

**Семенихин С.О., Городецкий В.О., Лукьяненко М.В., Даишева Н.М.
СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН ИЗ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА**

Семенихин Семен Олегович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ), Россия

E-mail: semenikhin_s_o@mail.ru

Городецкий Владимир Олегович, кандидат технических наук, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Россия

E-mail: gorodecky_v_o@mail.ru

Лукьяненко Мария Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Россия

E-mail: maryicja@mail.ru

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

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ, Россия

E-mail: daisheva_n_m@mail.ru

Свекловичный жом является перспективным источником для получения пектина, протопектина, целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. В статье дано краткое описание наиболее распространенной технологии получения пектина из свекловичного жома, а также результаты отечественных и зарубежных исследований, направленных на повышение выхода и качества готового продукта. Установлено, что режимы высушивания жома оказывают решающее влияние на качество получаемого пектина, предопределяя его структурирующие свойства. При уменьшении размера частиц жома для экстракции выход пектина повышается до 20 % при сопутствующем увеличении содержания галактуроновой кислоты на 60 %, однако, ухудшаются его реологические свойства. Электрохимическая обработка экстрагента для извлечения пектина позволяет увеличить выход пектина на 18-20 %, а электрообработка свекловичного жома – на 50 %. Рассмотрены научные работы, направленные на получение РГ-1 «кислого» пектина, а также ферментацию пектинов для получения олигосахаридов, обладающих лучшими пребиотическими свойствами. Приведены результаты исследований, направленных на получение химическим путем целлюлозных нанотрубок 10-70 нм в чистом виде из депектинированного жома, а также целлюлозных нанотрубок в составе гелей из свекловичного жома, подвергшегося ферментации. Описана работа, направленная на применение сушеного свекловичного жома как лигнинсодержащего сырья при производстве древесно-стружечных плит.

Ключевые слова: свекловичный жом, пищевые волокна, пектин, целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин.



Для цитирования: Современные исследования в области получения пищевых волокон из свекловичного жома / Семенихин С.О., Городецкий В.О., Лукьяненко М.В., Даишева Н.М. // Новые технологии. 2020. Вып. 1(51). С. 48-57. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10105

Semenikhin S.O., Gorodetsky V.O., Lukjanenko M.V., Daisheva N.M.
CONTEMPORARY STUDIES IN THE FIELD OF DIETARY FIBERS
ISOLATION FROM SUGAR BEET PULP

Semenikhin Semen Olegovich, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products
Krasnodar SRI of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «The North-Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-Making» (KSRISP – a branch of FSBSI NCFSCHVW), Russia
e-mail: semenikhin_s_o@mail.ru

Gorodecky Vladimir Olegovich, Candidate of Technical Sciences, head of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of KSRISP – a branch of FSBSI NCFSCHVW
E-mail: gorodecky_v_o@mail.ru

Lukyanenko Maria Victorovna, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Food Technologies, Quality Control and Standardization of KSRISP – a branch of FSBSI NCFSCHVW
E-mail: maryicja@mail.ru

Daisheva Naila Midkhatovna, Candidate of Technical Sciences, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of KSRISP – a branch of FSBSI NCFCHVW
E-mail: daisheva_n_m@mail.ru

Sugar beet pulp is a promising source for obtaining pectin, protopectin, cellulose, hemicelluloses and lignin. The article gives a brief description of the most common technology for producing pectin from sugar beet pulp, as well as the results of domestic and foreign studies aimed at improving the finished product yield and quality. It has been established that pulp drying regimes have a decisive influence on the quality of the obtained pectin, predetermining its structural properties.

With a decrease in pulp particle size for extraction, pectin yield increases by 20 % with a concomitant increase in galacturonic acid content by 60%, however, its rheological properties deteriorate. Electrochemical treatment of extractant for pectin obtaining increases pectin yield by 18-20 %, while electric treatment of the beet pulp by 50 %. The scientific works aimed at obtaining RG-1 «hairy» pectin, as well as the pectin fermentation in order to produce oligosaccharides with the best prebiotic properties have been considered. The results of the studies aimed at chemical obtaining of 10-70 nm cellulose nanotubes in pure form from depectinated pulp, as well as cellulose nanotubes in the composition of gels from fermented beet pulp, have been presented. The work aimed at the use of dried beet pulp as lignin-containing raw materials in chipboards production has been described.

Keywords: *sugar beet pulp, dietary fiber, pectin, cellulose, hemicelluloses, lignin.*

For citation: Semenikhin S.O., Gorodetsky V.O., Lukjanenko M.V., Daisheva N.M. Contemporary studies in the field of dietary fibers isolation from sugar beet pulp // *Novye Tehnologii*. 2020. Issue 1(51). P. 48-57. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10105

Одной из наиболее ресурсоемких отраслей пищевой промышленности Российской Федерации является свеклосахарная отрасль. Для удовлетворения внутреннего спроса на отечественных предприятиях требуется выработать около 5,5 млн. тонн кристаллического сахара. Учитывая, что в качестве посевного материала применяются зарубежные гибриды, среднее содержание сахара в которых достигает 18 %, а также принимая средний коэффициент завода 0,88, то для обеспечения внутренней потребности в сахаре требуется выращивать около 35 млн. тонн сахарной свеклы. Однако, в последние годы количество выращиваемой сахарной свеклы составляет 40-50 млн. тонн, что обусловило переизбыток сахара на внутреннем рынке и его низкую отпускную цену, незначительно превышающую себестоимость.

Принимая во внимание то обстоятельство, что снизить площади посевов сахарной свеклы не представляется возможным, поскольку она включена в систему севооборота, любое изменение с исключением из нее сахарной свеклы окажет негативное влияние на развитие других сельскохозяйственных культур. Для сохранения баланса в агропромышленном комплексе более перспективным решением для свеклосахарных предприятий является расширение ассортимента выпускаемой продукции, в частности, за счет переработки вторичных ресурсов.

Общеизвестно, что, наряду с сахарозой, в составе сахарной свеклы преобладают пищевые волокна – до 4 % к ее массе. Соотношение полисахаридов, формирующих пищевые волокна, зависит от конкретного гибрида сахарной свеклы и условий его вегетации и составляет: пектиновых веществ – 20-25 %, гемицеллюлоз – 30-35 %, целлюлоз 30-35 % и лигнина – 5-10 % от общей суммы пищевых волокон.

В существующей технологии переработки сахарной свеклы пищевые волокна практически неизменными сохраняются в составе свекловичного жома – побочного продукта переработки, образующегося в процессе диффузионного извлечения сахарозы в количестве 70-90 % к массе переработанной свеклы. Жом может использоваться в сыром или сушеном виде в качестве корма для крупного рогатого скота. Сушеный жом может выпускаться в насыпной, но чаще в гранулированной форме. Однако, по различным оценкам, до 10 % свекловичного жома не находит потребителя, вследствие чего становится экологически опасным отходом производства.

Учитывая это, научно-исследовательские работы, направленные на получение пищевых волокон из свекловичного жома, имеют как фундаментальную, так и прикладную значимость.

Наибольший интерес в составе вышеперечисленных пищевых волокон для отечественных и зарубежных научных исследований имеет пектин, представленный в свекловичном жоме в виде нерастворимого пектин-целлюлозного комплекса. Несмотря на всю сложность и ресурсозатратность процесса получения пектина из свекловичного жома по классической технологии, именно пектин, по сравнению с другими пищевыми волокнами, обладает высокой сорбционной активностью по отношению к тяжёлым

металлам [0]. Сорбционная активность свекловичного пектина обусловлена низкой степенью этерификации карбоксильных групп, что происходит в результате реакций деэтерификации в процессе гидролиза пектин-целлюлозного комплекса минеральными кислотами при достаточно низких значениях pH, вплоть до 1.

Классическим способом получения пектина является кислотно-спиртовая технология. Суть ее заключается в кислотном гидролизе прочного пектин-целлюлозного комплекса свекловичного жома и последующей спиртовой коагуляции молекул пектина с дальнейшим отделением фильтрованием или центрифугированием [0].

Китайские исследователи изучали влияние степени измельчения свекловичного жома на выход, состав и реологические свойства пектина, экстрагированного кислотно-нагревательным методом [0]. Установлено, что при уменьшении размера частиц исходного экстракционного материала с 406,33 до 24,93 мм выход в процессе экстракции увеличился с 15,81 % до 20,50 %, а содержание галактуроновой кислоты увеличилось с 38,51 % до 59,97 %. Однако, при уменьшении размера частиц также снижались реологические свойства получаемого пектина.

В работе французских исследователей рассмотрена экстракция пектина с использованием электрических разрядов высокого напряжения (ЭРВН) в качестве способа предварительной обработки сырья [0]. На первом этапе исследователи установили оптимальные значения амплитуды и частоты импульсов, а именно, 40 кВ и 100 Гц, обеспечивающие наибольший выход пектина. После предварительной обработки ЭРВН проводили последующую экстракцию пектина подкисленной водой, варьируя pH и температуру процесса. Установлено увеличение выхода пектина с 42,6 % для необработанного жома до 53,4 % для жома, обработанного ЭРВН, при лучших условиях экстракции, а именно при температуре 90°C, значении pH, равном 2, и продолжительности 1 час. Методами инфракрасной спектроскопии и газовой хроматографии установлена схожесть функциональных групп и химического состава между стандартным пектином сахарной свеклы и полученным экспериментальным путем.

В работе китайских исследователей рассмотрена модификация пектина, извлеченного из свекловичного жома раствором лимонной кислоты, с помощью импульсного электрического поля [0]. В результате обработки пектина и арахидного ангидрида импульсным электрическим полем в присутствии катализаторов получали арахаты пектина. Полученные образцы модифицированных производных пектина исследовали в инфракрасном спектре, рентгеновском спектре, ядерно-магнитным резонансом и термогравиметрией. Установлено, что степень этерификации производных пектина увеличивалась с 49 до 84 ед. при повышении интенсивности импульсного электрического поля с 18 до 30 кВ/см и времени обработки с 30 до 50 мин. Результаты показали, что технология импульсного электрического поля является перспективным методом промышленного производства производных пектина.

Исследования английских ученых были направлены на экстракцию рамногалактуронового-1 (РГ-1) «кислого» пектина, который невозможно получить традиционной кислотно-спиртовой технологией при высокой температуре [0]. В работе рассмотрены несколько альтернативных способов экстракции пектина, а именно, микроволновая обработка при атмосферном давлении, экстракция различными растворителями при атмосферном давлении, а также микроволновая обработка и гидротермальная экстракция водой под давлением. Установлено, что оптимальное время

обработки в первых двух способах при атмосферном давлении и температуре 90°C, независимо от используемых растворителей, составляло 120 мин, при микроволновой обработке и гидротермальной экстракции водой под давлением при 130°C время экстракции удалось сократить до 10 мин. Однако, РГ-1 «кислый» пектин, экстрагированный с использованием NaOH в качестве растворителя при pH 13 с помощью микроволновой обработки при атмосферном давлении, имел самый высокий выход и чистоту.

Группа европейских исследователей сравнивала пектиновые олигосахариды, полученные из кожуры лимона и свекловичного жома [0]. Олигосахариды из лимонного пектина показали бóльшую молекулярную массу, более высокую степень метилирования и более низкую степень ацетилирования, чем олигосахариды из свекловичного пектина. Пребиотические свойства исследуемых олигосахаридов определяли в сравнении с промышленными фруктоолигосахаридами путем ферментации *in vitro* и флуоресценции *in situ* гибридизацией с использованием фекального инокулята человека и восьми различных зондов. Совместные популяции бифидобактерий и лактобацилл увеличились с 19% до 29%, 34% и 32% в культурах с лимонными, свекловичными и фруктоолигосахаридами, соответственно. Патогенные микроорганизмы, присутствующие в организме человека, такие как *Faecalibacterium* и *Roseburia* также увеличили свое количество во всех субстратах (особенно лимонных). Самые высокие концентрации органических кислот наблюдались в средах, содержащих олигосахариды. Эта работа подтверждает, что пектиновые олигосахариды обладают лучшими пребиотическими свойствами, чем пектины, а также аналогичны или лучше, чем промышленные фруктоолигосахариды.

В работе китайских исследователей рассмотрено влияние различных условий сушки на свойства пектина, экстрагированного из свекловичного жома [0]. Пектины из сахарной свеклы, полученные путем горячей воздушной сушки при температурах 40, 50, 60°C, вакуумной сушки при температурах 40, 50, 60°C, сублимационной сушки и распылительной сушки при температурах 160, 190, 220°C, были оценены по показателям структурной вязкости, энергии активации, химической структуре, степени этерификации и эмульгирующим свойствам. В результате исследований установлено, что условия сушки оказывают влияние на структурную вязкость и энергию активации всех образцов пектина. Инфракрасная спектроскопия не выявила существенных структурных различий в пектине сахарной свеклы, полученном при различных условиях сушки. Дзета-потенциал и проводимость для различных высушенных образцов составляли от 47,9 до 55,6 мВ и от 0,0079 до 0,0095 мСм/см соответственно. Отмечено, что условия сушки оказывают значительное влияние на эмульгирующие свойства пектина из сахарной свеклы.

Негативное воздействие на проведение отечественных исследований в области получения пектина из свекловичного жома были вызваны длительными поставками на отечественный рынок зарубежного высокоэтерифицированного пектина, получаемого из яблок и цитрусовых [0]. Однако, учитывая текущее состояние Российской свеклосахарной отрасли, а также ориентацию промышленности на импортзамещение, исследования по получению пектина из свекловичного жома требуют особого внимания у отечественных ученых.

Исследователи из Воронежской государственной технологической академии предлагают усовершенствовать общепринятую технологию кислотно-спиртового выделения пектина из свекловичного жома путем электрохимической активации воды, применяемой в качестве экстрагента [0]. Авторы предлагают осуществлять электрохимическую активацию (ЭХА) воды путем ее насыщения NaCl и последующей обработки в диафрагменном электролизере с получением анолита с pH 2,0-5,0 и католита с pH 7,5-8,0. Анолит предлагается использовать в качестве экстрагента на первом этапе экстрагирования, а католит – на втором этапе для доэкстракции пектина из растительной массы. Экстрагированный пектин далее предлагается получать в сухом виде по общепринятой технологии с применением спирта. Применение электрохимической активации экстрагента при двухступенчатой экстракции позволяет увеличить выход пектина на 18-20 % по сравнению с общепринятой технологией кислотно-спиртового выделения пектина.

Для выделения прочих пищевых волокон, имеющих в свекловичном жоме, в исследованиях зарубежных ученых применяется в качестве сырья депектинированный жом.

Группа китайских и австралийских исследователей получала целлюлозные нановолокна диаметром 10-70 нм из депектинированного свекловичного жома и изучала их свойства [0]. Депектинированный свекловичный жом вначале подвергался щелочной обработке с целью удаления гемицеллюлоз и лигнина, после чего раствор целлюлозы отбеливался и гомогенизировался под высоким давлением. Удаление сопутствующих пищевых волокон позволило увеличить кристалличность целлюлозных нановолокон с 35,67 до 69,62 %. Авторы предлагают использовать получаемые нановолокна в качестве армирующего материала в биокompозитах.

Исследователи из Дании занимались вопросом получения гелей с целлюлозными нановолокнами из свекловичного жома, не подвергнутого депектинированию, в отличие от ранее описанной работы [0]. Другой особенностью работы является то, что удаление пектина, гемицеллюлоз и лигнина осуществлялось ферментативно, а не химически. Это позволило сократить расход воды для получения целлюлозных нановолокон на 67 %. Остаточное содержание пектина в гелях, получаемых ферментативно, способствовало увеличению их сохранности в 2,7 раза по сравнению с гелями, получаемыми химическим путем.

Польские исследователи изучали возможность применения сушеного свекловичного жома в качестве заменителя древесины при производстве древесно-стружечных плит [0]. В исследованиях осуществляли замену части древесины на сушеный свекловичный жом в среднем слое трехслойных древесно-стружечных плит. Установлено, что для удовлетворения требований Евросоюза, предъявляемых к древесно-стружечным плитам для внутренней отделки (включая мебель) для использования в сухих условиях, можно заменить до 30 % древесины на сушеный свекловичный жом. С экологической точки зрения результаты проведенных исследований являются достаточно значимыми, так как свекловичный жом, по сравнению с древесиной, является возобновляемым сырьем.

Проведенный обзор отечественных и зарубежных исследований показал перспективность разработки способов получения пищевых волокон и их производных, а

также рациональность применения свекловичного жома в других отраслях народного хозяйства.

Учитывая, что свекловичный пектин имеет этерификацию ниже, чем пектины, получаемые из других видов сырья таких, как цитрусовые и яблоки, он имеет лучшие функциональные свойства такие, как способность связывать тяжелые металлы. Кроме этого, нарастающий переизбыток основного продукта переработки сахарной свеклы на отечественном рынке будет способствовать снижению его стоимости, что при своевременном пересмотре приоритетов развития предприятий окажет положительное влияние на замещение импортных пектинов и их производных.

Литература:

1. Технологии производства продуктов здорового питания из растительного сырья / Ильина И.А. [и др.]. Краснодар: Просвещение-Юг, 2018. 315 с.
2. Получение пищевых волокон из вторичного сырья свеклосахарного производства и их использование в функциональных продуктах питания / Лукьяненко М.В. [и др.]. Краснодар: КубГТУ, 2016. 96 с.
3. Xin H., Dong Li, Li-jun W. Effect of particle size of sugar beet pulp on the extraction and property of pectin // *Journal of Food Engineering*. 2018. No. 218. P. 44-49.
4. Fouad Almohammed, Mohamed Koubaa, Anissa Khelfa, Matheus Nakaya, Houcine Mhemdi, Eugène Vorobiev. Pectin recovery from sugar beet pulp enhanced by high-voltage electrical discharges // *Food and Bioproducts Processing*. 2017. No. 103. P. 95-103.
5. Sen Maa, Zhong-he Wang. Pulsed electric field-assisted modification of pectin from sugar beet pulp // *Carbohydrate Polymers*. 2013. No. 92. P. 1700-1704.
6. Understanding the influence of processing conditions on the extraction of rhamnogalacturonan-I «hairy» pectin from sugar beet pulp / Mao Y. [et al] // *Food Chemistry*. 2019. No. 2.
7. Prebiotic potential of pectins and pectic oligosaccharides derived from lemon peel wastes and sugar beet pulp: A comparative evaluation / Belén Gómez [et al] // *Journal of Functional Foods*. 2016. No. 20. P. 108-121.
8. Xin Huang, Dong Li, Li-jun Wang. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions // *Journal of Food Engineering*. 2017. No. 211. P. 1-6.
9. К вопросу производства пектина из свекловичного жома / Зелепукин Ю.И. [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2016. №2. С. 238-242.
10. Способ получения пектина и пищевых волокон с использованием электрохимически активированной воды / Голыбин В.А [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2015. №3. С. 161-165.
11. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp / Meng Li [et al] // *Carbohydrate Polymers*. 2014. No. 102. P. 136-143.
12. Perzon A, Jørgensen B, Ulvskov P. Sustainable production of cellulose nanofiber gels and paper from sugar beet waste using enzymatic pre-treatment // *Carbohydrate Polymers*. 2020. No. 230.
13. Sugar beet pulp as raw material for particleboard production / Borysiuk P. [et al] // *Industrial Crops & Products*. 2019. No. 141.

Literature:

1. Technologies of healthy food production from plant materials / Ilyina I.A. [et al]. Krasnodar: Prosveshhenie-Jug, 2018. 315 p.
2. Obtaining dietary fibers from sugar beet processing secondary raw materials and their use in functional food products / Lukyanenko M.V. [et al]. Krasnodar: KubSTU, 2016. 96 p.
3. Xin Huang, Dong Li, Li-jun Wang Effect of particle size of sugar beet pulp on the extraction and property of pectin // *Journal of Food Engineering*. 2018. 218. P. 44-49.
4. Pectin recovery from sugar beet pulp enhanced by high-voltage electrical discharges / Fouad Almohammed [et al] // *Food and Bioproducts Processing*. 2017. No. 103. P. 95-103.
5. Sen Maa, Zhong-he Wang. Pulsed electric field-assisted modification of pectin from sugar beet pulp // *Carbohydrate Polymers*. 2013. No. 92. P. 1700-1704.
6. Understanding the influence of processing conditions on the extraction of rhamnogalacturonan-I «hairy» pectin from sugar beet pulp / Mao Y. [et al] // *Food Chemistry*. 2019. No. 2.
7. Prebiotic potential of pectins and pectic oligosaccharides derived from lemon peel wastes and sugar beet pulp: A comparative evaluation / Belén Gómez [et al] // *Journal of Functional Foods*. 2016. No. 20. P. 108-121.
8. Xin Huang, Dong Li, Li-jun Wang. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions // *Journal of Food Engineering*. 2017. No. 211. P. 1-6.
9. To the question of production of pectin from beet pulp Zelepukin Y.I. [et al] // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2016. No. 2. P. 238-242.
10. A method of producing pectin and dietary fibers using electrochemically activated water / Golybin V.A. [et al] // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2015. No. 3. P. 161-165.
11. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp / Meng Li [et al] // *Carbohydrate Polymers*. 2014. No. 102. P. 136-143.
12. Perzon A., Jørgensen B., Ulvskov P. Sustainable production of cellulose nanofiber gels and paper from sugar beet waste using enzymatic pre-treatment // *Carbohydrate Polymers*. 2020. No. 230.
13. Sugar beet pulp as raw material for particleboard production / Borysiuk P. [et al] // *Industrial Crops & Products*. 2019. No. 141.