

Научная статья/Research Article

УДК 664.292:533.9.082.74

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-6-160-166

Наиля Мидхатовна Даишева¹, Семен Олегович Семенихин^{2✉},
Владимир Олегович Городецкий³, Мирсабир Миразалович Усманов⁴,
Алла Андреевна Фабрицкая⁵, Наталья Ивановна Котляревская⁶

^{1,2,3,4,5,6}Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

¹hw-daisheva@yandex.ru

²semenikhin_s_o@mail.ru

³gorodecky_v_o@mail.ru

⁴usmanov_m_m@mail.ru

⁵a.a.gordievskaya@mail.ru

⁶kotlyarevskaya_n_i@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЭМП СВЧ СВЕКЛОВИЧНОГО ПРЕССОВАННОГО ЖОМА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕКТИНА

Цель исследования – изучение влияния режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина. Задачи: определить режим обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома, обеспечивающий повышение эффективности извлечения пектина, и выявить механизм влияния обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина. Объекты – свекловичный прессованный жом, измельченный до размера частиц менее 2 мм, и образцы измельченного свекловичного прессованного жома, обработанные ЭМП СВЧ при различных режимах (темпах нагрева) до достижения температуры 60 °С. Установлено, что предварительная обработка ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома позволяет повысить эффективность извлечения пектина в процессе последующей экстракции. Выявлено, что предварительная обработка ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома при темпе нагрева, равном 0,6 °С/с, до достижения температуры 60 °С, обеспечивает повышение эффективности извлечения пектина в процессе последующей экстракции на 4,94 %. Предложен механизм повышения эффективности извлечения пектина из измельченного свекловичного прессованного жома, заключающийся в интенсификации массообмена в процессе экстракции, обусловленной увеличением пористости тканей, благодаря переходу содержащейся в измельченном свекловичном прессованном жоме связанной воды в свободную, в результате чего изменяется структура клеточной стенки. Предложенный механизм подтвержден данными, полученными с применением метода ЯМ-релаксации, так как установлено, что в обработанных ЭМП СВЧ образцах измельченного свекловичного прессованного жома происходит повышение содержания свободной воды (на 10,5 %) за счет снижения содержания связанной воды.

Ключевые слова: свекловичный прессованный жом, пектин, извлечение, ЭМП СВЧ, свободная вода, связанная вода

Для цитирования: Влияние режимов обработки ЭМП СВЧ свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина / Н.М. Даишева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 6. С. 160–166. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-6-160-166.

Nailya Midkhatovna Daisheva¹, Semyon Olegovich Semenikhin²✉, Vladimir Olegovich Gorodetsky³, Mirsabir Mirabzalovich Usmanov⁴, Alla Andreevna Fabritskaya⁵, Natalya Ivanovna Kotlyarevskaya⁶

^{1,2,3,4,5,6}Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia

¹hw-daisheva@yandex.ru

²semenikhin_s_o@mail.ru

³gorodecky_v_o@mail.ru

⁴usmanov_m_m@mail.ru

⁵a.a.gordievskaya@mail.ru

⁶kotlyarevskaya_n_i@mail.ru

INFLUENCE OF EMF MW TREATING MODES OF PRESSED BEET PULP ON EFFICIENCY OF PECTIN EXTRACTION

The purpose of research is to study the effect of EMF microwave processing modes of crushed pressed beet pulp on the efficiency of pectin extraction. Tasks: to determine the mode of EMF microwave treatment of crushed beet pressed pulp, which provides an increase in the efficiency of pectin extraction, and to identify the mechanism of the effect of EMF microwave treatment of crushed pressed beet pulp on the efficiency of pectin extraction. Objects – pressed beet pulp, crushed to a particle size of less than 2 mm, and samples of crushed pressed beet pulp processed by EMF microwave under various modes (heating rates) until a temperature of 60 °C is reached. It was established that pre-treatment of crushed pressed beet pulp with EMF microwave makes it possible to increase the efficiency of pectin extraction during subsequent extraction. It was revealed that pre-treatment of crushed beet pressed pulp with EMF microwave at a heating rate of 0.6 °C/s, until a temperature of 60 °C is reached, provides an increase in the efficiency of pectin extraction during subsequent extraction by 4.94 %. A mechanism for increasing the efficiency of extracting pectin from crushed beet pulp was proposed, which consists in the intensification of mass transfer during the extraction process, due to an increase in tissue porosity, due to the transition of bound water contained in crushed beet pulp into free water, as a result of which the structure of the cell wall changes. The proposed mechanism is confirmed by the data obtained using the NM relaxation method, since it was found that in the samples of crushed pressed beet pulp processed by EMF microwave, the content of free water increases (by 10.5 %) due to a decrease in the content of bound water.

Keywords: pressed beet pulp, pectin, extraction, EMF microwave, free water, bound water

For citation: Influence of EMF MV treating modes of pressed beet pulp on efficiency of pectin extraction / N.M. Daisheva [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(6): 160–166. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-6-160-166.

Введение. Одним из приоритетов «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания [1].

Учитывая это, выделение физиологически активных веществ из продуктов растительного происхождения и их использование в функциональных продуктах питания является актуальной задачей.

Перспективным источником физиологически активных веществ является свекловичный жом – вторичный ресурс переработки сахарной свеклы, образующийся на предприятиях свеклосахарной отрасли в значительных объемах (4–5 млн т в год). В состав свекловичного жома входят преимущественно растительные полисахариды – целлюлоза, гемицеллюлозы, пектин, лигнин, а также незначительное количество белков и сахарозы.

Наибольший интерес для отечественных и зарубежных научных исследований представляет пектин, входящий в состав пектиновых веществ, связанных в клеточной стенке свекловичного жома в составе пектин-целлюлозно-гемицеллюлозного комплекса. Именно пектин, по

сравнению с другими пищевыми волокнами, обладает высокой сорбционной способностью по отношению к тяжелым металлам [2]. Это свойство предопределяет перспективность применения пектина в составе специализированных и функциональных продуктов питания [3].

Отличительной особенностью свекловичного пектина является его низкая степень этерификации в отличие от пектина, получаемого из цитрусовых, яблок и винограда, имеющего высокую степень этерификации, вследствие чего его сорбционная способность по отношению к тяжелым металлам выше [4]. Таким образом, свекловичный пектин является наиболее перспективным для применения в производстве специализированных и функциональных продуктов питания.

Известно, что одним из факторов, предопределяющих эффективность извлечения пектина из растительного сырья и вторичных ресурсов его переработки, является степень их измельчения. Проведенными ранее исследованиями установлено, что наиболее высокая эффективность извлечения пектина обеспечивается при степени измельчения прессованного жома, характеризующейся размером частиц менее 2,0 мм, которая составляет 8,49 % [5].

При разработке технологий извлечения пектина из свекловичного жома следует уделять внимание современным методам интенсификации [6]. Одним из перспективных и эффективных методов интенсификации процесса извлечения пектина из свекловичного жома является его подготовка путем обработки электромагнитным полем сверхвысоких частот (ЭМП СВЧ) [7–9].

Цель исследования – изучение влияния режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина.

Задачи: определить режим обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома, обеспечивающий повышение эффективности извлечения пектина, и выявить механизм влияния обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования использовали свекловичный прессованный жом, измельченный до размера частиц менее 2,0 мм, а также образцы измельченного свекловичного прессованного жома,

обработанные ЭМП СВЧ при различных режимах (темпах нагрева) до достижения температуры 60 °С, и измельченный свекловичный прессованный жом, нагретый до температуры 60 °С в сушильном шкафу, служащий контролем.

Образцы измельченного свекловичного прессованного жома обрабатывали ЭМП СВЧ с темпом нагрева 0,3 °С/с; 0,6 и 1,2 °С/с. Процесс извлечения пектина из образцов измельченного свекловичного прессованного жома осуществляли путем экстракции с применением в качестве экстрагента дистиллированной воды, подкисленной лимонной кислотой до значения pH 6,5, при соотношении «жом : экстрагент», равном 1 : 15, и температуре 60 °С в течение 3 ч с последующим отделением экстракта фильтрованием.

Эффективность извлечения пектина из измельченного свекловичного прессованного жома оценивали в процентах как отношение разницы содержания пектина в жоме до и после экстракции к содержанию пектина в жоме до экстракции. Содержание пектина определяли по ГОСТ 29059-91.

Исследование влияния ЭМП СВЧ на перераспределение форм воды (влаги) – свободной, связанной и прочносвязанной в измельченном свекловичном прессованном жоме осуществляли путем измерения времени спин-спиновой релаксации (T_{2i}) и амплитуд сигналов ядерно-магнитной релаксации (A_i) протонов содержащейся в жоме воды на ЯМР-анализаторе.

Результаты и их обсуждение. В таблице приведены данные по содержанию пектина в обработанных ЭМП СВЧ образцах измельченного свекловичного прессованного жома до и после экстракции.

Из представленных в таблице данных видно, что в образцах измельченного свекловичного прессованного жома, обработанных ЭМП СВЧ, содержание пектина после экстракции ниже, чем в контроле.

Таким образом, обработка ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома обеспечивает повышение эффективности процесса извлечения пектина.

На рисунке 1 приведены результаты влияния режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина.

Содержание пектина в обработанных ЭМП СВЧ образцах измельченного свекловичного прессованного жома до и после экстракции

Образец жома	Содержание пектина, % в пересчете на абсолютно сухое вещество			
	Контроль	Обработка ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома с темпом нагрева, °C/c		
		0,3	0,6	1,2
До экстракции	12,13	12,13	12,13	12,13
После экстракции	11,10	10,85	10,50	10,50

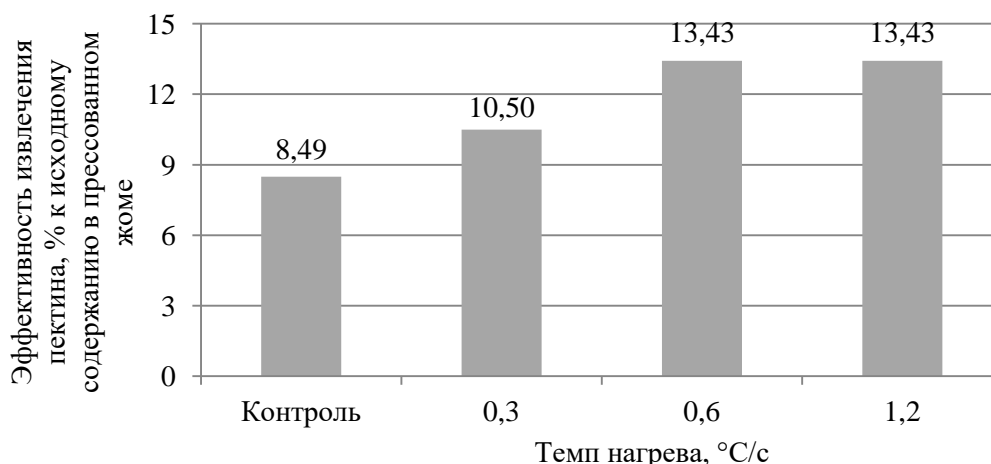


Рис. 1. Влияние режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина

Представленная на рисунке 1 диаграмма наглядно показывает, что эффективность извлечения пектина из предварительно обработанного ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома с темпом нагрева 0,3 °C/c по сравнению с контролем увеличилась на 2,01 %. Дальнейшее увеличение темпа нагрева жома ЭМП СВЧ до 0,6 и 1,2 °C/c позволило повысить эффективность извлечения пектина на 4,94 % по сравнению с контролем.

Повышение эффективности извлечения пектина из предварительно обработанного ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома обусловлено интенсификацией массообмена в процессе извлечения из-за увеличения пористости тканей благодаря переходу содержащейся в измельченном свекловичном прессованном жоме связанной воды в свободную, в результате чего изменяется структура клеточной стенки.

Для подтверждения механизма влияния предварительной обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на эффективность извлечения пектина изучали влияние режимов обработки ЭМП СВЧ на изменение содержащихся в свекловичном прессованном жоме форм воды (влаги): свободной, связанной и прочносвязанной.

Известно, что наличие указанных форм воды (влаги) в растительных объектах возможно определить путем измерения времени спин-спиновой релаксации протонов компонент воды.

На основании измерения значений времени спин-спиновой релаксации содержащихся в жоме протонов воды установлено наличие трех форм воды: свободной – с временем спин-спиновой релаксации протонов (T_{21}), равным 180 мс; связанной – с временем спин-спиновой релаксации протонов (T_{22}), равным 44 мс; прочносвязанной – с временем спин-спиновой релаксации протонов (T_{23}), равным 8 мс.

Следует отметить, что каждая из указанных форм воды может быть количественно определена путем измерения значений амплитуд сигналов ядерно-магнитной релаксации протонов воды (A_i) с конкретным временем спин-спиновой релаксации (T_{21}, T_{22} и T_{23}).

На рисунке 2 представлены в виде диаграммы данные, характеризующие влияние режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на перераспределение амплитуд сигналов ЯМР протонов содержащейся в жоме воды.

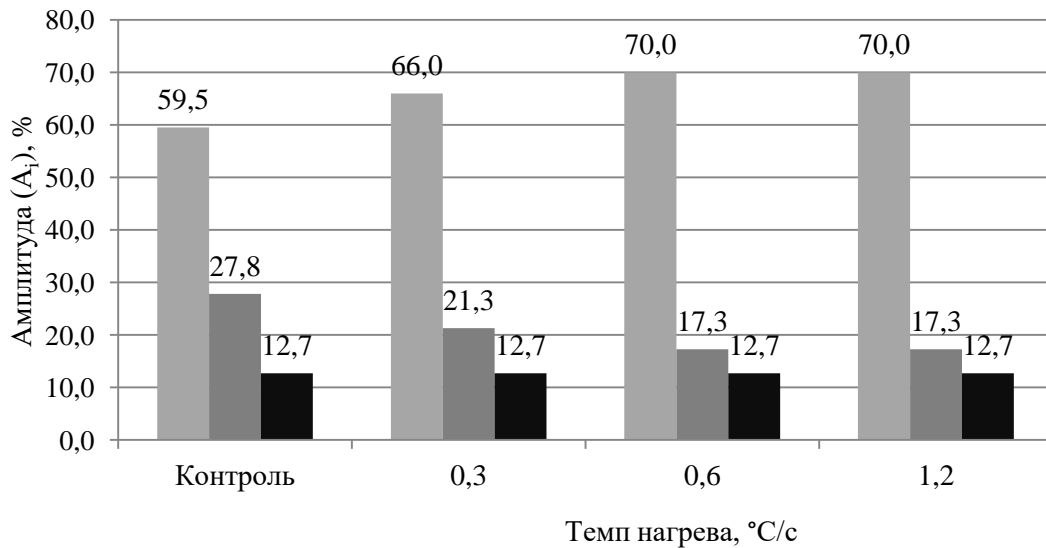


Рис. 2. Влияние режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на перераспределение амплитуд сигналов ЯМР протонов воды: □ – A₁ (свободная); ▒ – A₂ (связанная); ■ – A₃ (прочносвязанная)

Из анализа данных рисунка 2 видно, что в образцах измельченного свекловичного прессованного жома после их обработки ЭМП СВЧ увеличивается значение амплитуды A₁, характеризующей содержание свободной воды, за счет снижения значения амплитуды A₂, характеризующей содержание связанной воды, при этом значение амплитуды A₃, характеризующей содержание прочносвязанной воды, не изменяется.

Данные по влиянию режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессован-

ного жома на количество содержащейся в жоме связанной воды, перешедшей в свободную, представлены на рисунке 3.

Анализ данных рисунка 3 показывает, что максимальный эффект высвобождения связанной воды и ее переход в свободную, составляющий 10,5 %, наблюдается при предварительной обработке измельченного свекловичного прессованного жома ЭМП СВЧ с темпом нагрева 0,6 и 1,2 °C/c.

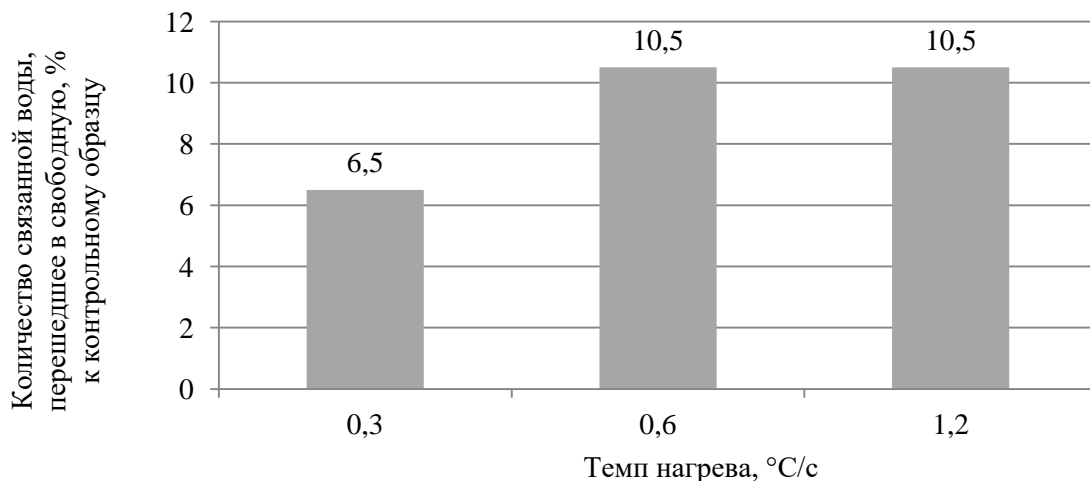


Рис. 3. Влияние режимов обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на количество содержащейся в жоме связанной воды, перешедшей в свободную

Необходимо отметить, что повышение темпа нагрева измельченного свекловичного прессованного жома до 1,2 °С/с является нецелесообразным, так как увеличивается расход энергии на его обработку, а эффективность извлечения пектина не изменяется.

Таким образом, данные, полученные с применением метода ЯМ-релаксации, позволяют подтвердить предложенный нами механизм влияния предварительной обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома на повышение эффективности извлечения пектина.

Заключение. Эффективным режимом обработки ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома для извлечения пектина в процессе последующей экстракции является темп нагрева до достижения температуры 60 °С, равный 0,6 °С/с, при котором эффективность извлечения пектина составляет 13,43 %, что на 4,94 % выше по сравнению с контролем. Предложен механизм повышения эффективности извлечения пектина из обработанного ЭМП СВЧ измельченного свекловичного прессованного жома, заключающийся в интенсификации массообмена в процессе экстракции, обусловленной увеличением пористости тканей, благодаря переходу содержащейся в измельченном свекловичном прессованном жоме связанной воды в свободную, в результате чего изменяется структура клеточной стенки. Эффект высвобождения связанной воды и ее переход в свободную составляет 10,5 %. Предложенный механизм подтвержден данными, полученными с применением метода ЯМ-релаксации.

Список источников

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. Утв. 2016-12-01. М., 2001. 25 с.
2. Детоксикационные свойства комбинированных пищевых волокон, полученных из вторичного сырья свеклосахарного производства / М.Ю. Тамова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 5-6 (371-372). С. 107–110. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.27.
3. Мацейчик И.В., Ломовский И.О., Корпачева С.М. Разработка технологии и рецептур желированных масс функционального назначения // Вестник КрасГАУ. 2014. № 7. С. 190–195.

4. Получение пищевых волокон из вторичного сырья свеклосахарного производства и их использование в функциональных продуктах питания / М.В. Лукьяненко [и др.]. Краснодар: КубГТУ, 2016. 96 с.
5. Влияние степени измельчения свекловичного прессованного жома, полученного при различных способах подготовки экстрагента, на эффективность извлечения пектина / С.О. Семенихин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 6. С. 80–84. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.6.2.10.
6. Современные исследования в области интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья с применением ферментов / А.А. Фабрицкая [и др.] // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 2. С. 56–66. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66.
7. Современные технологии получения пищевых волокон из вторичных продуктов переработки растительного сырья / М.Ю. Тамова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5-6. С. 9–13. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.2.
8. Antioxidant pectin enriched fractions obtained from discarded carrots (*Daucus carota* L.) by ultrasound-enzyme assisted extraction / A.M.I. Encalada [et al.] // Food Chemistry. 2019. № 289. P. 453–460.
9. Перфилова О.В. Изменение биологически активной ценности вторичного сырья в процессе СВЧ-нагрева // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2. С. 123–128.

References

1. Strategiya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 1 dekabrya 2016 g. № 642. Utv. 2016-12-01. M., 2001. 25 s.
2. Detoksikacionnye svojstva kombinirovannyh pischevyh volokon, poluchennyh iz vtorichnogo syr'ya sveklosaharnogo proizvodstva / M.Yu. Tamova [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya. 2019. № 5-6 (371-372). S. 107–110. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.27.
3. Macejchik I.V., Lomovskij I.O., Korpacheva S.M. Razrabotka tehnologii i receptur zhelirovannyh

- mass funkcional'nogo naznacheniya // Vestnik KrasGAU. 2014. № 7. S. 190–195.
4. Poluchenie pischevyh volokon iz vtorichnogo syr'ya sveklosaharnogo proizvodstva i ih ispol'zovanie v funkcional'nyh produktah pitaniya / M.V. Luk'yanenko [i dr.]. Krasnodar: KubGTU, 2016. 96 s.
 5. Vliyanie stepeni izmel'cheniya sveklovichnogo pressovannogo zhoma, poluchennogo pri razlichnyh sposobah podgotovki `ekstragenta, na `effektivnost' izvlecheniya pektina / S.O. Semenixin [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya. 2022. № 6. S. 80–84. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.6.2.10.
 6. Sovremennye issledovaniya v oblasti intensivizatsii processa `ekstrakcii biologicheskii aktivnykh veschestv iz rastitel'nogo syr'ya s primeneniem fermentov / A.A. Fabrickaya [i dr.] // Novye tehnologii. 2021. T. 17, № 2. S. 56–66. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-56-66.
 7. Sovremennye tehnologii polucheniya pischevyh volokon iz vtorichnykh produktov pererabotki rastitel'nogo syr'ya / M.Yu. Tamova [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya. 2018. № 5-6. S. 9–13. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.2.
 8. Antioxidant pectin enriched fractions obtained from discarded carrots (*Daucus carota* L.) by ultrasound-enzyme assisted extraction / A.M.I. Encalada [et al.] // Food Chemistry. 2019. № 289. P. 453–460.
 9. Perfilova O.V. Izmenenie biologicheskii aktivnoy cennosti vtorichnogo syr'ya v processe SVCh-nagreva // Vestnik KrasGAU. 2018. № 2. S. 123-128.

Статья принята к публикации 14.04.2023 / The article accepted for publication 14.04.2023.

Информация об авторах:

Наиля Мидхатовна Даишева¹, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов, кандидат технических наук

Семен Олегович Семенихин², заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов, кандидат технических наук

Владимир Олегович Городецкий³, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов, кандидат технических наук

Мирсабир Мирабзалович Усманов⁴, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Алла Андреевна Фабрицкая⁵, младший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Наталья Ивановна Котляревская⁶, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Information about the authors:

Nailya Midkhatovna Daisheva¹, Senior Researcher, Department of Technology of Sugar and Sugar Products, Candidate of Technical Sciences

Semyon Olegovich Semenixhin², Head of the Department of Technology of Sugar and Sugar Products, Candidate of Technical Sciences

Vladimir Olegovich Gorodetsky³, Senior Researcher, Department of Technology of Sugar and Sugar Products, Candidate of Technical Sciences

Mirsabir Mirabzalovich Usmanov⁴, Researcher, Department of Technology of Sugar and Sugar Products

Alla Andreevna Fabritskaya⁵, Junior Researcher, Department of Technology of Sugar and Sugar Products

Natalya Ivanovna Kotlyarevskaya⁶, Researcher, Department of Technology of Sugar and Sugar Products