

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66>
УДК 663.05:613.26



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРМЕНТОВ

Алла А. Фабрицкая, Семен О. Семенихин, Владимир О. Городецкий,
Наталья И. Котляревская, Елена П. Викторова

*Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»;
Тополиная аллея, д. 2, Краснодар, 350072, Российская Федерация*

Аннотация. В статье приведен обзор современных исследований отечественных и зарубежных ученых в области экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов. Экстракция биологически активных веществ с применением ферментов позволяет осуществлять управляемую биотрансформацию растительного сырья за счет точной специфичности и селективности ферментов, что создает мягкие условия, обеспечивающие сохранение биологически активных веществ. Отмечено, что качество применяемого экстрагента оказывает существенное влияние на эффективность процесса экстракции. Так, сырье, обработанное комбинацией электролита и фермента, экстрагируется более эффективно за счет снижения барьера массопереноса. Главное преимущество применения в качестве экстрагента сверхкритических жидкостей заключается в том, что снижение температуры или давления приводит к выпадению экстрагируемого вещества в осадок. Одним из главных недостатков процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов является их высокая стоимость. Для исключения указанного недостатка используют следующие методы интенсификации: ультразвуковую обработку, обработку с применением высокого давления и микроволновую обработку. Наиболее перспективными методами интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов являются методы ультразвуковой и микроволновой обработки. Ультразвуковая обработка при оптимальных условиях позволяет повысить активность ферментов, а микроволновая обработка обеспечивает более эффективное проникновение экстрагента в ткани растительного материала благодаря разрушению клеточных стенок.

Ключевые слова: экстракция, ферменты, биологически активные вещества, методы интенсификации, ультразвуковая обработка, микроволновая обработка, обработка высоким давлением

Для цитирования: *Современные исследования в области интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов / Фабрицкая А.А. [и др.] // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 2. С. 56–66. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66>*

MODERN RESEARCH ON THE EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM PLANT RAW MATERIALS USING ENZYMES

Alla A. Fabritskaya, Semyon O. Semenikhin, Vladimir O. Gorodetsky,
Natalia I. Kotlyarevskaya, Elena P. Victorova

*Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of
FSBSI «The North Caucasian Federal Research Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking»;
2 Topolinaya Alley, Krasnodar, 350072, the Russian Federation*

Annotation. The article overviews modern studies of domestic and foreign scientists in the field of extraction of biologically active substances from plant materials using enzymes. Extraction of biologically active substances using enzymes allows for controlled biotransformation of plant materials due to the precise specificity and selectivity of enzymes, which creates mild conditions that ensure the preservation of biologically active substances. It has been noted that the quality of the extractant used has a significant effect on the efficiency of the extraction process. Thus, raw materials treated with a combination of an electrolyte and an enzyme are extracted more efficiently by reducing the mass transfer barrier. The main advantage of using supercritical fluids as an extractant is a decrease in temperature or pressure that leads to the precipitation of the extractable substance. One of the main disadvantages of the process of extracting biologically active substances from plant materials using enzymes is their high cost. To eliminate this disadvantage, the following intensification methods are used: ultrasonic treatment, high pressure treatment and microwave treatment. The most promising methods for intensifying the process of extracting biologically active substances from plant materials using enzymes are methods of ultrasonic and microwave treatment. Ultrasonic treatment under optimal conditions allows increasing the activity of enzymes, and microwave treatment provides more efficient penetration of the extractant into the tissues of plant material, due to the destruction of cell walls.

Keywords: extraction, enzymes, biologically active substances, intensification methods, ultrasonic treatment, microwave treatment, high pressure treatment

For citation: *Modern research on the extraction of biologically active substances from plant raw materials using enzymes / Fabritskaya A.A. [et al.] // New technologies. 2021. Vol. 17, No. 2. P. 56–66. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66>*

Биологически активные вещества имеют большое значение в протекании физиологических процессов живых организмов, в частности человека. Применение биологически активных веществ в рационе питания способствует поддержанию нормальной жизнедеятельности организма, а также оказывает на организм не только профилактическое, но и лечебное действие [1].

Одним из эффективных биотехнологических методов управляемой трансформации растительного сырья с целью извлечения биологически

активных веществ является применение ферментов. Ферменты катализируют гидролиз с высоким уровнем селективности, снижая количество используемого экстрагента, сокращают продолжительность экстракции биологически активных веществ и позволяют получить вещества высокого качества при меньшей ресурс- и энергоёмкости [2]. Кроме этого, применение ферментов для извлечения биологически активных веществ из растительного сырья обеспечивает более высокий выход целевого компонента.

Экстракция биомолекул из растительного сырья с применением ферментов является потенциальной альтернативой традиционной кислотно-спиртовой экстракции и привлекает всё больше внимания, так как является эффективной и экологически безопасной. Экстракция с применением ферментов зависит от характерного свойства ферментов участвовать в реакции с точной специфичностью и селективностью при соблюдении мягких условий, обеспечивающих сохранение биологически активных веществ [3].

Одним из наиболее востребованных биологически активных веществ являются пектины, которые широко применяются в производстве функциональных и специализированных продуктов питания.

В настоящее время зарубежными исследователями большое внимание уделяется ферментативному выделению пектина. Ферменты, применяемые для экстракции пектина, в основном направлены на деструкцию полисахаридов, формирующих клеточную стенку растительного сырья, для повышения ее проницаемости. К ним относятся ксиланаза, протеаза, целлюлаза, гемицеллюлаза, полигалактураназа, α -амилаза и пектинэстераза [4]. Эффективность экстракции зависит от таких факторов, как тип фермента, его количество, время реакции, значение pH, температура, а также природа растительного сырья [5].

Китайские ученые экстрагировали пектин из кожуры маракуйи с применением коммерческого фермента целлюкаст [6]. Оптимальными условиями для экстракции пектина являются: количество фермента 1,67% к массе сухих веществ и температура 61 °С. Выход пектина составил 7,12%, что сопоставимо с традиционным методом экстракции. Однако пектин, полученный с применением фермента, превосходил по качеству пектин, полученный по традиционной технологии, а именно имел более высокую степень метоксилирования.

В другом исследовании [7] 23% пектина было извлечено из цедры лайма с применением ламинекса, полученного из *Penicillium funiculosum*, с параметрами процесса: pH 3,5, продолжительность 4 ч и температура 50 °С. Экстрагированный пектин имел степень метоксилирования 82%.

В работе российских исследователей приведены результаты по обработке измельченных овсяных отрубей комплексом ферментных препаратов с целью выделения олигосахаридов [8]. Согласно экспериментальным данным в экстракте, выделенном с применением ферментов, отмечено высокое содержание ксилоолигосахаридов (71,5%) и низкое содержание остаточных углеводов (11%), что говорит о более полном извлечении целевых компонентов. Подтвержден пребиотический эффект полученного экстракта, что открывает перспективы его использования в технологии продуктов питания.

В исследовании других российских ученых был успешно использован метод экстракции пигментов из моркови с применением ферментных препаратов Фруктоцим МА, Фруктоцим БЕ и Целлолюкс-А [9]. Было отмечено, что экстракция с применением Целлолюкс-А в комбинации с Фруктоцим МА и Фруктоцим БЕ обеспечивает высокий выход каротиноидов, а экстракция с применением Фруктоцим МА – высокий выход хлорофиллов.

Целью работы ученых химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева явилось изучение изменения углеводного профиля соевой мелассы с применением гидролитических ферментных препаратов – трансглюкозидазы L-2000, Ладозима, Veron BA, Rohalase Barley, Rohalase SEP, Целлолюкса-А [10]. Исходя из полученных данных, при использовании ферментного препарата Целлолюкс-А в количестве 2% к массе субстрата концентрация редуцирующих веществ при обработке соляной кислотой в течение 60 минут достигает 2,4 г/л, что

составляет 37% от массы сухих веществ субстрата. Установлено, что при проведении ферментативной обработки содержание общих сахаров остается постоянным, то есть происходит только изменение содержания отдельных углеводных фракций, но не их общего содержания.

Одним из главных факторов, определяющих эффективность экстракции, является природа и качество применяемого экстрагента. Так, китайские исследователи для получения хлорогеновой кислоты из листьев Эвкоммии вязолистной наряду с ферментами применяли экстрагенты на основе имидазола, обладающие электролитическими свойствами [11; 12]. В результате была установлена перспективность этого метода экстракции по сравнению с традиционным. Результаты сканирующей электронной микроскопии образцов растительного сырья показали, что сырье, обработанное комбинацией электролита и фермента, экстрагируется более эффективно за счет снижения барьера массопереноса. Это обеспечивает лучшее проникновение электролита в клеточную стенку растительного сырья и повышение эффективности процесса экстракции.

Отличительным преимуществом ферментативной экстракции с применением экстрагентов, обладающих электролитическими свойствами, является то, что в качестве электролита используют различные модификации анионов для извлечения конкретных биомолекул.

Применение экстрагента, обладающего электролитическими свойствами, обеспечивает его лучшее проникновение в клеточную стенку растительного материала и повышение эффективности процесса ферментативной экстракции.

Другими эффективными экстрагентами, вызывающими в последние годы большой интерес, являются сверхкритические жидкости. Это обусловлено их экстраординарными свойствами – критической температуры окружающей среды (310 °С), позволяющей извлекать

биологически активные вещества при более высоких температурах (350 °С) [13]. Главное преимущество заключается в том, что наличие модификаций в сверхкритических условиях, таких как снижение температуры или давления приводит к выпадению экстрагируемого вещества в осадок [14].

Сверхкритические методы экстракции на основе флюидов считаются дорогостоящими из-за низкого выхода экстракта при применении в экстракции сложной биологической матрицы. Однако предварительная обработка клеточной стенки гидролазой перед последующей экстракцией сверхкритическим углекислым газом компенсирует капитальные затраты, поскольку это позволяет улучшить массообмен, увеличить площадь контакта и улучшить распределение экстрагента [15].

Японские ученые установили, что ферментативная сверхкритическая жидкостная экстракция обеспечивает не только более высокий выход экстрагируемых биоактивных компонентов, но и повышение их антиоксидантной активности и других биологических свойств по сравнению с контролем [16].

Анализируя представленную информацию, в настоящее время одним из главных недостатков процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов является их высокая стоимость.

Для исключения указанного недостатка процесса экстракции с применением ферментов используют следующие методы интенсификации:

- ультразвуковая обработка;
- обработка с применением высокого давления;
- микроволновая обработка.

Ультразвуковая обработка повышает проницаемость клеточной стенки, способствует эффективности проникновения экстрагента через клеточную стенку, тем самым обеспечивая переход биомолекулы в жидкую фазу [17]. Кроме этого,

ультразвуковая обработка при оптимальных условиях (оптимальной частоте и уровне интенсивности) позволяет повысить активность ферментов. Это связано с благоприятными конформационными изменениями и структурной целостностью, которые улучшают процесс экстракции биомолекул [18].

Индийские ученые пришли к выводу, что ферментативная экстракция с применением ультразвуковой обработки не только обеспечивает изменение химического состава и морфологических особенностей полисахаридов, но и сужает их молекулярно-массовое распределение [19]. При оптимальных условиях экстракции выход полисахаридов из кукурузного шелка увеличивался с 4,56 до 7,10%. Кроме того, полисахариды, полученные методом экстракции с помощью ультразвуковой обработки, показали морфологические изменения клеточной стенки в дополнение к улучшенной антиоксидантной и противоопухолевой активности по сравнению с полисахаридами, полученными экстракцией горячей водой. Этот метод интенсификации позволяет сократить время экстракции, снизить расход экстрагента и увеличить выход биологически активного вещества.

Учитывая это, ферментативная экстракция, совмещенная с ультразвуковой обработкой, является экономически более выгодной [3].

Китайскими учеными было проведено исследование эффективности получения пектина из отходов сизаля [20]. В качестве экстрагента применялась дистиллированная вода, подкисленная соляной кислотой до pH 4,0. Указанное значение pH является оптимальным для ферментного препарата Целлюкаст. В соответствии с первым вариантом сырье обрабатывали ферментом, а затем ультразвуком. В результате выход пектина составил 31,1%. Затем эксперимент провели по второму варианту: с последовательным применением ультразвуковой обработки и последующим введением

фермента. В результате выход пектина составил 14,6%. Выход пектина, полученного с применением только ультразвуковой обработки, был выше (11,9%) по сравнению с выходом пектина, полученного с применением только фермента (9,4%), а также по сравнению с традиционной экстракцией (5,8%). Исследования подтверждают, что последовательная обработка растительного сырья ферментом и ультразвуком обеспечивает более высокий выход пектина.

В исследовании российских ученых приведены результаты по влиянию активного перемешивания экстрагента при ферментативной экстракции пектина из выжимок столовой свеклы с применением ультразвукового излучателя [21]. Количество применяемого полиферментного комплекса в пересчете на пектинолитический фермент пектиназу составляло 20 000 ед. активности при дозировке 10% к массе сырья. По результатам проведенных исследований выявлен положительный эффект активного перемешивания экстрагента при ферментативной экстракции пектина из выжимок столовой свеклы, в целом длительность процесса экстракции относительно контроля сократилась на 2 часа, а выход пектина в экстрагент оставил 65%.

Наряду с методом интенсификации процесса ферментативной экстракции с применением ультразвуковой обработки следует отметить метод интенсификации процесса экстракции путем обработки с применением высокого давления. Этот метод включает обработку растительного материала экстрагентом, обработку этой смеси изостатическим сверхвысоким гидравлическим давлением и фильтрацию смеси для удаления твердых частиц. Полученный экстракт дополнительно концентрируют, сушат или очищают, чтобы получить интересующую биомолекулу. Обработка под высоким давлением вызывает структурные изменения в растительном сырье, путем физического повреждения

клеточных мембран, тем самым увеличивая проницаемость клеточной стенки и вторичную диффузию биомолекул в экстрагент. Это обеспечивает более высокую скорость экстракции и эффективность процесса [22].

Известно, что растворимость большинства природных биомолекул увеличивается под высоким давлением. Диапазон давления, используемый для ферментативной экстракции с помощью высокого давления, составляет от 100 до 1 000 МПа [23; 24].

Другим методом интенсификации процесса ферментативной экстракции является метод с применением микроволновой обработки [25]. Принцип действия микроволновой обработки заключается в поглощении СВЧ-энергии полярными экстрагентами, такими как вода, метанол, ацетон и т.д. Когда микроволны проходят через растворимую среду, молекулы экстрагента поглощают и преобразуют их в тепловую энергию, обеспечивая тем самым однородный нагрев всего образца. Ионная проводимость и дипольное вращение полярных молекул экстрагента вызывают его сверхкипение при воздействии микроволновых излучений. Использование микроволновой обработки является одним из экономически эффективных методов интенсификации процесса экстракции с применением ферментов [26].

В работе австралийских ученых было установлено, что ферментативная экстракция и микроволновая обработка имеет ряд преимуществ, таких как экологическая совместимость, высокая эффективность экстракции, сокращение времени экстракции и расхода экстрагента [27; 28].

Кроме этого, ферментативная экстракция, совмещенная с микроволновой обработкой, обеспечивает более эффективное проникновение экстрагента в ткани растительного материала, благодаря повышению температуры реакционной среды, приводящей к перегреву и испарению влаги внутри растительных клеток, что способствует разрушению клеточных стенок растительного материала [29].

На основании проведенного анализа научно-технической литературы можно сделать вывод о том, что несомненными преимуществами экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов являются увеличение выхода биологически активных веществ, сокращение расхода экстрагента и продолжительности процесса.

Кроме этого следует отметить, что наиболее перспективными методами интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов являются методы ультразвуковой и микроволновой обработки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Современные технологии функциональных пищевых продуктов / под ред. А.Б. Лисицына, В.Н. Ивановой М.: ДеЛи плюс. 2018. 432 с.
2. Enzyme assisted extraction of bioactives from plants / Puri M. [et al.]. // Trends in Biotechnology. 2012. № 30 (1). P. 37–44.
3. Shamraja S. Nadar, Priyanka Rao, Virendra K. Rathod. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology // Food Research International. 2018. P. 309–330.
4. Extraction and characterisation of pomace pectin from gold kiwifruit (*Actinidia chinensis*) / Yuliarti O. [et al.] // Food Chemistry. 2015. P. 290–296.
5. Application of non-conventional extraction methods: Toward a sustainable and green production of valuable compounds from mushrooms / E. Rosello-Soto [et al.] // Food Engineering Reviews. 2016. № 8 (2). P. 214–234.

6. Comparison of acidic and enzymatic pectin extraction from passion fruit peels and its gel properties / Liew S.Q. [et al.] // *Journal of Food Process Engineering*. 2016. № 39 (5). P. 501–511.
7. Application of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectin / M. Dominiak [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2014. № 40. P. 273–282.
8. Разработка биотехнологии получения фитовеществ из вторичных продуктов переработки зерна / Битюкова А.В. [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49, № 1 С. 11–13.
9. Адади П., Филиппова Д.С., Баракова Н.В. Влияние ферментных препаратов на извлечение пигментов из растительного сырья // *Вестник Международной академии холода*. 2019. № 1. С. 64–68.
10. Бонарева В.К., Хабибулина Н.В., Красноштанова А.А. Изучение влияния ферментативной обработки на углеводную составляющую соевой мелассы нового типа // *Успехи в химии и химической технологии*. 2019. Т. 33, № 5. С. 28–30.
11. Application of ionic liquids based enzyme assisted extraction of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves / Liu T. [et al.] // *Analytica Chimica Acta*. 2016. № 903. P. 91–99.
12. Microwave assisted extraction of essential oils from enzymatically pretreated lavender (*Lavandula angustifolia* Miller) / Calinescu I. [et al.] // *Central European Journal of Chemistry*. 2014. № 12 (8). P. 829–836.
13. Extraction of phytochemicals from saffron by supercritical carbon dioxide with water and methanol as entrainer / Nerome H. [et al.] // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2016. № 107. P. 377–383.
14. Sub-critical water as a green solvent for production of valuable materials from agricultural waste biomass: A review of recent work // *Global Journal of Environmental Science Management*. 2015. № 1 (13). P. 255–264.
15. Wang X., Chen Q., Lu X. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water // *Food Hydrocolloids*. 2014. № 38. P. 129–137.
16. Enzyme assisted supercritical fluid extraction: An alternative and green technology for non-extractable polyphenols / Mushtaq M. [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2017. № 409 (14). P. 3645–3655.
17. Rao P.R., Rathod V.K. Mapping study of an ultrasonic bath for the extraction of andrographolide from *Andrographis paniculata* using ultrasound // *Industrial Crops and Products*. 2015. P. 312–318.
18. Sojitra U.V., Nadar S.S., Rathod V.K. Immobilization of pectinase onto chitosan magnetic nanoparticles by macromolecular cross-linker // *Carbohydrate Polymers*. 2017. P. 677–685.
19. Enzymolysis-ultrasonic assisted extraction, chemical characteristics and bioactivities of polysaccharides from corn silk / Chen S. [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. 2014. № 101(1). P. 332–341.
20. Efficient extraction of pectin from sisal waste by combined enzymatic and ultrasonic process / Yishuo Y. [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 79. P. 189–196.
21. Велямов Ш.М., Джингилбаев С.С. Изучение влияния активного перемешивания экстрагента на выход пектина при ферментативной экстракции из выжимок столовой свеклы // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2020. Т. 8, № 1. С. 40–48.
22. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison / Corrales M. [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2008. № 9 (1). P. 85–91.
23. Effects of high pressure extraction on the extraction yield, total phenolic content and antioxidant activity of longan fruit pericarp / Prasad K.N. [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2009. № 10 (2). P. 155–159.
24. Shouqin Z., Jun X., Changzheng W. High hydrostatic pressure extraction of flavonoids from propolis // *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2005. № 80 (1). P. 50–54.

25. Saifuddin N., Saltanat A., Refal H. Enhancing the removal of phenolic compounds from palm oil mill effluent by enzymatic pretreatment and microwave-assisted extraction // *Chemical Science Transactions*. 2014. № 3 (3). P. 1083–1093.
26. Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants / Chan C. [et al.] // *Journal of Chromatography A*. 2011. № 1218 (37). P. 6213–6225. DOI: 10.1016/j.chroma.2011.07.040
27. Chanoti S., Siamandoura P., Tzia C. Evaluation of extracts prepared from olive oil by-products using microwave-assisted enzymatic extraction: Effect of encapsulation on the stability of final products // *Waste and Biomass Valorization*. 2016. № 7 (4). P. 831–842.
28. Enzyme assisted extraction of carbohydrates from the brown alga *Ecklonia radiata*: Effect of enzyme type, pH and buffer on sugar yield and molecular weight profiles / Charoensiddhi S. [et al.] // *Process Biochemistry*. 2016. № 51 (10). P. 1503-1510. DOI: 10.1016/j.procbio.2016.07.014.
29. Optimisation of microwave-assisted enzymatic extraction of corilagin and geraniin from *Geranium sibiricum* Linne and evaluation of antioxidant activity / Yang Y.C. [et al.] // *Food Chemistry*. 2010. № 122 (1). P. 373–380. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.02.061.

REFERENCES:

1. Modern technologies of functional food products / Ed. by A.B. Lisitsin, V.N. Ivanova. M.: DeLi plus. 2018. 432 p.
2. Puri M., Sharma D., Barrow C.J. Enzyme assisted extraction of bioactives from plants // *Trends in Biotechnology*. 2012. № 30 (1). P. 37-44. DOI: 10.1016/j.tibtech.2011.06.014.
3. Shamraja S. Nadar, Priyanka Rao, Virendra K. Rathod. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology // *Food Research International*. 2018. P. 309–330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006
4. Extraction and characterisation of pomace pectin from gold kiwifruit (*Actinidia chinensis*) / Yuliarti O. [et al.] // *Food Chemistry*. 2015. P. 290–296. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.148.
5. Application of non-conventional extraction methods: toward a sustainable and green production of valuable compounds from mushrooms / E. Rosello-Soto [et al.] // *Food Engineering Reviews*. 2016. № 8 (2). P. 214–234. DOI: 10.1007/s12393-015-9131-1.
6. Comparison of acidic and enzymatic pectin extraction from passion fruit peels and its gel properties / Liew S. Q. [et al.] // *Journal of Food Process Engineering*. 2016. № 39 (5). P. 501–511. DOI: 10.1111/jfpe.12243.
7. Application of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectin / M. Dominiak [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2014. № 40. P. 273-282. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.03.009.
8. New Biotechnology for the Production of Phytochemicals from Secondary Products of Grain Processing / Bityukova A.V. [et al.] // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019. Vol. 49, № 1. P. 11–13. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-1-5-13.
9. Adadi P., Filippova D.S., Barakova N.V. The effect of enzyme preparations on extracting the pigments from plant raw materials // *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 1. P. 64–68. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-64-68.
10. Bonareva V.K., Khabibulina N.V., Krasnoshtanova A.A. Study of the effect of enzymatic treatment on the carbohydrate component of soybean molasses of a new type // *Advances in chemistry and chemical technology*. 2019. Vol. 33, No. 5. P. 28–30.
11. Application of ionic liquids based enzyme assisted extraction of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves / Liu T. [et al.] // *Analytica Chimica Acta*. 2016. № 903. P. 91–99. DOI: 10.1016/j.aca.2015.11.029.
12. Microwave assisted extraction of essential oils from enzymatically pretreated lavender (*Lavandula angustifolia* Miller) / Calinescu I. [et al.] // *Central European Journal of Chemistry*. 2014. № 12 (8). P. 829–836. DOI: 10.1016/j.cej.2017.02.003.

13. Extraction of phytochemicals from saffron by supercritical carbon dioxide with water and methanol as entrainer / Nerome H. [et al.] // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2016. № 107. P. 377–383. DOI: 10.1016/j.supflu.2015.10.007.
14. Shitu A., Izhar S., Tahir T.M. Sub-critical water as a green solvent for production of valuable materials from agricultural waste biomass: A review of recent work // *Global Journal of Environmental Science Management*. 2015. № 1 (13). P. 255–264. DOI: 10.7508/gjesm.2015.03.008.
15. Wang X., Chen Q., Lu X. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water // *Food Hydrocolloids*. 2014. № 8. P. 129–137. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.003.
16. Enzyme assisted supercritical fluid extraction: An alternative and green technology for non-extractable polyphenols / Mushtaq M. [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2017. № 409 (14). P. 3645–3655. DOI: 10.1007/s00216-017-0309-7.
17. Rao P.R., Rathod V.K. Mapping study of an ultrasonic bath for the extraction of andrographolide from *Andrographis paniculata* using ultrasound // *Industrial Crops and Products*. 2015. P. 312–318. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.11.046.
18. Sojitra U.V., Nada, S.S., Rathod V.K. Immobilization of pectinase onto chitosan magnetic nanoparticles by macromolecular cross-linker // *Carbohydrate Polymers*. 2017. P. 677–685. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.10.018.
19. Enzymolysis-ultrasonic assisted extraction, chemical characteristics and bioactivities of polysaccharides from corn silk / Chen S. [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. 2014. № 101 (1). P. 332–341. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.046.
20. Efficient extraction of pectin from sisal waste by combined enzymatic and ultrasonic process / Yishuo Yang [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 79. P. 189–196. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.11.051.
21. Velyamov Sh.M., Jingilbaev S.S. Study of the Effect of Active Mixing of the Extractant on the Yield of Pectin During Enzymatic Extraction from Beetroot // *Bulletin of the South Ural State University. Seria: Food and Biotechnology*. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 40–48. DOI: 10.14529/food200105.
22. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison / Corrales M. [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2008. № 9 (1). P. 85–91. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.06.002.
23. Effects of high pressure extraction on the extraction yield, total phenolic content and antioxidant activity of longan fruit pericarp / Prasad K.N. [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2009. № 10 (2). P. 155–159. DOI: 10.1016/j.ifset.2008.11.007.
24. Shouqin Z., Jun X., Changzheng W. High hydrostatic pressure extraction of flavonoids from propolis // *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2005. № 80 (1). P. 50–54. DOI: 10.1002/jctb.1153.
25. Saifuddin N., Saltanat A., Refal H. Enhancing the removal of phenolic compounds from palm oil mill effluent by enzymatic pretreatment and microwave-assisted extraction // *Chemical Science Transactions*. 2014. № 3 (3). P. 1083–1093.
26. Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants / Chan C. [et al.] // *Journal of Chromatography A*. 2011. № 1218 (37). P. 6213–6225. DOI: 10.1016/j.chroma.2011.07.040.
27. Chanioti S., Siamandoura P., Tzia C. Evaluation of extracts prepared from olive oil by-products using microwave-assisted enzymatic extraction: Effect of encapsulation on the stability of final products // *Waste and Biomass Valorization*. 2016. № 7 (4). P. 831–842.
28. Enzyme assisted extraction of carbohydrates from the brown alga *Ecklonia radiata*: Effect of enzyme type, pH and buffer on sugar yield and molecular weight profiles / Charoensiddhi S. [et al.] // *Process Biochemistry*. 2016. № 51 (10). P. 1503–1510. DOI: 10.1016/j.procbio.2016.07.014.
29. Optimisation of microwave-assisted enzymatic extraction of corilagin and geraniin from *Geranium sibiricum* Linne and evaluation of antioxidant activity / Yang Y.C. [et al.] // *Food Chemistry*. 2010. № 122 (1). P. 373–380. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.02.061.

Информация об авторах/ Information about the authors

Алла Андреевна Фабрицкая, младший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

a.a.gordievskaya@mail.ru

Семен Олегович Семенихин, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», кандидат технических наук

semenikhinso@mail.ru

Владимир Олегович Городецкий, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», кандидат технических наук

gorodeckyvo@mail.ru

Наталья Ивановна Котляревская, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

kotlyarevskayani@mail.ru

Елена Павловна Викторова, главный научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации Краснодарского

Alla A. Fabritskaya, a junior researcher of the Department of Sugar and Sugar Products Technology, Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of FSBSI «The North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking»

a.a.gordievskaya@mail.ru

Semyon O. Semenikhin, head of the Department of Sugar and Sugar Products Technology, Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of FSBSI «The North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking», Candidate of Technical Sciences

semenikhinso@mail.ru

Vladimir O. Gorodetsky, a senior researcher of the Department of Sugar and Sugar Products Technology, Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of FSBSI «The North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking», Candidate of Technical Sciences

gorodeckyvo@mail.ru

Natalya I. Kotlyarevskaya, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugar Products, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugar Products, Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of FSBSI «The North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking»

kotlyarevskayani@mail.ru

Elena P. Victorova, a chief researcher of the Department of Food Technologies, Quality Control and Standardization Krasnodar Research Institute for Storage and

научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», доктор технических наук, профессор
kornena@bk.ru

Processing of Agricultural Products – a branch of FSBEI «The North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking», Doctor of Technical Sciences, a professor
kornena@bk.ru

Поступила 11.03.2021

Received 11.03.2021

Принята в печать 01.04.2021

Accepted 01.04.2021