparations // J. Int. Sci. Vigne Vn. 2015. Vol. 49. Pp. 205–215. DOI: 10.20870/oeno-one.2015.49.3.80.
27. Пономарчук С.Г., Саликова А.А., Плаксен Н.В., Устинова Л.В., Григорчук В.П. Определение профиля антоцианов и оптимальных параметров их экстрагирования из плодов шикши черной *Empetrum nigrum* // Тихоокеанский медицинский журнал. 2022. №3. С. 75–80. DOI: 10.34215/1609-1175-2022-3-75-80.
28. Четчикова А.Ю., Мурадова М.Б., Проскура А.В., Лепешкин А.И., Надточий Л.А., Хашим М.А. Комплексная переработка ягод брусники и клюквы // Ползуновский вестник. 2021. №2. С. 75–81. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.010.
29. Решетник Е.И., Уточкина Е.А. Использование плодово-ягодного сырья в качестве биодобавки в рецептуре кисломолочного продукта // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2015. №5-6. С. 33–36.
30. Shamilov A.A., Bubenchikova V.N., Chernikov M.V., Pozdnyakov D.I., Garsiya E.R. *Vaccinium vitis-idaea* L.: Chemical Contents, Pharmacological Activities // Pharmaceutical Sciences. 2020. Vol. 26, no. 4. Pp. 344–362. DOI: 10.34172/PS.2020.54.

Поступила в редакцию 30 марта 2023 г.

После переработки 12 апреля 2023 г.

Принята к публикации 13 сентября 2023 г.

Volkova G.S.*, Sokolova Ye.N., Ionov V.V., Davydкина V.Ye., Fursova N.A., Serba Ye.M. EFFICIENCY OF APPLICATION OF A COMPLEX OF ENZYMES FOR PROCESSING OF COMMON LINGONBERRY CAKE INTO A FOOD INGREDIENT

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya st., 4B, Moscow, 111033, Russia, e-mail: galina.volkova@bk.ru

The development of a comprehensive end-to-end technology of processing berries for juice and the resulting berry cake into food ingredients with increased biological value is an urgent scientific task and requires comprehensive research. The relevance of the use of common cranberry cake as a vegetable raw material for the production of food ingredients is due to its rich chemical composition, cheapness of the raw material base used to isolate valuable biologically active substances, since cranberry cake is a multi-tonnage waste of technological processes in juice production. Biocatalytic treatment of cranberry cake was carried out with the following enzymatic system - pectinase 0.25 units. Pcs/g, cellulase 0.75 units. Cs/g, protease 0.05 units. PS/g, lipase 0.05 units. LS/g., at hydromodules 1 : 1 and 1 : 2 at 50 °C and pH 4.8. As a result of studies obtained fermentolysate cake lingonberry at 2-hour hydrolysis with selected enzyme complex at pH 4.8 and 50 °C, which is a liquid of dark red color with a strong smell of cranberry, sour taste, dry substance content 5.0%, the content of phenolic substances 470 mg% and antioxidant activity 912.7 mg%. Fermentolysate contains a complex of anthocyanins, presumably such as cyanidin-3-galactoside, cyanidin-3-arabinoside, peonidin-3-galactoside, peonidin-3-arabinoside. The experimental data obtained testify to the prospects of creating food ingredients enriched with biologically valuable substances of berry raw materials contained in the fermentolysate of cranberry cake intended to compensate nutrient deficiencies in nutrition and expand the range of fast cooking products.

Keywords: enzyme complex, lingonberry, phenolic substances, anthocyanins, food ingredient.

For citing: Volkova G.S., Sokolova Ye.N., Ionov V.V., Davydкина V.Ye., Fursova N.A., Serba Ye.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 310–319. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240112766.

* Corresponding author.

References

1. Safronova I.V., Gol'dina I.A., Gaydul' K.V., Kozlov V.A. *Innovatsii i prodovol'st-vennaya bezopasnost'*, 2015, no. 4, pp. 63–73. (in Russ.).
2. Lyutikova M.N., Botirov E.Kh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 2, pp. 5–27. DOI: 10.14258/jcprm.201502429. (in Russ.).
3. Ovcharenko A.S., Rasulova Ye.A., Kondakova O.E., Ivanova O.V. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2017, no. 12, pp. 53–57. (in Russ.).
4. Novikova Ye.V. *Entsiklopediya pitaniya. Biologicheski aktivnyye dobavki. T. 5. Spravochnoye izdaniye*. [Encyclopedia of nutrition. Biologically active additives. Vol. 5. Reference publication]. Moscow, 2019, 384 p. (in Russ.).
5. Hakkinen S. *Kuopio University Publications D. Medical Sciences*, 2020, vol. 221, p. 90.
6. Zhamsaranova S.D., Zambulayeva N.D. *Vestnik VSGUTU*, 2015, no. 4, pp. 61–66. (in Russ.).
7. Pushmina I.N. *Nauchnyye issledovaniya sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu*, 2018, pp. 389–396. (in Russ.).
8. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutel'yan V.A. *Voprosy pitaniya*, 2017, vol. 86, no. 4, pp. 113–124. DOI: 10.24411/0042-8833-2017-00067. (in Russ.).
9. Može Š., Polak T., Gašperlin L., Koron D., Vanzo A., Ulrih N.P., Abram V. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, vol. 59, no. 13, pp. 6998–7004. DOI: 10.1021/jf200765n.
10. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 3, pp. 519–525. DOI: 10.1021/jf011062r.
11. Shchetilina I.P., Popova N.N. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 2017, no. 7 (67), pp. 243–251. DOI: 10.18551/rjoas.2017-07.28. (in Russ.).
12. Taruscio T.G., Barney D.L., Exon J. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, vol. 52, no. 10, pp. 3169–3176. DOI: 10.1021/jf0307595.
13. Zambulayeva N.D., Zhamsaranova S.D. *Issledovaniye vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 51–58. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-51-58. (in Russ.).
14. Alekseyenko Ye.V. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*, 2012, no. 3, pp. 49–52. (in Russ.).
15. Pushmina V.V., Pushmina I.N., Pervyshina G.G., Zakharova L.M. *Izvestiya Dal'nevostochnogo Federal'nogo Universiteta. Ekonomika i upravleniye*, 2017, no. 3(83), pp. 137–149. DOI: 10.24866/2311-2271/2017-3/137-149. (in Russ.).
16. Alekseyenko Ye.V., Bystrova Ye.A., Bakumenko O.Ye. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2019, no. 5, pp. 18–21. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10065. (in Russ.).
17. Kylli P., Nohynek L., Puupponen-Pimiä R., Westerlund-Wikström B., Leppänen T., Welling J., Moilanen E., Heinonen M. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, vol. 59, no. 7, pp. 3373–3384. DOI: 10.1021/jf104621e.
18. Ek S., Kartimo H., Mattila S., Tolonen A. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, vol. 54, no. 26, pp. 9834–9842. DOI: 10.1021/jf0623687.
19. Mane C., Loonis M., Juhel C., Dufour C., Malien-Aubert C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, vol. 59, no. 7, pp. 3330–3339. DOI: 10.1021/jf103965b.
20. Sharikov A.Yu., Sokolova Ye.N., Volkova G.S., Kuksova Ye.V., Amelyakina M.V., Ivanov V.V. *Biotekhnologiya*, 2022, vol. 38, no. 4, pp. 67–71. DOI: 10.56304/S0234275822040135. (in Russ.).
21. Chernobrovin D.Yu. Alekseyenko Ye.V., Traubenberg S.Ye., Ostashenkova N.V., Chernobrovina A.G. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*, 2011, no. 2, pp. 57–60. (in Russ.).
22. Seeram N.P. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56, no. 3, pp. 627–629. DOI: 10.1021/jf071988k.
23. Chesnokova N.Yu., Prikhod'ko Yu.V., Kalenik T.K. *Antotsiany v pishchevykh tekhnologiyakh i biotekhnologiyakh: monografiya*. [Anthocyanins in food technologies and biotechnologies: monograph]. Vladivostok, 2021, 146 p. (in Russ.).
24. Aysina A.M., Kostyleva Ye.V., Sereda A.S., Velikoretskaya I.A., Tsurikova N.V. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2020, no. 11, pp. 8–11. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10118. (in Russ.).
25. Denisenko T.A., Vishnikin A.B., Tsyganok L.P. *Analitika i kontrol'*, 2015, no. 19(4), pp. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012. (in Russ.).
26. Volchok A., Rozhkova A., Zorov I., Shcherbakov S., Sinitsyn A. *J. Int. Sci. Vigne Vn.*, 2015, vol. 49, pp. 205–215. DOI: 10.20870/oenone.2015.49.3.80.
27. Ponomarchuk S.G., Salikova A.A., Plaksen N.V., Ustinova L.V., Grigor'chuk V.P. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2022, no. 3, pp. 75–80. DOI: 10.34215/1609-1175-2022-3-75-80. (in Russ.).
28. Chechetkina A.Yu., Muradova M.B., Proskura A.V., Lepeshkin A.I., Nadtochiy L.A., Khashim M.A. *Polzunovskiy vestnik*, 2021, no. 2, pp. 75–81. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.010. (in Russ.).
29. Reshetnik Ye.I., Utochkina Ye.A. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2015, no. 5-6, pp. 33–36. (in Russ.).
30. Shamilov A.A., Bubenchikova V.N., Chernikov M.V., Pozdnyakov D.I., Garsiya E.R. *Pharmaceutical Sciences*, 2020, vol. 26, no. 4, pp. 344–362. DOI: 10.34172/PS.2020.54.

Received March 30, 2023

Revised April 12, 2023

Accepted September 13, 2023

Сведения об авторах

Волкова Галина Сергеевна – доктор технических наук, заведующая лабораторией биотехнологии органических кислот, пищевых и кормовых добавок, galina.volkova@bk.ru

Соколова Елена Николаевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, elenaniksokolova@inbox.ru

Ионов Владислав Виталиевич – инженер-технолог отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, ionow.vlad2014@gmail.com

Давыдкина Вера Евгеньевна – инженер-технолог отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, ver2137@yandex.ru

Фурсова Наталья Александровна – заведующий лабораторией биотехнологии пекарных дрожжей, pekardroj@yandex.ru

Серба Елена Михайловна – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, заведующий отделом биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, serbae@mail.ru

Information about authors

Volkova Galina Sergeevna – Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Biotechnology of Organic Acids, Food and Feed Additives, galina.volkova@bk.ru

Sokolova Elena Nikolaevna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeasts, Organic Acids and Dietary Supplements, elenaniksokolova@inbox.ru

Ionov Vladislav Vitalievich – process engineer of the department of biotechnology of enzymes, yeast, organic acids and dietary supplements, ionow.vlad2014@gmail.com

Davydkina Vera Evgenievna – process engineer, department of biotechnology of enzymes, yeast, organic acids and dietary supplements, ver2137@yandex.ru

Fursova Natalya Aleksandrovna – head of the laboratory of biotechnology of baker's yeast, pekardroj@yandex.ru

Serba Elena Mikhailovna – Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeasts, Organic Acids and Dietary Supplements, serbae@mail.ru