

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕКТИНОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ БИОРЕСУРСОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Владимир Владимирович Кондратенко, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

E-mail: v_kondratenko@vniimi.org

Ольга Борисовна Федотова, д-р техн. наук, ученый секретарь

Евгения Юрьевна Агаркова, д-р техн. наук, заведующий лабораторией

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

Целью работы являлась разработка подхода к определению применимости пектинов из различных биоресурсов как компонента кисломолочных пектиносодержащих продуктов для модификации их структурно-механических свойств. Подход предусматривает ранжирование по убыванию пула пектинов из различных источников в пределах каждого из целевых технологических свойств на основании молекулярных характеристик и физико-химических показателей. Данный подход позволяет определять вид пектинов, который целесообразно использовать для модификации технологических свойств молочных продуктов в зависимости от их физико-химических показателей. Подход апробирован с использованием свекловичного, цитрусового, яблочного, подсолнечного, тыквенного, морковного и картофельного пектинов в рецептурах йогурта, напитка кисломолочного, соуса ацидофильного, крема сметанного и желе кисломолочного. Результаты исследований показали, что во взаимосвязи молекулярных свойств пектинов и проявлении их технологических свойств в составе кисломолочных пектиносодержащих продуктов нет какого-либо кардинально преобладающего молекулярного фактора, все молекулярные характеристики следует учитывать в комплексе. Установлено нелинейное увеличение динамической вязкости йогурта, напитка кисломолочного, соуса ацидофильного и крема сметанного при увеличении массовой доли выбранных пектинов, позволяющее варьировать консистенцию продукта в зависимости от потребительских предпочтений. В отношении кисломолочного желе установлено, что нецелесообразно введение в его рецептуру более 0,8 % пектина из-за формирования излишне плотной консистенции. В отдельных случаях выявлен синергетический эффект в проявлении таких технологических свойств кисломолочных продуктов как вязкость и желеобразующая способность при использовании комбинаций пектинов по сравнению с использованием каждого из них по отдельности.

Ключевые слова: молочные продукты, пектин, пектиносодержащие продукты, молекулярные характеристики, технологические свойства

Для цитирования: Кондратенко, В. В. Применение пектинов из различных биоресурсов для модификации структурно-механических свойств кисломолочных продуктов / В. В. Кондратенко, Ю. Б. Федотова, Е. Ю. Агаркова // Молочная промышленность. 2024. № 5. С 15–21. <https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-5-4>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из наиболее эффективных путей формирования и стабилизации потребительских свойств молочных продуктов является введение в их состав ингредиентов, обладающих требуемым спектром технологических свойств. Среди существующего многообразия стабилизирующих агентов, используемых в пищевой промышленности, наибольший спектр технологических свойств проявляют пектины – биополимеры углеводной природы, основным структурным компонентом которых являются остатки α -D(+)-галактуроновой кислоты [1]. Они оказывают большое влияние на реологические свойства пищевых систем, обладают эмульгирующей, стабилизирующей, водоудерживающей и желеобразующей способностью [2]. Благодаря этому пектин находит широкое применение при производстве молочных продуктов, стабилизируя жирно-белковую систему, уменьшая синерезис и улучшая органолептические свойства [3–5]. Популярность пектина как структурообразователя в составе

кисломолочных продуктах обусловлена еще и тем, что он является пребиотиком, стимулируя жизнедеятельность пробиотических микроорганизмов [6, 7].

Совокупная емкость российского рынка пектина составляет более 12 тыс. т при ее ежегодном росте на 4–6 % [8]. При этом весь используемый пектин является импортным, его отечественное промышленное производство прекращено в 1992 г.¹ В условиях непрерывно ухудшающейся геополитической обстановки решение задачи удовлетворения спроса на пектин посредством организации его отечественного производства является весьма актуальным. Однако создание такого производства неизбежно сталкивается с двумя большими проблемами. Первая состоит в том, что пектин является неотъемлемым структурным элементом клеточной структуры всех сосудистых и многих несосудистых растительных организмов [9], вследствие чего молекулярная структура пектина находится в тесной зависимости от структуры расти-

¹ Донченко, Л. В. Технология пектина и пектинопродуктов. Учебное пособие / Л. В. Донченко. – М.: ДеЛи, 2000. – 256 с.

тельной ткани, ее физиологической функции, таксономической принадлежности растительного организма, этапа его развития, почвенно-климатических условий роста, условий и продолжительности хранения, а также условий извлечения [10]. В свою очередь, условия извлечения в значительной степени зависят от молекулярной структуры пектина, состояния связей его молекул с остальными составляющими клеточных структур, наличия сопутствующих факторов, таких как нативный и вторичный катионный состав, наличия и природы органических кислот и др. [11]. Вследствие этого пектины, выделенные из различного сырья, могут кардинальным образом отличаться по своим молекулярным характеристикам. Вторая проблема состоит в том, что на данный момент среди гликановых компонентов растительной природы пектин обладает самой сложной молекулярной структурой [12], и зависимость технологических свойств пектина от его молекулярных характеристик еще недостаточно исследована. Все выявленные взаимосвязи носят обобщенный, описательный характер, что не позволяет использовать их для установления однозначной применимости пектина как ингредиента того или иного молочного продукта. В этой связи актуальными являются исследования, направленные на установление комплексной причинно-следственной взаимосвязи вида пектина и свойств молочных продуктов, а также позволяющие определять целесообразность применения пектина как компонента этих продуктов.

Источник изображения: freepik.com



Цель исследований – разработать подход к определению применимости пектинов из различных источников как компонентов кисломолочных продуктов для модификации их структурно-механических свойств.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследований использовали пектины, полученные из свеколовичного жома, кожуры цитрусовых, яблочных и тыквенных выжимок, корзинок подсолнечника, морковного и картофельного жмыха, а также кисломолочные продукты: йогурт, напиток кисломолочный, соус ацидофильный, крем сметанный и желе кисломолочное.

Кисломолочные продукты изготавливали по типовым технологиям, в том числе напиток кисломолочный – по технологии простокваши, соус ацидофильный – ацидофилина, крем сметанный – сметаны. В исследуемые образцы продуктов перед процессом ферментирования вводили пектин в количестве, необходимом для задания в конечных продуктах его массовой доли 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 и 1,0 %. В качестве контроля использованы продукты без внесения пектина.

Молекулярные характеристики образцов пектина определяли согласно Методам контроля в пектиновом производстве², эмульгирующую и стабилизирующую способности – по методике, представленной S. W. Cui, Y. H. Chang [13], водоудерживающую способность – по методике, приведенной в работе J. Huang [et al.] [14], углеводный состав – методом ВЭЖХ. Динамическую вязкость 0,5 % образцов пектина определяли с использованием ротационного вискозиметра HAAKE Viscotester 550 с ротором SV-2 (double gap) и оригинального программного обеспечения HAAKE RheoWin (Thermo Scientific) в изотермических условиях при температуре 25 °С. Желирующую способность желе кисломолочного и образцов пектина оценивали по Методам контроля в пектиновом производстве. Динамическую вязкость кисломолочных пектиносодержащих продуктов определяли с использованием ротационного вискозиметра Brookfield DV2TLV со шпинделем SC4-18 и оригинального программного обеспечения PG Flash в изотермических условиях при температуре 25 °С. Математическую обработку результатов проводили на базе табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation).

²Нелина, В. В. Методы контроля в пектиновом производстве / В. В. Нелина [и др.] – Киев: Знание, 1992. – 56 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рациональное использование пектинов в составе молочных продуктов предполагает предварительный анализ их молекулярных характеристик. Результаты исследований образцов пектина представлены в таблице 1.

Анализ результатов исследований показал, что все образцы пектина отличались высокой молекулярной массой. Во всех случаях уронидная составляющая находилась в пределах, соответствующих международным требованиям к пектинам. Значения степени метоксилирования карбоксильных групп пектина варьировала от образца к образцу в широких пределах, на основании чего все образцы пектина могут быть условно классифицированы на три группы: высокоэтерифицированные со степенью метоксилирования более 60 % (яблочный и морковный), низкоэтерифицированные – со степенью метоксилирования менее 40 % (свекловичный, подсолнечный и картофельный) и промежуточная группа (цитрусовый и тыквенный).

Ацетильная составляющая основной массы образцов пектинов варьировала в пределах от 2 до 11 %, тогда как свекловичный пектин отличался повышенным значением этого показателя, а морковный, наоборот, пониженным. Амидированные карбоксильные



Источник изображения: freepik.com

Таблица 1
Характеристики образцов пектинов из различных источников

Показатели	Виды пектина по происхождению							Требования JECFA*
	Цитрусовый	Яблочный	Свекловичный	Подсолнечный	Тыквенный	Морковный	Картофельный	
Молекулярные характеристики								
Уронидная составляющая, %	83,36	73,04	78,77	79,63	80,25	69,87	64,09	≥ 65
Степень метоксилирования, %	54,78	66,84	38,83	26,20	44,94	62,92	17,74	– **
Степень амидирования, %	–	–	–	–	0,72	–	–	≤ 25
Ацетильная составляющая, %	2,65	3,23	22,11	10,35	6,39	0,24	8,90	–
Ферулоильная составляющая, %	–	–	0,43	–	–	–	–	–
Молекулярная масса, кДа	372,2	383,8	468,5	545,0	370,8	397,8	239,3	–
Соотношение основных элементов углеводного состава								
GalA, моль	47,33	41,47	44,72	45,21	45,56	39,67	36,39	–
Rha, моль	0,30	0,43	2,90	6,60	1,14	1,86	1,16	–
Ara, моль	0,09	4,50	4,19	1,65	1,32	3,85	3,30	–
Gal, моль	0,59	2,11	1,16	4,31	2,06	3,87	23,94	–

*JECFA – Объединенный экспертный комитет по пищевым добавкам ВОЗ; **«–» – значение показателя отсутствует, либо оно не регламентировано

Таблица 2
Градации пектинов в соответствии со степенью выраженности технологических свойств

Направление уменьшения выраженности	Технологические свойства				
	эмульгирующая способность	стабилизирующая способность	желирующая способность	способность модифицировать вязкость	водоудерживающая способность
↓	тыквенный свекловичный морковный картофельный подсолнечный яблочный цитрусовый	тыквенный свекловичный картофельный подсолнечный морковный цитрусовый яблочный	подсолнечный цитрусовый яблочный тыквенный морковный свекловичный картофельный	картофельный подсолнечный цитрусовый морковный яблочный тыквенный свекловичный	подсолнечный цитрусовый яблочный тыквенный морковный картофельный свекловичный



группы имели место только у тыквенного пектина, тогда как ферулоильные остатки присутствовали только в структуре молекул свекловичного пектина.

На основании молекулярных характеристик и физико-химических свойств все исследованные образцы пектина были проранжированы по убыванию их технологических свойств (табл. 2).

Ранжирование дало возможность определить их адекватность определенному виду продукта. В результате было разработано пять видов кисломолочных продуктов: йогурт, напиток кисломолочный, соус ацидофильный, крем сметанный и желе кисломолочное.

Йогурт является продуктом с повышенным содержанием белка и сухих веществ. Для формирования требуемых органолептических показателей, в первую очередь, важна гармонизация таких технологических свойств, как эмульгирующая способность, стабилизация эмульсии, водосвязывающая способность и вязкость. В этой связи при разработке рецептуры йогурта были использованы пектины в наибольшей степени проявляющие данные свойства: тыквенный, картофельный, свекловичный, либо комбинации тыквенного со свекловичным и картофельного со свекловичным.

Состав заквасочной микрофлоры напитка кисломолочного принципиально не отличается от состава заквасочной микрофлоры йогурта. При этом содержание сухих веществ и белка меньше, чем в йогурте. С учетом этого, его наиболее важными свойствами являются водоудерживающая и эмульгирующая способности, стабильность эмульсии, динамическая вязкость. Соответственно, при разработке рецептуры были использованы пектины, у которых данные свойства выражены в наибольшей степени при меньшей активной кислотности: тыквенный, морковный, яблочный, а также купажные смеси яблочного с тыквенным, либо картофельным.

Источник изображения: freepik.com

Соус ацидофильный отличается от разработанного напитка кисломолочного составом заквасочной микрофлоры и более кислой активной реакцией среды. При разработке его рецептуры были использованы тыквенный пектин, морковный и картофельный, либо купажные смеси картофельного с тыквенным и морковным.

В силу отличия состава заквасочной микрофлоры крема сметанного от остальных, отсутствует необходимость внесения компонентов для стабилизации его водоудерживающей способности. Иерархия основных свойств крема сметанного включает в порядке убывания эмульгирующую способность, способность стабилизации эмульсии, и вязкость. Соответственно, при разработке рецептур продукта сметанного использовали тыквенный пектин, свеколочный, морковный, а также купажные смеси морковного и тыквенного, либо морковного и свеколочного.

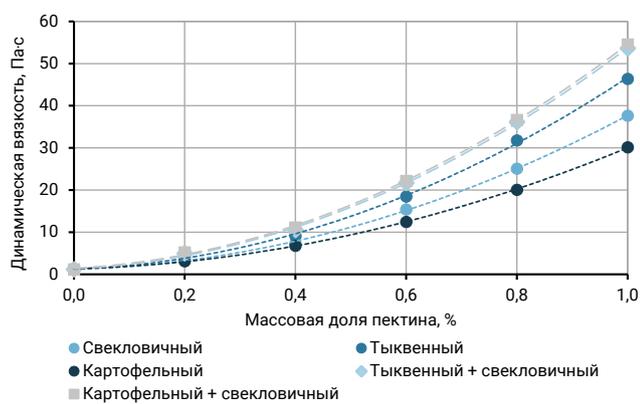
Получение кисломолочного желе связано с формированием устойчивой трехмерной структуры, для чего требуется обеспечение его желирующей способности.

Поэтому в составе желе использовали подсолнечный пектин, цитрусовый и яблочный, либо купажные смеси яблочного с подсолнечным или цитрусовым.

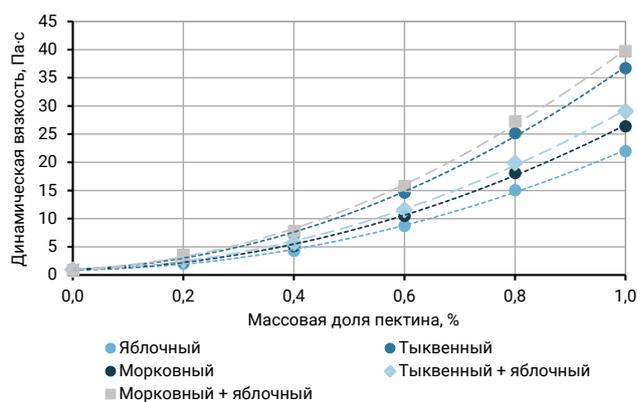
Анализ результатов проведенных исследований показал, что увеличение массовой доли пектина приводило к увеличению динамической вязкости как йогурта, так и напитка кисломолочного, соуса ацидофильного и крема сметанного (рис.1).

В силу возможности варьирования динамической вязкости в широких пределах, использование метода ранжирования пектинов по технологическим свойствам позволило получать кисломолочные пектиносодержащие продукты с диапазоном вязкости, включающим как питьевой, так и «ложковой» варианты таких продуктов (йогурт, продукт кисломолочный и соус ацидофильный).

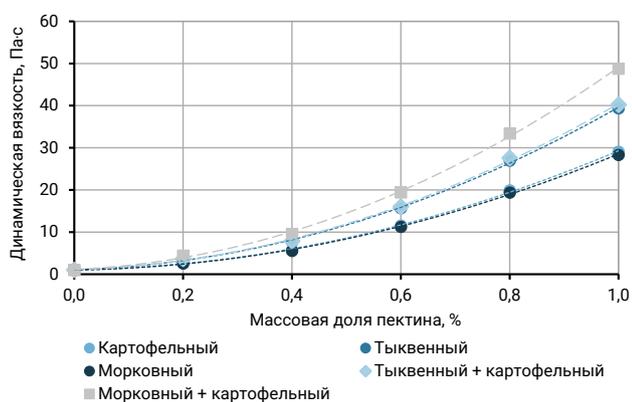
Примечательно, что использование смесей комбинаций пектинов в отдельных случаях оказывало некоторый синергетический эффект, когда смесь



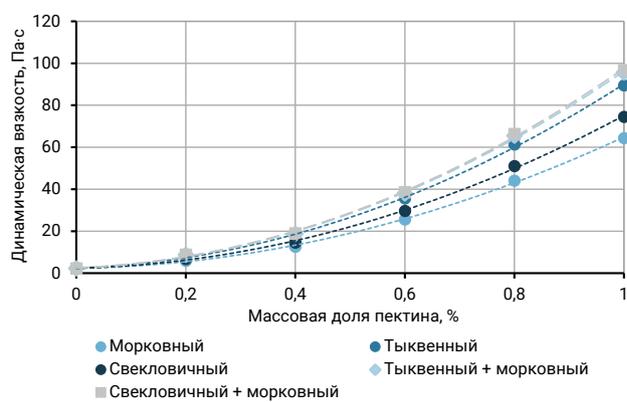
а



б



в



г

Рисунок 1. Влияние массовой доли пектина на динамическую вязкость кисломолочных продуктов:

а – йогурт; б – напиток кисломолочный; в – соус ацидофильный; г – крем сметанный



проявляла более выраженные свойства, чем каждый ее компонент по отдельности. Этот эффект требует дальнейшего изучения. Вследствие особенностей структуры желе кисломолочного, для данного продукта вместо динамической вязкости было исследовано влияние массовой доли пектинов на желирующую способность (рис. 2).

Увеличение массовой доли всех использованных для данного продукта видов пектинов и их купажных смесей демонстрировало тенденцию к нелинейному увеличению желирующих свойств кисломолочного желе с лагом до 0,2 %. При достижении массовой доли 0,8 % имел место переход кинетики желирующей способности в зону плато. Предположительно это связано с тем, что при малых концентрациях пектина в силу большой разобщенности молекул пектина в среде не происходит образования устойчивого к деформации трехмерного молекулярного каркаса, определяющего механическую прочность желе. И, напротив, при достижении некоторой критической массовой доли пектина образовавшийся каркас включает в свой объем всю дисперсионную среду, блокируя ее подвижность при достаточной прочности самого молекулярного каркаса за счет множественных областей межмолекулярных связей. В этом случае дальнейшее увеличение массовой доли пектина не будет приводить к еще большему снижению подвижности дисперсной фазы, равно как и к большему укреплению самого каркаса.

В случае с желированием, также, как и для динамической вязкости, имел место эффект синергизма технологических свойств, в частности, для яблочного и цитрусового пектинов, что тоже требует дальнейшего глубокого изучения.

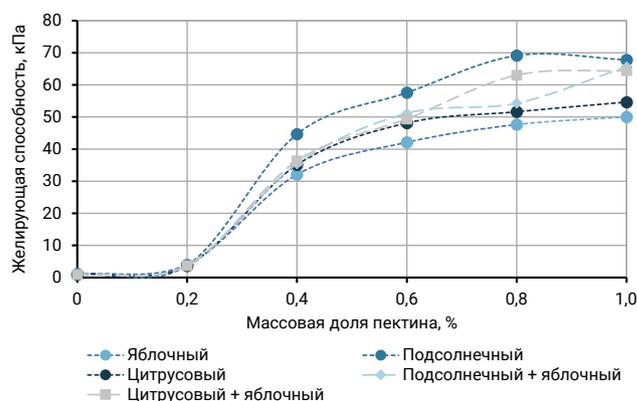


Рисунок 2. Влияние массовой доли пектина на желирующие свойства кисломолочного желе

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что при рассмотрении взаимосвязи молекулярных свойств пектинов и проявления их технологических свойств в составе кисломолочных пектиносодержащих продуктов нет какого-либо преобладающего молекулярного фактора, будь то степень метоксилирования карбоксильных групп пектина, либо молекулярная масса. Все молекулярные характеристики следует учитывать в комплексе.

Предложен подход оценки применимости пектинов для использования их в составе кисломолочных пектиносодержащих продуктов на основании ранжирования в пределах каждого из рассматриваемых технологических свойств. Выявлено проявление в отдельных случаях синергетического эффекта в проявлении таких технологических свойств кисломолочных продуктов как вязкость и желирующая способность при использовании комбинаций пектинов, что требует дальнейших исследований. ■

MODIFYING STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FERMENTED DAIRY PRODUCTS WITH VARIOUS BIOLOGICAL PECTINS

Vladimir V. Kondratenko, Olga B. Fedotova, Evgeniya Yu. Agarkova

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Pectins can modify structural and mechanical properties of fermented dairy products. The article introduces a new approach to determining the applicability of pectins from various bioresources for this purpose. Pectins from various sources were ranked in descending order within each of the target technological properties based on their molecular characteristics and physicochemical parameters. This approach revealed the optimal pectins to modify the technological properties of particular dairy products. The pectin samples were obtained from sugar beet pulp, citrus peels, apple pomace, sunflowers, pumpkin pomace, carrot cake, and potato cake. They were introduced into formulations of yogurt, fermented milk drink, acidophilus sauce, sour cream, and fermented milk jelly. No major molecular factor affected the correlation between the molecular properties of pectins and the manifestation of their technological properties in the fermented dairy pectin-containing products. As a result, all molecular characteristics were taken into account as a complex. A nonlinear increase was detected in the dynamic viscosity of yogurt, fermented milk drink, acidophilus sauce, and sour cream. It correlated with the increase in the mass fraction of pectin, which made it possible to vary the consistency of the product depending on consumer preferences. With regard to fermented dairy jelly, $\geq 0.8\%$ pectin resulted in an excessive density. In some cases, combinations of pectins had a more synergistic effect on viscosity and gelling ability than separate applications.

Keywords: pectin, molecular characteristics, dairy products, pectin-containing products, technological properties

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sista Kameshwar, A. K. Structural and functional properties of pectin and lignin-carbohydrate complexes de-esterases: a review / A. K. Sista Kameshwar, W. Qin // *Bioresources and Bioprocessing*. 2018. № 5. 43. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0230-8>
2. Yapo, B. M., Gnakri, D. Pectic Polysaccharides and Their Functional Properties // *Polysaccharides* / ed. by K. Ramawat, J. M. Mérillon. – Cham: Springer, 2015. – P. 1729–1749. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16298-0_62
3. Зобкова, З. С. О комплексном применении стабилизирующих консистенцию и модифицирующих молочный белок пищевых добавок в йогурте / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина [и др.] // *Молочная промышленность*. 2016. № 10. С. 54–55. <https://elibrary.ru/wmmdrx>
4. Зобкова, З. С. Зависимость относительной биологической ценности йогурта от вида стабилизирующих добавок / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина [и др.] // *Молочная промышленность*. 2021. № 1. С. 24–26. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-01-24-26>; <https://www.elibrary.ru/qlhju>
5. Барковская, И. А. Полисахарид-контролируемая кристаллизация лактозы в сгущенном молоке с сахаром / И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская [и др.] // *Food Metaengineering*. 2023. №1(4). С. 11–27. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.25>. <https://www.elibrary.ru/yhokhn>
6. Chung, W. S. F. Prebiotic potential of pectin and pectic oligosaccharides to promote anti-inflammatory commensal bacteria in the human colon / W. S. F. Chung [et al.] // *FEMS Microbiology Ecology*. 2017. № 93(11). <https://doi.org/10.1093/femsec/fix127>
7. Pascale, N. The Potential of Pectins to Modulate the Human Gut Microbiota Evaluated by In Vitro Fermentation: A Systematic Review / N. Pascale [et al.] // *Nutrients*. 2022. № 14(17). 3629. <https://doi.org/10.3390/nu14173629>
8. Ciriminna, R. Pectin production and global market / R. Ciriminna [et al.] // *Agro Food Industry Hi Tech*. 2016. № 27(5). P. 17–20.
9. Harris, Ph. J. Plant cell walls and cell-wall polysaccharides: structures, properties and uses in food products / Ph. J. Harris, G. S. Bronwen // *International Journal of Food Science & Technology*. 2006. Vol. Iss. 41(s2). P. 129–143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01470.x>
10. Петров, А. Н. О введении принципа насыщающей дополнителности ферментативного процесса в методологию глубокой переработки растительного сырья / А. Н. Петров, Т. Ю. Кондратенко // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 3. С. 93–108. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.365>; <https://www.elibrary.ru/eusicv>
11. Roman-Benn, A. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues / A. Roman-Benn [et al.] // *Food Chemistry Advances*. 2023. № 2. 100192. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192>
12. Mohnen, D. A. A new model for the biochemistry of pectin synthesis: GAUTs synthesize diverse HG glycans in structurally and functionally distinct plant cell wall polymers / D. A. Mohnen [et al.] // *The FASEB Journal*. 2019. Vol. 33, № S1. 216.2. https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.216.2
13. Cui, S. W. Emulsifying and structural properties of pectin enzymatically extracted from pumpkin / S. W. Cui, Y. H. Chang // *LWT – Food Science and Technology*. 2014. Vol. 58. Iss. 2). P. 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.012>
14. Huang J. Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel / J. Huang [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2021. № 110. 106140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106140>