

Шахрай Т.А., Викторова Е.П., Великанова Е.В., Корнен Н.Н.
СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ
ПЕРЕРАБОТКИ ЯБЛОК

Шахрай Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия
E-mail: sakrai@yandex.ru

Викторова Елена Павловна, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия
E-mail: kisp@kubannet.ru

Великанова Елена Васильевна, научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия
E-mail: kisp@kubannet.ru

Корнен Николай Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия
E-mail: kisp@kubannet.ru

Вторичные ресурсы переработки яблок – яблочные выжимки, образующиеся при производстве сока прямого отжима, служат ценным источником комплекса антиоксидантов таких, как фенольные соединения, содержат в своем составе пищевые волокна, в том числе пектиновые вещества, целлюлозу и гемицеллюлозы, витамины группы В, макро- и микроэлементы. В статье представлен обзор современных исследований в области получения пищевых ингредиентов из вторичных ресурсов переработки яблок. Так, яблочные выжимки были изучены многими исследователями как перспективный источник биологически активных фенольных соединений, которые применяют в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, благодаря их высокой антиоксидантной и антимикробной активности. Другим пищевым ингредиентом, для получения которого в качестве сырья используются яблочные выжимки, являются пектины, что обусловлено широким применением пектина в пищевой промышленности (производство зефира, мармелада, конфитюров, джемов, колбасных изделий, соков, йогуртов, хлебобулочных изделий и других продуктов), в медицине и фармацевтике (производство детских гранул, суспензий, гелей, для придания вязкости эмульсиям, связывания ионов тяжелых металлов, лечения ран, выработки питательных сред), косметической промышленности (производство некоторых видов масок для лица и гелей). В результате биоконверсии яблочных выжимок может быть получен ряд пищевых

органических кислот L формы: уксусной, лимонной и молочной кислот. Проведенный обзор современных зарубежных исследований в области получения пищевых ингредиентов из яблочных выжимок показал перспективность их использования в качестве ценного сырья, а также актуальность и необходимость разработки отечественных высокоэффективных инновационных технологий производства фенольных соединений, пектина и пищевых органических кислот для решения задач импортозамещения.

Ключевые слова: вторичные ресурсы, яблочные выжимки, антиоксиданты, фенольные соединения, пектины, пищевые органические кислоты.



Для цитирования: Современные исследования в области получения пищевых ингредиентов из вторичных ресурсов переработки яблок / Шахрай Т.А., Викторова Е.П., Великанова Е.В., Корнен Н.Н. // Новые технологии. 2020. Вып. 3(53). С. 80-88. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10309.

Shakhrai T.A., Victorova E.P., Velikanova E.V., Kornen N.N.

**MODERN RESEARCH IN THE FIELD OF OBTAINING FOOD
INGREDIENTS FROM SECONDARY APPLE PROCESSING RESOURCES**

Shakhrai Tatyana Anatolievna, Candidate of Technical Sciences, an associate professor, a leading researcher of the Department of Food Technologies, Quality Control and Standardization

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution NCFSCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: sakrai@yandex.ru

Victorova Elena Pavlovna, Doctor of Technical Sciences, a professor, Deputy for science

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution NCFSCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: kisp@kubannet.ru

Velikanova Elena Vasilievna, a researcher of the Department of Food Technologies, Quality Control and Standardization

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution NCFSCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: kisp@kubannet.ru

Kornen Nikolay Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Food Technologies, Quality Control and Standardization

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution NCFSCHVW, Krasnodar, Russia

E-mail: kisp@kubannet.ru

Secondary apple processing resources – apple pomace formed during the production of direct-squeezed juice, serve as a valuable source of a complex of antioxidants such as phenolic compounds, contain dietary fiber, including pectin, cellulose and hemicelluloses, B vitamins, macro and trace elements. The article overviews modern research in the field of obtaining food ingredients from the secondary resources of apple processing.

So, apple pomace has been studied by many researchers as a promising source of biologically active phenolic compounds, which are used in the food, pharmaceutical and cosmetic

industries due to their high antioxidant and antimicrobial activity. Apple pomace is used as raw material for pectins due to the widespread use of pectin in the food industry (production of marshmallows, marmalade, confiture, jams, sausages, juices, yogurts, bakery products and other products), medicine and pharmaceuticals (production of baby granules, suspensions, gels, for imparting viscosity to emulsions, binding of heavy metal ions, healing of wounds, development of nutrient media), the cosmetics industry (production of certain types of face masks and gels).

As a result of bioconversion of apple pomace, a number of edible organic acids of the L form can be obtained: acetic, citric and lactic acids. A review of modern foreign studies in the field of obtaining food ingredients from apple pomace showed the promise of their use as a valuable raw material, as well as the relevance and need for the development of domestic highly effective innovative technologies for the production of phenolic compounds, pectin and food organic acids to solve the problems of import substitution.

Key words: *secondary resources, apple pomace, antioxidants, phenolic compounds, pectins, edible organic acids.*

For citation: Shakhrai T.A., Victorova E.P., Velikanova E.V., Kornen N.N. Modern research in the field of obtaining food ingredients from secondary apple processing resources // *Novye Tehnologii (Majkop)*. 2020. Issue 3(53). P. 80-88. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10309.

Одним из основных видов вторичных ресурсов переработки яблок являются яблочные выжимки, образующиеся при производстве сока прямого отжима. Яблочные выжимки служат ценным источником комплекса антиоксидантов таких, как фенольные соединения, содержат в своем составе пищевые волокна, в том числе пектиновые вещества, целлюлозу и гемицеллюлозы, витамины группы В, макро- и микроэлементы [1-3].

Учитывая это, яблочные выжимки рассматриваются в качестве потенциального сырья для получения ряда пищевых ингредиентов и биологически активных веществ.

В настоящее время, в связи с растущим интересом к новым природным источникам антиоксидантов, яблочные выжимки были изучены многими исследователями как перспективный источник биологически активных фенольных соединений, которые применяют в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, благодаря их высокой антиоксидантной и антимикробной активности [4, 5].

Несмотря на то, что потенциал яблочных выжимок, как источника фенольных соединений, является очевидным, однако разработки в области технологий получения фенольных соединений крайне ограничены.

В работе [6] авторы изучали влияние параметров микроволновой экстракции фенольных соединений из яблочных выжимок различными растворителями (смесь метанола и воды, этанол, этилацетат). На основании проведенных исследований установлены следующие параметры, обеспечивающие максимальную степень извлечения фенольных соединений: экстрагент – этанол, соотношение высушенных яблочных выжимок – экстрагент, равное 1:20, мощность СВЧ-излучения – 1000 Вт, время обработки СВЧ-излучением – 30 с, количество циклов обработки – 3, охлаждение между циклами обработки до температуры $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Анализ полученных экстрактов методом ВЭЖХ в сочетании с различными

режимами детектирования выявил наличие различных фенольных и терпеновых соединений. Основными фенолами были бензойные кислоты (галловая кислота), гидроксикоричные кислоты (хлорогеновая кислота), флаванолы (катехин и рутин) и халконы (хлоридзин).

Авторы работы [7] для выделения фенольных соединений из яблочных выжимок предложили одновременный метод экстракции / фракционирования, основанный на соединении жидкостной экстракции под давлением и твердофазной экстракции. Изучены различные параметры процесса: количество воды на первой стадии (0-120 см³), температура (60-80°C), твердофазный экстракционный адсорбент (Septra, Isolute, Strata X и Oasis) и активационный/элюиционный растворитель (метанол и этанол). Наилучшие результаты были получены с адсорбентом Septra. Показано, что разработанный метод обеспечивает выход фенолкарбоновых кислот (2,85±0,19 мг/г) и флавоноидов (0,97±0,11 мг/г).

С целью увеличения в экстракте концентрации полифенольных соединений и повышения его антиоксидантной активности предложено проводить извлечение полифенолов с применением углекислотной экстракции. Представленное итальянскими учеными исследование является одним из первых исследований по оценке влияния сверхкритического углекислого газа на извлечение антиоксидантов из яблочных выжимок [8]. В данной работе изучен потенциал сверхкритической жидкостной экстракции для извлечения фенольных соединений. Сверхкритическую жидкостную экстракцию проводили при 20 и 30 МПа и температуре 45 и 55°C в отсутствие и присутствии этанола (5%) в качестве соразтворителя. Затем полученные результаты сравнивали с результатами, полученными при экстракции методом Сокслета этанолом и экстракции кипящей водой. Все методы экстракции были выполнены на свежих, высушенных и сублимированных образцах яблочных выжимок. Экстракты характеризовались различной антиоксидантной способностью с помощью различных анализов: с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразильного радикала (ДППГ) и методом проточной инъекционной кулонометрии. Установлено, что экстракты, полученные сверхкритической жидкостной экстракцией сублимированных яблочных выжимок при 30 МПа и 45°C в течение 2 ч с этанолом (5%) в качестве соразтворителя, имели более высокую антиоксидантную активность (5,63±0,10 мг АО/г экстракта), чем традиционные технологии экстракции такие, как методом Сокслета с этанолом (2,05±0,21 мг АО/г экстракта) и экстракции кипящей водой (1,14±0,01 мг АО/г экстракта).

Другим пищевым ингредиентом, для получения которого в качестве сырья используются яблочные выжимки, является пектин. Это обусловлено его широким применением в пищевой промышленности (производство зефира, мармелада, конфитюров, джемов, колбасных изделий, соков, йогуртов, хлебобулочных изделий и других продуктов), в медицине и фармацевтике (производство детских гранул, суспензий, гелей, для придания вязкости эмульсиям, связывания ионов тяжелых металлов, лечения ран, выработки питательных сред) и косметической промышленности (производство некоторых видов масок для лица и гелей). Проводятся исследования по разработке ферментных препаратов, необходимых для выделения и модификации пектина, повышения его выхода при сохранении высоких показателей качества [9-12].

Создаются новые, экологически безопасные технологии получения пектина,

базирующиеся на применении биотехнологических и мембранных методов обработки.

В работе [9] показано, что использование субкритической водной экстракции позволяет повысить эффективность экстракции пектина и улучшить его качество. Экстракция горячей сжатой водой или подкритической водой представляет собой гидротермический процесс, основанный на смешиваемости, диэлектрической проницаемости, ионном продукте, мощности электролитического растворителя и вязкостных свойствах воды под давлением при температуре, выше ее точки кипения при атмосферном давлении и ниже критической точки. Установлено, что при оптимальной температуре (140°C) и оптимальном времени экстракции (5 мин.) выходы пектина и галактуроновой кислоты достигают 17,55 % и 8,46 % соответственно. Субкритическая водная экстракция обеспечивает высокое качество получаемого пектина.

В другом исследовании [10] для экстракции пектина из яблочных выжимок была проведена микроволновая экстракция. Этот процесс основан на использовании микроволновой энергии для быстрого нагрева растворителей, контактирующих с образцом, с целью разделения анализируемых веществ из матрицы образца в растворитель. Микроволновая экстракция значительно сокращает время экстракции (20,8 мин) при оптимальных условиях (рН 1,01, соотношение твердое тело-жидкость 0,069, СВЧ-мощность 499,4 Вт) по сравнению с традиционным методом экстракции.

Для повышения эффективности экстракции пектина из яблочных выжимок было проведено исследование по влиянию импульсного электрического поля на основе электропорации в ячейках. Выход пектина при напряженности электрического поля 15 кв·см⁻¹, числе электрических импульсов 10, значении рН 3 и температуре 60°C составил 14,12 % [11].

С целью улучшения антирадикальной активности пектина китайские ученые предложили модифицировать его структуру с применением гидроксилamina. Поскольку пектин, полученный из яблочных выжимок, обрабатывали щелочным гидроксилaminом в течение 4-48 ч, содержание гидроксамовой кислоты в производном пектина увеличивалось с 2,68 до 10,43 %. По сравнению с нативным пектином, ИК-спектры производного показали две новые полосы поглощения при 1646 см⁻¹ (СО) и 1568 см⁻¹ (N-H), подтверждая, что производное гидроксамовой кислоты из пектина успешно получено. Было также показано, что производные пектина обладают повышенной антирадикальной активностью в отношении 2,2-дифенил-1-пикрилгидразильного радикала. Таким образом, введение гидроксамовой кислоты в пектиновую структуру является эффективным методом для повышения биологической активности пектина [12].

Наряду с получением комплекса фенольных соединений и пектина, в результате биоконверсии яблочных выжимок может быть получен ряд пищевых органических кислот L формы [13-16].

Так, в результате ферментации субстрата из яблочных выжимок с применением толерантной к этанолу бактерии *Acetobacter pasteurianus* SKYAA25 может быть получена уксусная кислота [13]. В этом исследовании установлено, что для биоконверсии яблочных выжимок до уксусной кислоты эффективно применение бактериального изолята ацетобактеры *pasteurianus* SKYAA25. Изолированный штамм был толерантен к высокой концентрации этанола в дозировке до 14 % и температуре 42°C. Ферментация с применением

только яблочных выжимок в присутствии пивных дрожжей позволяет получить 7,3 % биоэтанола, который в дальнейшем используется для производства уксусной кислоты. При использовании яблочных выжимок в сочетании с тростниковой мелассой производится 14 % биоэтанола. Ферментированный биоэтанол используют в качестве среды для производства уксусной кислоты (выход 52,4 г уксусной кислоты/100 г сухого вещества).

Кроме уксусной кислоты, в результате ферментации субстрата из яблочных выжимок с применением плесневых грибов *Aspergillus niger* может быть получена лимонная кислота [14]. Установлено, что яблочные выжимки могут быть использованы в качестве субстрата для производства лимонной кислоты без какой-либо предварительной обработки и внесения других дорогостоящих синтетических питательных веществ. Более высокое продуцирование лимонной кислоты концентрацией 40,3±2 г/л было достигнуто при ферментации субстрата из яблочных выжимок с применением плесневых грибов *Aspergillus niger* при оптимальных условиях (25 г/л общего сухого вещества, использовании 3% метанола в качестве индуктора в течение 132 ч ферментации при перемешивании в ферментере [14].

Яблочные выжимки могут быть использованы в качестве сырья не только для производства уксусной и лимонной кислот, но и для производства молочной кислоты, являющейся многофункциональной и универсальной органической кислотой, имеющей широкий спектр применения в пищевой, фармацевтической, кожевенной и текстильной промышленности.

Для повышения выхода молочной кислоты из яблочных выжимок полисахариды должны быть гидролизованы, что обеспечивает получение растворов, содержащих высокие концентрации сахаров и других ферментируемых соединений [15].

Материальные балансы, представленные в работе [16], показали, что 46,5 кг молочной кислоты можно получить из 100 кг сухих яблочных выжимок путем последовательного их гидролиза и ферментации. Кроме того, одновременно было произведено 13,4 кг олигосахаридов, которые могут быть использованы в качестве ингредиентов для функциональных пищевых продуктов, и 8,2 кг микробной биомассы, которая может быть использована в качестве пробиотика.

Таким образом, проведенный обзор современных зарубежных исследований в области получения пищевых ингредиентов из яблочных выжимок показал перспективность их использования в качестве ценного сырья, а также актуальность и необходимость разработки отечественных высокоэффективных инновационных технологий производства фенольных соединений, пектина и пищевых органических кислот для решения задач импортозамещения.

Литература:

1. Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds/ Cristina G. [etc] //Industrial Crops and Products. 2013. V. 49. P. 794-804.
2. Разработка технологии производства пищевой добавки из вторичных ресурсов переработки яблок / Корнен Н.Н. [и др.] // Пищевая промышленность. 2015. №11. С. 36-38.
3. Биологически активная добавка на основе вторичных ресурсов переработки яблок / Лисовой В.В. [и др.] // Новые технологии. 2015. №4. С. 25-29.
4. Lu Y., Foo L.Y. Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple

pomace // Food Chem. 2000. V. 68. P. 81-85.

5. Wijngaard H.H, Rossle C, Brunton N.A. Survey of Irish fruit and vegetable waste and by-product as a source of polyphenolic antioxidants // Food Chemistry. 2009. V. 116. P. 202-207.

6. Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds / Cristina G. [etc] // Industrial Crops and Products. 2013. V 49. P. 794-804.

7. Simultaneous extraction and separation of bioactive compounds from apple pomace using pressurized liquids coupled on-line with solid-phase extraction / Laise C. da Silva [etc] // Food Chemistry. 2020. V. 31815. Article 126450.

8. Biorecovery of antioxidants from apple pomace by supercritical fluid extraction / Giovanna Ferrentino [etc] // Journal of Cleaner Production. 2018. V. 18610. P. 253-261.

9. Wang X., Chen Q., Lu X. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water // Food Hydrocolloids. 2014. V. 38. P. 129-137.

10. Li X., He X., Lv Y. Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace [Electronic resurs] // Journal of Food Process Engineering. 2014. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.12085>.

11. Yin Y.G., Fan X.D., Liu F.X. Fast extraction of pectin from apple pomace by high intensity pulsed electric // V.of Jilin University Engineering and Technology Edition. 2009. V. 39(5). P. 1224-1228.

12. Enhancement of anti-radical activity of pectin from apple pomace by hydroxamation / Hyun Jae Rha [etc] // Food Hydrocolloids. 2011. V. 25. P. 545-548.

13. Waste valorization: Identification of an ethanol tolerant bacterium *Acetobacter pasteurianus* SKYAA25 for acetic acid production from apple pomace / Alokika Vashisht [etc] // Science of The Total Environment. 2019. V. 69010. P. 956-964.

14. Dhillon G.S, Brar S.K, Kaur S. Rheological studies during submerged citric acid fermentation by *Aspergillus niger* in stirred fermenter using apple pomace ultrafiltration sludge [Electronic resurs] // Food and Bioprocess echnology. 2012. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0771-8>.

15. Carr F.J, Chill D, Maida N. The lactic acid bacteria: a literature review // Microbiology. 2002. V. 28. P. 281-370.

16. Gullon B, Yanez R, Alonso J. L. L-Lactic acid production from apple pomace by sequential hydrolysis and fermentation // Bioresource Technology. 2008. V. 99. P. 308-19.

Literature:

1. Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds/ Cristina G. [etc] // Industrial Crops and Products. 2013. V. 49. P. 794-804.

2. Development of technology for the production of food additives from secondary resources of apple processing / Kornen N.N. [et al.] // Food industry. 2015. No. 11. P. 36-38.

3. Dietary supplement based on secondary resources of apple processing / Lisovoy V.V. [et al.] // New technologies. 2015. No. 4. P. 25-29.

4. Lu Y., Foo L.Y. Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace // Food Chem. 2000. V. 68. P. 81-85.

5. Wijngaard H.H, Rossle C, Brunton N.A. Survey of Irish fruit and vegetable waste and by-product as a source of polyphenolic antioxidants // Food Chemistry. 2009. V. 116. P. 202-207.

6. Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds / Cristina G.

[etc] //Industrial Crops and Products. 2013. V. 49. P. 794-804.

7. Simultaneous extraction and separation of bioactive compounds from apple pomace using pressurized liquids coupled on-line with solid-phase extraction / Laise C. da Silva [etc] // Food Chemistry. 2020. V. 31815. Article 126450.

8. Biorecovery of antioxidants from apple pomace by supercritical fluid extraction / Giovanna Ferrentino [etc] // Journal of Cleaner Production. 2018. V. 18610. P. 253-261.

9. Wang X., Chen Q., Lu X. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water // Food Hydrocolloids. 2014. V. 38. P. 129-137.

10. Li X., He X., Lv Y. Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace [Electronic resurs] // Journal of Food Process Engineering. 2014. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.12085>.

11. Yin Y.G., Fan X.D., Liu F.X. Fast extraction of pectin from apple pomace by high intensity pulsed electric // V.of Jilin University Engineering and Technology Edition. 2009. V. 39(5). P. 1224-1228.

12. Enhancement of anti-radical activity of pectin from apple pomace by hydroxamation / Hyun Jae Rha [etc] // Food Hydrocolloids. 2011. V. 25. P. 545-548.

13. Waste valorization: Identification of an ethanol tolerant bacterium *Acetobacter pasteurianus* SKYAA25 for acetic acid production from apple pomace / Alokika Vashisht [etc] // Science of The Total Environment. 2019. V. 69010. P. 956-964.

14. Dhillon G.S, Brar S.K, Kaur S. Rheological studies during submerged citric acid fermentation by *Aspergillus niger* instirred fermenter using apple pomace ultrafiltration sludge [Electronic resurs] // Food and Bioprocess echnology. 2012. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0771-8>.

15. Carr F.J, Chill D, Maida N. The lactic acid bacteria: aliteraturesurv Review sin // Microbiology. 2002. V. 28. P. 281-370.

16. Gullon B, Yanez R, Alonso J. L. L-Lacticacid production from apple pomace by sequential hydrolysis and fermentation // Bioresource Technology. 2008. V. 99. P. 308-19.