

О молекулярных факторах полигликанов свекловичного жома, определяющих их водоудерживающую способность

Владимир В. Кондратенко	¹	nauka@vniitek.ru
Татьяна Ю. Кондратенко	¹	ktatyana-19@mail.ru
Мария А. Царёва	¹	inquisitorilohi@mail.ru
Анна Ю. Давыдова	¹	ann-nety@mail.ru
Нина М. Алабина	¹	

¹ ВНИИТеК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия

Аннотация. Базовым структурным элементом клеточных стенок свекловичного жома являются пищевые волокна, поэтому глубокая переработка данного вида сырья представляет значительный интерес. Одним из основных физико-химических свойств пищевых волокон, использующихся при производстве пищевых продуктов, является их водоудерживающая способность. Однако пищевые волокна свекловичного жома, как гетерогенные полимерные компоненты, исключительно лабильны к условиям их извлечения. В этой связи актуальным является выявление технологических факторов и их рациональной последовательности, при которых целевые свойства будут выражены в максимальной степени. Авторами был разработан разветвлённый алгоритм последовательного извлечения пищевых волокон из свекловичного жома с избирательной обработкой гомоферментными препаратами, включая разные варианты предварительной подготовки сырья. В результате были выделены образцы свекловичных волокон (преимущественно гомогалактуронаны), соответствующие ключевым узлам-графам разработанного алгоритма. Для каждого образца была определена величина водоудерживающей способности, а также спектр комбинационного рассеяния на волне возбуждения 785 нм с продолжительностью сканирования спектра 3 с и 50 проходами на один спектр. В процессе исследований было установлено ключевое влияние степени насыщенности матрикса клеточных стенок ионами поливалентных металлов. При этом в присутствии катионов в матриксе ключевую роль в формировании водоудерживающей способности играет как количество однотипных стадий ферментирования, так и их продолжительность. В отсутствие катионов водоудерживающая способность зависит только от природы полимерных продуктов ферментирования. Методом главных компонент установлено, что водоудерживающая способность находится в тесной зависимости от активности атомов кислорода гликозидных связей между звеньями полимерной цепи, а также активности гидроксильных групп, не принадлежащих углеводному кольцу. Тем не менее, используемые главные компоненты описывают лишь 53,5% дисперсии высот пиков, что может говорить об участии в формировании пиков и каких-либо сторонних факторов, что говорит о необходимости дальнейших исследований.

Ключевые слова: пищевые волокна, свекловичный жом, водоудерживающая способность, гомогалактуронаны, неуронидные пищевые волокна, ферменты, гомоферментные препараты

On the molecular factors of sugar beet pulp polyglycans ensuring their water-holding capacity

Vladimir V. Kondratenko	¹	nauka@vniitek.ru
Tatyana Yu. Kondratenko	¹	ktatyana-19@mail.ru
Mariya A. Tsaryova	¹	inquisitorilohi@mail.ru
Anna Yu. Davidova	¹	ann-nety@mail.ru
Nina M. Alabina	¹	

¹ VNIITEK – Branch of Gorbатов Research Center for Food Systems, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia

Abstract. The basic structural element of the cell walls of beet pulp is dietary fibers, therefore deep processing of this type of raw material is of considerable interest. One of the main physicochemical properties of dietary fibers used in food production is their water holding capacity. However, dietary fibers of beet pulp, as heterogeneous polymer components, are extremely labile to the conditions of their extraction. In this regard, it is relevant to identify technological factors and their rational sequence, in which the target properties will be expressed to the maximum extent. The authors developed an extensive algorithm for the sequential extraction of dietary fibers from beet pulp with selective processing by homofermental preparations, including various options for the preliminary preparation of raw materials. As a result, samples of beet fibers (mainly homogluacturonans), corresponding to the key graph nodes of the developed algorithm, were identified. For each sample, the magnitude of water holding capacity was determined, as well as the Raman spectrum on an excitation wave of 785 nm with a spectrum scan duration of 3 s and 50 passes per spectrum. In the process of research, the key influence of the degree of saturation of the cell wall matrix with polyvalent metal ions was established. At the same time, in the presence of cations in the matrix, the number of fermentation stages of the same type and their duration play a key role in the formation of water-holding capacity. In the absence of cations, water holding capacity depends only on the nature of the polymer fermentation products. By the method of principal components, it was established that the water-holding capacity is closely related to the activity of oxygen atoms of glycosidic bonds between the links of the polymer chain, as well as the activity of hydroxyl groups not belonging to the carbohydrate ring. However, the main components used describe only 53.5% of the peak heights dispersion, which may indicate participation in the formation of peaks and any third-party factors, which indicates the necessity of further research.

Keywords: food fibers, sugar beet pulp, water-holding capacity, homogalacturonans, nonuronid food fibers, enzymes, homoenzyme substances

Для цитирования

Кондратенко В.В., Кондратенко Т.Ю., Царёва М.А., Давыдова А.Ю., Алабина Н.М. О молекулярных факторах полигликанов свекловичного жома, определяющих их водоудерживающую способность // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 156–163. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-156-163

For citation

Kondratenko V.V., Kondratenko T.Yu., Tsaryova M.A., Davidova A.Yu., Alabina N.M. On the molecular factors of sugar beet pulp polyglycans ensuring their water-holding capacity. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 156–163. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-156-163

Введение

Пищевые волокна обладают широким спектром физиологического воздействия на организм, основным из которых является детоксикация организма и стимулирование пищеварения. Различные виды пищевых волокон способны выводить из организма холестерин, радионуклиды и тяжёлые металлы, выравнивать уровень глюкозы в крови, стимулировать перистальтику кишечника, обладают обволакивающими и пребиотическими свойствами [1,2]. Отличительная особенность их в устойчивости к гликолитическим ферментам [3]. В толстом кишечнике пищевые волокна частично гидролизуются микробными ферментами [4]. Благодаря безопасности и физико-химическим свойствам пищевые волокна признаны эссенциальным элементом в питании человека, и их недостаток в ежедневном рационе способен привести к развитию рака прямой кишки, желчнокаменной болезни, атеросклерозу, аппендициту, ишемической болезни сердца и другим заболеваниям [5, 6]. В России физиологическая потребность в пищевых волокнах определена на уровне 20 г в сутки для взрослого человека и 10–20 г в сутки для детей старше трёх лет [7]. В других странах принятые нормы могут отличаться, в частности, в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения норма составляет 25–35 г в сутки [4]. При избыточном потреблении пищевых волокон может проявиться отрицательное влияние на организм. Пищевые волокна способны выводить не только токсичные, но также и многие эссенциальные вещества, такие как витамины, аминокислоты и др [8].

По определению к пищевым волокнам могут быть отнесены преимущественно структурные олиго- и полигликаны и даже некоторые полимерные соединения неуглеводной природы [9, 10]. В природе они являются компонентами клеточных стенок растений. Химический и компонентный состав пищевых волокон может зависеть от таксономической принадлежности растения, типа ткани и её физиологического состояния. К пищевым волокнам относят такие полигликаны, как целлюлоза, гемицеллюлозы, камеди, пектин, слизи, каррагинаны и альгиновые кислоты. Они могут быть как гомогенны, так и гетерогенны по молекулярному составу, иметь различные функциональные группы (метоксильные, гидроксильные, ацетильные, амидные, карбоксильные), иметь линейную, либо разветвлённую цепь, находиться в различных конформациях [9]. Все это определяет их физико-химические свойства, к которым традиционно относят сорбционную ёмкость и водоудерживающую способность. Также они

проявляют свойства пребиотиков [10]. По растворимости пищевые волокна разделяют на хорошо растворимые, или мягкие, набухающие и нерастворимые, или грубые волокна [11]. По водоудерживающей способности их подразделяют на три вида, в которых наиболее сильноудерживающие волокна способны связать более 8 г воды на 1 г пищевых волокон [12]. На сорбционные свойства влияет целый ряд факторов, среди которых молекулярная масса, особенности пространственной структуры, наличие и природа функциональных групп. Различные виды пищевых волокон проявляют разную сорбционную ёмкость в отношении разных сорбируемых веществ, в качестве которых могут выступать холестерин, глюкоза, жирные кислоты, тяжёлые металлы и др. [13]. Иногда пищевые волокна проявляют ионообменные свойства, выступая по отношению к сорбируемым ионам в качестве катионитов, амфолитов или анионитов различной силы [14]. Из всех перечисленных свойств одним из наиболее важных для пищевой промышленности является водоудерживающая способность.

Свекловичный жом как вторичный продукт свеклосахарного производства является нативным ассоциатом полигликанов, которые в комплексе либо будучи дифференцированы могут выступать в качестве пищевых волокон. Потенциально, если брать пищевые волокна, все полигликаны свекловичного жома условно можно разделить на две-три большие группы: пектиновые вещества, гемицеллюлозы А, гемицеллюлозы В + целлюлоза. При этом первые две группы представлены водорастворимыми (после извлечения) полигликанами, а третья – набухающими в воде. Традиционно, когда упоминают пищевые волокна свекловичного жома в части их выделения, имеют в виду преимущественно третью группу.

Цель работы – определить свойства первой и второй групп полигликанов и установить взаимосвязь между этими свойствами и молекулярным составом.

В связи с тем что нативные пектиновые вещества представляют собой гетерогенный биополимер, в состав которого входят не только линейные – гомолактуронановые – участки, состоящие преимущественно из остатков α -D(+)-галактуроновой кислоты, но и разветвлённые, включающие остатки до 17 различных видов нейтральных углеводов [15], мы функционально перегруппировали первые две группы полигликанов свекловичного жома на гомолактуронаны и арабинаны + галактаны + гемицеллюлозы А, что соответствует разнице между ними по составу функциональных групп.

Таким образом, дифференциация свекловичного жома на пищевые волокна позволяет решить сразу две проблемы: утилизацию отходов пищевой промышленности и производство пищевых волокон с широким спектром свойств для нужд отечественной промышленности.

Материалы и методы

В качестве объектов исследований были использованы сухой негранулированный немелассированный свекловичный жом, произведённый в Воронежской области; образцы гомоферментных препаратов – эндо-(1→4)-рамногалактуронанлиаза (RGL) и гетерологичная эндо-(1→5)- α -арабиназа А (АЕР); продукты ступенчатого ферментативного гидролиза. Определение водоудерживающей способности выделенных образцов пищевых волокон проводили по [16]. КР-спектроскопические исследования осуществляли при $\lambda_{\text{возбуждения}} = 785$ нм: продолжительность сканирования спектра – 3 с, количество проходов на один спектр – 50, мощность индуцирующего излучения – 0,5%.

При проведении исследований использовали шейкер лабораторный ELMi SkyLine, программируемый ротатор Multi Bio RS-24 BioSan, центрифугу Eppendorf™ MiniSpin. Анализ молекулярных факторов проводили при помощи рамановского спектрометра/микроскопа RENISHAW InVia с конфокальным микроскопом Leica DM 2500M и CCD детектором. Обработку спектров комбинационного рассеяния (КР-спектров) проводили с использованием программного обеспечения RENISHAW WiRE 3.0 – для первичной обработки и экспортирования спектров, Origin Lab Origin Pro 2015 – для определения базовой линии по алгоритму FitPeaks(Pro) с интерполяцией полиномом пятой степени, нормированием спектров по базовой линии, нахождением пиков по семи локальным точкам с порогом фильтрации по высоте 7%, в том числе скрытых пиков – по второй производной, и Addinsoft XLSTAT 2014 – для обработки по методу главных компонент.

Исследования проводили в два этапа: ступенчатое последовательное ферментативное фрагментирование с выделением препаратов целевых компонентов сырья и оценка аналитических характеристик полученных препаратов.

С целью дифференцированного извлечения полигликанов фрагментирование было проведено в четыре ступени в соответствии с общим алгоритмом, представленным на рисунке 1. Первая ступень включала процесс набухания сырья (этап 1). Навеску сырья массой 20 г крупной фракции помещали в стеклянный стакан, куда затем приливали 400 см³ бидистиллированной воды температурой 20 °С, тщательно перемешивали и оставляли для набухания на 18 ч.

По истечении времени экспозиции смесь фильтровали через бумажный складчатый фильтр «белая лента». Ступень промывки включала два последовательных идентичных технологических этапа (этапы 2 и 3). На каждом остаток с фильтра по окончании предыдущего этапа количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями бидистиллированной воды, предварительно нагретой до 40 °С. Далее в стакан вносили такое количество бидистиллированной воды, предварительно нагретой до 40 °С, чтобы суммарное количество бидистиллированной воды составило 500 см³. Обработку проводили на водяной бане при температуре 40 ± 1 °С в течение 30 мин. Смесь фильтровали через складчатый бумажный фильтр «белая лента». Ступень декатионизации также включала два последовательных этапа (этапы 2' и 3'). На каждом остаток с фильтра по окончании предыдущего этапа количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями водного раствора комплексона ЭДТА концентрацией 2,87 г/дм³, предварительно нагретого до 40 °С. Далее в стакан вносили такое количество водного раствора комплексона, предварительно нагретого до 40 °С, чтобы суммарное количество раствора составило 500 см³. Обработку проводили на водяной бане при температуре 40 ± 1 °С в течение 30 мин. Смесь фильтровали через складчатый бумажный фильтр «белая лента».

Ступень выделения гомогалактуроновых фрагментов протопектинового комплекса (НГ) включала от одного (этапы 4 и 4') до двух (этапы 4а и 5а, 4а' и 5а', 4б' и 5б') последовательных идентичных технологических этапов.

Остаток с фильтра, полученный на предыдущем этапе, количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями бидистиллированной воды общим объёмом 100 см³, предварительно нагретой до 48 °С. В стакан с осадком приливали 300 см³ водного раствора гомоферментного препарата RGL концентрацией 612,5 (этапы 4, 4', 4а, 4а' и 4б') и 226,7 мг/дм³ (этапы 5а, 5а' и 5б'). Образовавшуюся систему тщательно, но осторожно перемешивали и помещали на водяную баню с заданной температурой 48 ± 1 °С. Продолжительность ферментации составляла 120 (этапы RGL-I fix – 4а, 4а' и 4б'), 405 (этапы RGL-I max – 4 и 4'), 70 (этап RGL-II fix – 5б') и 130 мин (этапы RGL-II max – 5а и 5а'). По окончании ферментации процесс останавливали, помещая стакан с обработанной системой на кипящую водяную баню на 10 мин, после чего быстро охлаждали до комнатной температуры. Экстракт отфильтровывали через обеззоленный бумажный складчатый фильтр «белая лента». Остаток на фильтре промывали 100 см³ бидистиллированной воды. Сборный экстракт обрабатывали, как описано далее.

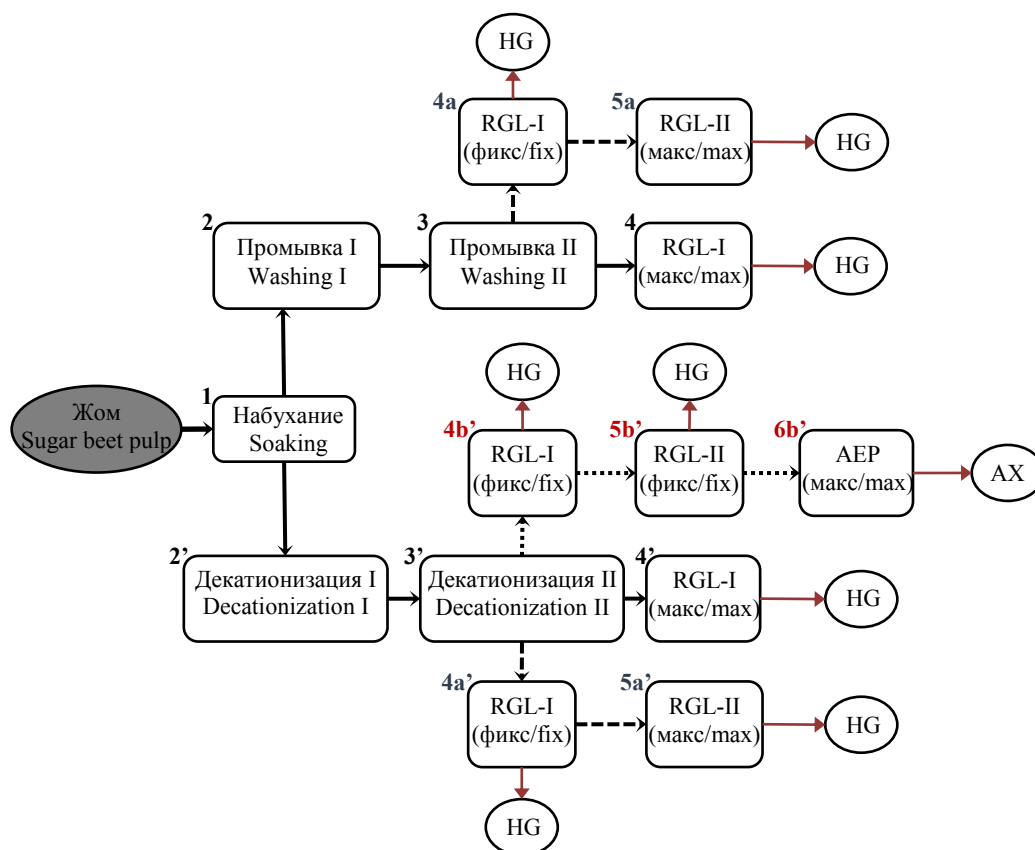


Рисунок 1. Алгоритм дифференцированного извлечения пищевых волокон свекловичного жома

Figure 1. Algorithm for differentiated extraction of food fiber from sugar beet pulp

Степень выделения растворимых пищевых волокон неуронидной природы (AX) включала один технологический этап (AEP max – 6b'). Остаток с фильтра, полученный на предыдущем этапе (5b'), количественно переносили обратно в стакан небольшими порциями бидистиллированной воды общим объемом 100 см³, предварительно нагретой до 50 °С. В стакан с осадком приливали 300 см³ водного раствора гомоферментного препарата АЕР концентрацией 213,5 мг/дм³. Образовавшуюся систему тщательно, но осторожно перемешивали и помещали на водяную баню с заданной температурой 50 ± 1 °С. Продолжительность ферментации составляла 150 мин. По окончании ферментации процесс останавливали, помещая стакан с обработанной системой на кипящую водяную баню на 10 мин, после чего быстро охлаждали до комнатной температуры. Экстракт отфильтровывали через обеззоленный бумажный складчатый фильтр «белая лента». Остаток на фильтре промывали 100 см³ бидистиллированной воды. Сборный экстракт обрабатывали, как описано далее.

Каждый собранный экстракт упаривали на ротационном испарителе под вакуумом в 10 раз при температуре 38 °С. Количественно переносили его в стеклянный стакан, куда

затем вносили водный раствор ацетатного буфера с рН 4,7–4,8 в количестве 10% от исходного объема упаренного экстракта. Стакан с содержимым встряхивали на колбовстряхивателе в течение 5 мин, после чего его помещали на кипящую водяную баню, где выдерживали 10 мин. Содержимое стакана фильтровали через обеззоленный бумажный складчатый фильтр «белая лента». Осадок на фильтре промывали 10 мл холодной бидистиллированной воды. Фильтрат охлаждали до температуры 15–16 °С, после чего тонкой струйкой приливали в стеклянный стакан, содержащий двойной объем предварительно охлажденного до этой же температуры этилового спирта-ректификата крепостью 96%об. Смесь выдерживали 30 мин при комнатной температуре, непрерывно перемешивая, после чего количественно переносили в центрифужную пробирку. Систему центрифугировали при 8 000 g в течение 20 мин. Супернатант декантировали. К осадку прибавляли объем этилового спирта-ректификата крепостью 96%об. объемом, равным объему исходного фильтрата. Центрифугирование повторяли при тех же условиях, что и предыдущее. Супернатант декантировали. Осадок из центрифужной пробирки количественно переносили на чашку Петри и сушили в течение 24 ч при температуре не выше 50 °С.

Результаты и обсуждение

При рассмотрении исходного алгоритма как связанного графа, в котором технологические этапы представлены узлами, и рассматривая путь от вершины графа до каждого конкретного узла как независимые подграфы, обладающие своей историей – глубиной переработки, получили два связанных множества подграфов:

$$S = [Graph\{1, 2, 3, 4\}; \{Graph\{1, 2, 3, 4a\};$$

$$Graph\{1, 2, 3, 4a, 5a\}\}]$$

$$S' = [Graph\{1, 2', 3', 4'\};$$

$$\{Graph\{1, 2', 3', 4a'\}; Graph\{1, 2', 3', 4a', 5a'\}\};$$

$$\{Graph\{1, 2', 3', 4b'\}; Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b'\};$$

$$Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b', 6b'\}\}],$$

где S – множество последовательных подграфов при условии присутствия поливалентных катионов; S' – множество подграфов при условии декатионизации; $Graph\{\alpha, \beta, \gamma, \dots\}$ – подграф технологического этапа; $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ – коэффициенты технологических этапов (координаты подграфа).

Внутри каждого множества присутствует совокупность графов с различной глубиной воздействия на сырье. Глубина воздействия для каждого отдельно взятого графа находится в прямой зависимости от количества координат, его задающих. Значит, сопоставление множеств друг с другом, равно как и графов внутри множества, определяет условия комплексного воздействия указанных факторов на результирующий признак.

Исследования водоудерживающей способности представлены в таблице 1.

Сравнительный анализ водоудерживающей способности продуктов ступенчатого ферментативного фрагментирования показывает, что добавление этапа декатионизации и глубина технологического воздействия положительно влияют на целевой показатель:

$$[Graph\{1, 2, 3, 4\} <$$

$$\{Graph\{1, 2, 3, 4a\} < Graph\{1, 2, 3, 4a, 5a\}\}] <$$

$$< [Graph\{1, 2', 3', 4'\} < \{Graph\{1, 2', 3', 4a'\} \approx$$

$$\approx Graph\{1, 2', 3', 4a', 5a'\}\} \approx$$

$$\approx \{Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b'\} >$$

$$> Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b', 6b'\}\].$$

Таблица 1.

Водоудерживающая способность полимерных продуктов фрагментации

Table 1.

Water-holding capacity of fragmentation polymeric products

Подграф этапа получения продукта ферментации / Sub-graph of fermentation stage	Экспозиция / Exposure	Водоудерживающая способность / Water-holding capacity, см ³ /г / cm ³ /g
$Graph\{1, 2, 3, 4\}$	макс/max	10,47
$Graph\{1, 2, 3, 4a\}$	фикс/fix	12,66
$Graph\{1, 2, 3, 4a, 5a\}$	макс/max	15,08
$Graph\{1, 2', 3', 4'\}$	макс/max	15,13
$Graph\{1, 2', 3', 4a'\}$	фикс/fix	18,53
$Graph\{1, 2', 3', 4a', 5a'\}$	макс/max	18,20
$Graph\{1, 2', 3', 4b'\}$	фикс/fix	26,34*
$Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b'\}$	фикс/fix	19,12
$Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b', 6b'\}$	макс/max	17,13

* Значение несущественно при $\alpha \leq 0,05$.

* Data is insufficient at $\alpha \leq 0,05$.

Однако данное утверждение справедливо лишь для продуктов одного типа. Например, по целевому показателю подмножество $s = \{Graph\{1, 2', 3', 4a'\}; Graph\{1, 2', 3', 4a', 5a'\}\}$ множества S' и граф $Graph\{1, 2', 3', 4b', 5b'\}$ – элемент того же множества – практически идентичны. Это приводит к выводу о том,

что увеличение количества однотипных ступеней в рамках множества S' приводит лишь к увеличению совокупного выхода продукта при малой дисперсии его свойств.

Для установления механизма водоудерживающей способности семейств продуктов, полученных в рамках каждого графа, были получены КР-спектры (рисунок 2). Анализ

спектров показал наличие характерных пиков, специфичных для каждого семейства продуктов. Использование второй производной позволило выявить скрытые пики. В КР-спектрах продуктов семейства гомогалактуронанов присутствовали пики, характерные для пектиновых веществ: $880\text{--}900\text{ см}^{-1}$ – пик, отражающий экваториальный аномерный Н, характерный для α -аномеров и α -гликозидов; $850\text{--}860\text{ см}^{-1}$ – пики метоксилирования карбоксильных групп и пики ацетилирования R-OH групп в положениях C₃ и C₄ атомов углерода пиранозильного кольца галактуронидных остатков. В КР-спектрах растворимых волокон неуронидной природы были обнаружены пики ксилананов в интервале $475\text{--}515\text{ см}^{-1}$.

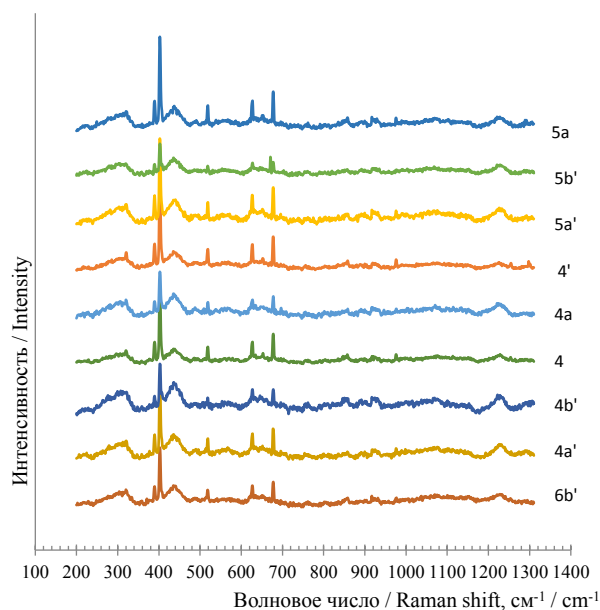


Рисунок 2. КР-спектры полигликанов

Figure 2. Raman spectra of polyglycans

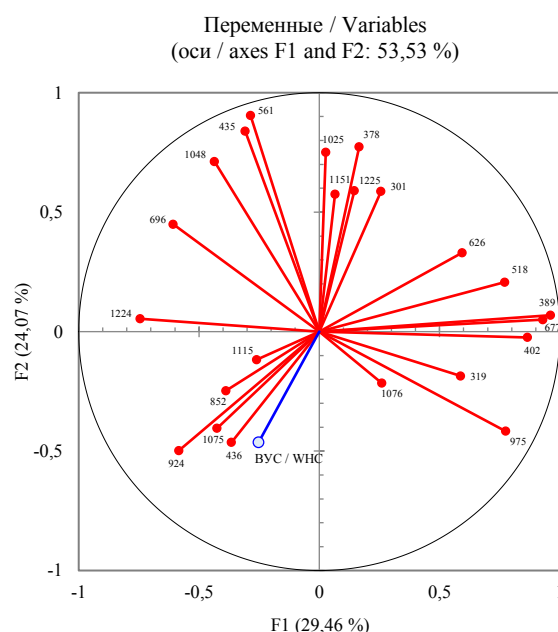
В силу многофакторности молекулярных факторов, обуславливающих водоудерживающую способность, очень трудно было оценить вклад в неё конкретных молекулярных структур, поэтому для решения этой задачи был выбран метод главных компонент Пирсона. В качестве переменных были использованы высоты пиков полученных спектров, а зависимая переменная, под которой понималась величина водоудерживающей способности, была использована в качестве добавочной переменной (ВУС / WHC).

В итоге был получен спектр зависимых и независимых компонентов в координатах первой и второй главных компонент (рисунок 3), смысл которых при интерпретации выделенных пиков следующий:

- первый главный компонент F1 – активность свободных гидроксильных групп углеводного скелета;

- второй главный компонент F2 – активность ксиланановой составляющей, трансформации связей между атомами углерода, а также углерода и кислорода в составе углеводных колец.

Анализ результатов показывает, что водоудерживающая способность находится в антагонизме с обоими главными компонентами, хорошо коррелирует с высотой пиков на волновых числах 436, 852, 924 и 1075 см^{-1} и предположительно находится в тесной зависимости от активности атомов кислорода гликозидных связей и активности гидроксильных групп, не принадлежащих углеводному кольцу.



Выводы

В процессе исследований зависимости водоудерживающих свойств полимерных компонентов свекловичного жома от условий дифференцированного ферментативного извлечения было установлено ключевое влияние степени насыщенности матрикса клеточных стенок ионами поливалентных металлов:

- в присутствии катионов в матриксе ключевую роль в формировании водоудерживающей

способности играет: количество однотипных стадий ферментирования; их продолжительность;

- в отсутствие катионов водоудерживающая способность зависит только от природы полимерных продуктов ферментирования.

Кроме того, водоудерживающая способность исследованных полигликанов находится в достаточно тесной зависимости от активности атомов кислорода гликозидных связей, а также активности гидроксильных групп, не принадлежащих углеводному кольцу.

ЛИТЕРАТУРА

1 Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Сидоренко Ю.И. и др. Пищевые биоволокна – аспект антиоксидантной активности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 5. С. 26–28.

2 Cheng G., Zhang X., Simmons B., Singh S. Theory, practice and prospects of X-ray and neutron scattering for lignocellulosic biomass characterization: towards understanding biomass pretreatment // Energy Environmental Science. 2015. V. 8. P. 436–455. doi: 10.1039/C4EE03147D

3 Дружинин П.В., Новиков Л.Ф., Лысиков Ю.А. Основные виды пищевых волокон. Их структура и свойства. 2010. URL: http://on-line-wellness.com/view_post.php?id=95

4 Lattimer J.M., Haub M.D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health // Nutrients. 2010. V.2. P. 1266–1289. doi: 10.3390/nu2121266

5 Fadaei V., Salehifar M. Some chemical and functional characteristics of dietary fiber from five fiber sources // European Journal of Experimental Biology. 2012. V. 2(3). P.525–528.

6 Singh A., Singh S.N. Dietary fiber content of indian diets // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2015. V. 8(3). P.58–61.

7 Тутельян В.А., Погожева А.В., Высоцкий В.Г. Роль пищевых волокон в питании человека. М.: Новое тысячелетие, 2008. 325 с.

8 Hong Y., Zi-jun W., Jian X., Ying-jie D. et al. Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties // Food and Chemical Toxicology. 2012. V. 50. P. 3367–3374. doi: 10.1016/j.fct.2012.05.011.

9 Goni I., Diaz-Rubio M.E., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages // Food Research International. 2009. V. 42. P. 840–846. doi: 10.1016/j.foodres.2009.03.010.

10 Daou Ch., Zhang H. Physicochemical properties and antioxidant activities of dietary fiber derived from defatted rice bran // Advance Journal of Food Science and Technology. 2011. V. 3(5). P. 339–347.

11 Rodríguez R., Jiménez A.J., Fernández-Bolanos J. et al. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients // Trends in Food Science & Technology. 2006. V. 17. P. 3–15. doi: 10.1016/j.tifs.2005.10.002.

12 Ozyurt V.H., Otles S. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2016. V.15(3). P. 233–245. doi: 10.17306/J.AFS.2016.3.23

13 Dhingra D., Michael M., Rajput H., Patil R.T. Dietary fibre in foods: a review // Journal of Food Science and Technology 2012. V. 49(3). P. 255–266. doi: 10.1007/s13197-011-0365-5.

14 Schwellenbach J., Taft F., Villain L., Strube J. Preparation and characterization of high capacity, strong cation-exchange fiber based adsorbents // Journal of Chromatography A. 2016. V. 1447. P. 92–106. doi: 10.1016/j.chroma.2016.04.019.

15 Vincken J.P., Schols H.A., Oomen R.J., McCann M.C. et al. If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications for cell wall architecture // Plant Physiology. 2003. V. 132. P.1781–1789. doi: 10.1104/pp.103.022350.

16 Kurek M.A., Piwinska M., Wyrwicz J. et al. Automated static image analysis as a novel tool in describing the physical properties of dietary fiber // Food Science and Technology (Campinas). 2015. V. 35. № 4. P. 620–625. doi: 10.1590/1678-457X.6720.

REFERENCES

1 Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Sidorenko Yu. I. et al. Food biofibers as an aspect of antioxidant activity. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and Processing of Agricultural Raw Materials]. 2011. vol. 5. pp. 26–28. (in Russian)

2 Cheng G., Zhang X., Simmons B., Singh S. Theory, practice and prospects of X-ray and neutron scattering for lignocellulosic biomass characterization: towards understanding biomass pretreatment. *Energy Environmental Science*. 2015. vol. 8. pp. 436–455. doi: 10.1039/C4EE03147D

3 Druzhinin P.V., Novikov L.F., Lysikov Yu. A. Osnovniye vidi pischevikh volokhon. Ikh struktura i svoystva [The main types of dietary fiber. Structure and properties]. 2010. Available at: http://on-line-wellness.com/view_post.php?id=95 (in Russian)

4 Lattimer J.M., Haub M.D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*. 2010. vol. 2. pp. 1266–1289. doi: 10.3390/nu2121266

5 Fadaei V., Salehifar M. Some chemical and functional characteristics of dietary fiber from five fiber sources. *European Journal of Experimental Biology*. 2012. vol. 2(3). pp. 525–528.

6 Singh A., Singh S.N. Dietary fiber content of indian diets. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2015. vol. 8(3). pp. 58–61.

7 Tutelyan V.A., Pogozheva A.V., Vysotsky V.G. Rolj pischevikh volokon v piteniyi cheloveka [The role of dietary fiber in human nutrition]. Moscow, New millennium, 2008. 325 p. (in Russian)

8 Hong Y., Zi-jun W., Jian X., Ying-jie D. et al. Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties. Food and Chemical Toxicology. 2012. vol. 50. pp. 3367–3374. doi: 10.1016/j.fct.2012.05.011.

9 Goni I., Diaz-Rubio M.E., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. Food Research International. 2009. vol. 42. pp. 840–846. doi: 10.1016/j.foodres.2009.03.010.

10 Daou Ch., Zhang H. Physicochemical properties and antioxidant activities of dietary fiber derived from defatted rice bran. Advance Journal of Food Science and Technology. 2011. vol. 3(5). pp. 339–347.

11 Rodríguez R., Jimenez A.J., Fernandez-Bolanos J. et al. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. Trends in Food Science & Technology. 2006. vol. 17. pp. 3–15. doi: 10.1016/j.tifs.2005.10.002.

12 Ozyurt V.H., Otlés S. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. Acta

Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2016. vol. 15(3). pp. 233–245. doi: 10.17306/J.AFS.2016.3.23

13 Dhinra D., Michael M., Rajput H., Patil R.T. Dietary fibre in foods: a review. Journal of Food Science and Technology. 2012. vol. 49(3). pp. 255–266. doi: 10.1007/s13197-011-0365-5.

14 Schwellenbach J., Taft F., Villain L., Strube J. Preparation and characterization of high capacity, strong cation-exchange fiber based adsorbents. Journal of Chromatography A. 2016. vol. 1447. pp. 92–106. doi: 10.1016/j.chroma.2016. 04.019.

15 Vincken J.P., Schols H.A., Oomen R.J., McCann M.C. et al. If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications for cell wall architecture. Plant Physiology. 2003. vol. 132. pp. 1781–1789. doi: 10.1104/pp.103.022350.

16 Kurek M.A., Piwinska M., Wyrwicz J. et al. Automated static image analysis as a novel tool in describing the physical properties of dietary fiber. Food Science and Technology (Campinas). 2015. vol. 35. no. 4. pp. 620–625. doi: 10.1590/1678-457X.6720.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир В. Кондратенко к.т.н., доцент, зам. директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, nauka@vniitek.ru

Татьяна Ю. Кондратенко старший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, ktatyana-19@mail.ru

Мария А. Царёва старший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, inquisitorilohi@mail.ru

Анна Ю. Давыдова младший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия, ann-nety@mail.ru

Нина М. Алабина к.т.н., ведущий научный работник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Школьная, 78, г. Видное, МО, 142703, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir V. Kondratenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, vice director of science work, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, nauka@vniitek.ru

Tatyana Yu. Kondratenko senior researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, ktatyana-19@mail.ru

Mariya A. Tsaryova senior researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, inquisitorilohi@mail.ru

Anna Yu. Davidova junior researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia, ann-nety@mail.ru

Nina M. Alabina Cand. Sci. (Engin.), lead researcher, Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V.M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS, Scholnaya Str., 78, Vidnoye, M.R., 142703, Russia

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.15.2018

ACCEPTED 11.16.2018