

Влияние комбинирования пектиновых веществ на вязкость их водных растворов

Зурет Н. Хатко	¹	znkhatko@mail.ru.
Сергей А. Титов	²	125titov@yandex.ru
Анжелика А. Ашинова	¹	divaa2012@yandex.ru
Екатерина М. Колодина	¹	goodwill_katya@mail.ru

¹ Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, 191, г. Майкоп, 385000, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Вязкость является одним из характерных свойств пектиновых веществ, как и других лиофильных коллоидов. Молекулы пектинов легко ассоциируются друг с другом или с крупными молекулами сопутствующих веществ. Данная статья содержит результаты исследования динамической вязкости, внутреннего трения, тиксотропного индекса водных растворов (1 % и 4%) различных видов пектиновых веществ и их комбинаций. В статье приведены результаты исследования влияния разных видов пектиновых веществ и их комбинаций на динамическую вязкость пектиновых растворов и на их внутреннее трение. Приведен анализ значений динамической вязкости и силы трения в зависимости от вида пектиновых веществ и их комбинаций. Установлено, что в случаях, когда требуется информация о диссипативных процессах в пектиновых структурах при малых скоростях движения и сдвиговых нагрузках, следует опираться на данные по внутреннему трению, в других - на приведенные сведения по их вязкости. Рассчитан тиксотропный индекс. Установлено, что внутреннее трение в пектиновых растворах и их динамическая вязкость зависят от вида пектиновых веществ и их комбинаций. В пектиновых растворах внутреннее трение максимально для яблочного пектина, а динамическая вязкость – для комбинации пектинов цитрусового со свекловичным. При комбинировании пектинов оба показателя имеют наибольшее значение для комбинации цитрусового со свекловичным. Полученные данные о вязкости, внутреннем трении и тиксотропном индексе растворов различных видов и комбинаций пектинов, дают возможность регулирования реологических свойств пищевых систем с добавлением пектиновых веществ.

Ключевые слова: динамическая вязкость, внутреннее трение, ротационный вискозиметр, тиксотропия, пектиновые вещества, комбинации пектинов

Effect of combination of pectin substances on viscosity of their aqueous solutions

Zuret N. Khatko	¹	znkhatko@mail.ru.
Sergey A. Titov	²	125titov@yandex.ru
Angelika A. Ashinova	¹	divaa2012@yandex.ru
Ekaterina M. Kolodina	¹	goodwill_katya@mail.ru

¹ Maikop State University of Technology, Pervomayskaya str., 191, Maikop, 385000, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Viscosity is one of the characteristic properties of pectin substances, as well as other lyophilic colloids. Pectin molecules are easily associated with each other or with large molecules of related substances. This article contains the results of the study of dynamic viscosity, internal friction, thixotropic index of aqueous solutions (1 % and 4%) of various types of pectin substances and their combinations. The article presents the results of the study of the influence of different types of pectin substances and their combinations on the dynamic viscosity of pectin solutions and their internal friction. The analysis of values of dynamic viscosity and friction force depending on the type of pectin substances and their combinations is given. It is established that in cases where information on dissipative processes in pectin structures at low speeds and shear loads is required, it is necessary to rely on data on internal friction, in others - on the given information on their viscosity. The thixotropic index is calculated. It is established that the internal friction in pectin solutions and their dynamic viscosity depend on the type of pectin substances and their combinations. In pectin solutions, the internal friction is maximum for Apple pectin, and the dynamic viscosity – for a combination of citrus pectins with beet. When combining pectins, both indicators are most important for the combination of citrus with beet. The obtained data on the viscosity, internal friction and thixotropic index of solutions of different types and combinations of pectins make it possible to regulate the rheological properties of food systems with the addition of pectin substances.

Keywords: dynamic viscosity, internal friction, rotational viscometer, thixotropy, pectin substances, combinations of pectins

Для цитирования

Хатко З.Н., Титов С.А., Ашинова А.А., Колодина Е.М. Влияние комбинирования пектиновых веществ на вязкость их водных растворов // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 133–138. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-133-138

For citation

Khatko Z.N., Titov S.A., Ashinova A.A., Kolodina E.M. Effect of combination of pectin substances on viscosity of their aqueous solutions. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 133–138. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-2-133-138

Введение

Пектиновые вещества – это комплексные высокомолекулярные соединения – полисахариды, структура и химический состав которых определяют форму их молекул и характер взаимодействия с другими соединениями [4]. Пектиновые вещества обладают структурой с ограниченной гибкостью, стабилизируемой гидрофобными (между группами) связями. Подобно целлюлозе, пектиновые вещества организованы в жесткие и рыхлые области.

Вязкость является одним из характерных свойств пектиновых веществ, как и других лиофильных коллоидов. Молекулы пектинов легко ассоциируются либо друг с другом, либо с крупными молекулами сопутствующих веществ.

Вязкость водных растворов пектинов зависит от различных факторов: концентрации, длины молекулярной цепи, степени этерификации, присутствия электролитов и температуры. С увеличением молекулярной массы при прочих равных условиях вязкость повышается. При одной и той же молекулярной массе

вязкость возрастает с увеличением электрического заряда макромолекулы (количества свободных карбоксильных групп) [4].

Цель работы – исследование влияния видов пектиновых веществ и их комбинаций на динамическую вязкость пектиновых растворов и их внутреннее трение.

Решались следующие задачи:

- определение внутреннего трения в пектиновых растворах;
- определение динамической вязкости пектиновых растворов;
- расчет тиксотропного индекса систем;
- анализ значений динамической вязкости и силы трения в зависимости от вида пектиновых веществ и их комбинаций.

Материалы и методы

Объектами исследования являются пектиновые растворы (1; 4%): яблочный (Я), цитрусовый (Ц), свекловичный (С) и комбинации пектинов (ЯЦ, ЯС, ЦС).

Характеристика исследуемых пектиновых веществ представлена в таблице 1 [5].

Таблица 1.

Характеристика исследуемых пектиновых веществ

Table 1.

Characteristics of the studied pectin substances

Пектин Pectin	Производитель Manufacturer	Степень этерификации Power esterification	Ref
Яблочный Apple	«Айдиго», Китай	45–49	ТУ 9169–007–52303135–2014
Цитрусовый Citrus	«Danisko», Чешская Республика	46–50	ГОСТ 29186–91
Свекловичный Beet	Лабораторный, МГТУ	30–45	ОСТ 18–62–72

Определение внутреннего трения растворов проводили с помощью установки, в основе которой – крутильный маятник с закрепленным на нем зеркалом, с которым состыкован цилиндр, погружаемый в исследуемую среду. Внутреннее трение в системах определяется путем создания в исследуемом растворе колебательного процесса. С течением времени энергия колебаний в системе затухает и рассеивается в тепловую энергию. Внутреннее трение объединяет различные механизмы превращения упругой энергии в тепловую. Измерения внутреннего трения могут быть использованы при изучении различных физических процессов в пищевых системах, в частности при исследовании структурообразования на поверхности мембран при баромембранном разделении растворов [6].

В связи с тем что геометрия пищевых систем на установке для определения трения совпадает с геометрией ротационного вискозиметра,

внутреннее трение соответствует вязкости, определенной ротационным вискозиметром. Измерение динамической вязкости с применением принципов ротационной вискозиметрии включает пересчет крутящего момента вращения шпинделя прибора с постоянной скоростью при погружении его в исследуемый раствор. При этом выбирались такие шпиндели и скорости вращения, при которых отсчет момента лежит в диапазоне от 10 до 90% от максимального значения [1].

Относительное стандартное отклонение (погрешность) для данного измерения рассчитывалось по формуле

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2k}},$$

где, d – значения измерений; k – количество измерений.

Тиксотропный индекс пектиновых растворов рассчитывали (отношение вязкостей жидкости, измеренных при двух разных скоростях сдвига (при использовании одного шпинделя)) по формуле

$$n = \eta_L / \eta_H,$$

где n – тиксотропный индекс, безразмерная величина; η_L – вязкость при низкой скорости

сдвига, сПз; η_H – вязкость при высокой скорости сдвига, сПз.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования проводилось измерение внутреннего трения в пектиновых растворах (1%).

Значения внутреннего трения в пектиновых растворах представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Внутреннее трение в пектиновых растворах (1%)

Table 2.

Internal friction in pectin solutions

Эксперимент Experiment	Внутреннее трение в пектиновых растворах, мПа·с Internal friction in pectin solutions, mPa·s					
	Пектин Pectin			Комбинация пектинов Pectin combination		
	Я/Л	Ц/С	С/С	ЯС/ИС	ЯЦ/ИС	ЦС/С
1	0,01731	0,017309	0,013555	0,012177	0,011335	0,014296
2	0,01802	0,017911	0,014256	0,012315	0,011591	0,014543
3	0,01812	0,018035	0,013391	0,012608	0,012033	0,01476
4	0,01843	0,018037	0,013516	0,012787	0,012585	0,015017
Среднее значение, мПа·с Average value, mPa·s	0,01801	0,01782	0,01368	0,01247	0,01189	0,01465
Среднее значение, сПз Average value, cPz	180,1	178,2	136,8	124,7	118,9	146,5
S, %	2,57	2,85	1,95	2,1	2,22	4,61

Данные таблицы 2 показывают, что внутреннее трение в растворах пектинов ЯЦ (0,119 мПа·с) и ЯС (0,125) отличается от Я (0,18), Ц (0,178), С (0,137), т. е. вязкость в комбинациях уменьшается по сравнению с Я, Ц. Для раствора С в комбинациях ЯС вязкость уменьшается, а ЦС – увеличивается,

т. е. добавление Ц увеличивает вязкость ЦС, Я – уменьшает вязкость ЯС.

На втором этапе исследования проводилось измерение динамической вязкости с применением принципов ротационной вискозиметрии.

Полученные результаты представлены в таблицах 3–8.

Таблица 3.

Динамическая вязкость пектиновых (Я) растворов (4%)

Table 3.

Dynamic viscosity of pectin (Y) solutions (4%)

Скорость, мин ⁻¹ Speed, min ⁻¹	Вязкость, сПз/ Viscosity, cPз			S, %	
	Измерение Measurement		Среднее Average		
	1	2			3
100	411,6	404,2	413,4	409,7	1,2
120	378,2	380,6	374,8	378	0,7
140	372,2	380	376	376	1
150	375,6	370,4	377,4	374,5	0,9
180	377,4	367	367,4	370,6	1,6
200	375	365,2	365,8	368	1,5

Таблица 4.

Динамическая вязкость пектиновых (Ц) растворов (4%)

Table 4.

Dynamic viscosity of pectin (C) solutions (4%)

Скорость, мин ⁻¹ Speed, min ⁻¹	Вязкость, сПз Viscosity, cPз			S, %	
	Измерение Measurement		Среднее Average		
	1	2			3
100	579	572,2	568,8	573	0,9
120	578	571	564,6	570,5	1,1
140	550,4	552,8	563,6	558,5	1,3
150	540,4	531,4	538,4	536,5	0,9
180	527	537,4	532	532,1	0,7
200	517,4	528,2	529,8	524,8	1,2

Таблица 5.

Динамическая вязкость пектиновых (С) растворов (4%)

Table 5.

Dynamic viscosity of pectin (S) solutions (4%)

Скорость, мин ⁻¹ Speed, min ⁻¹	Вязкость, сПз Viscosity, cPз				S, %
	Измерение Measurement			Среднее Average	
	1	2	3		
100	410	399	403,4	404,1	1,4
120	377,4	377,4	374,6	376,1	0,4
140	353	358	347,5	352,8	0,9
150	316,6	313,8	315,2	315,2	0,4
180	311	310,4	309,6	310,3	0,1
200	261,8	261	260,8	260,9	0,2

Таблица 6.

Динамическая вязкость пектиновых (ЯС) растворов (4%)

Table 6.

Dynamic viscosity of pectin (YS) solutions (4%)

Скорость, мин ⁻¹ Speed, min ⁻¹	Вязкость, сПз Viscosity, cPз			S, %	
	Измерение Measurement		Среднее Average		
	1	2			3
100	268	257,2	259	261,4	2,2
120	260	254,4	264	259,4	0,7
140	277,4	254,2	245,2	258,9	2,5
150	249,8	243,1	246,8	246,6	1,3
180	247	246,8	241,4	245	1,6
200	247	245	240	244	1,5

Таблица 7.

Динамическая вязкость пектиновых (ЯЦ) растворов (4%)

Table 7.

Dynamic viscosity of pectin (YC) solutions (4%)

Скорость, мин ⁻¹ Speed, min ⁻¹	Вязкость, сПз Viscosity, cPз				S, %
	Измерение Measurement			Среднее Average	
	1	2	3		
100	452,4	413,2	429,6	431,7	0,8
120	445,8	407,8	423,4	425,6	0,7
140	395,8	425,4	419,8	422,6	0,9
150	420	416,8	423,2	420	0,8
180	413,2	419,8	416,4	418	0,5
200	388,6	386,4	395	391,8	1,1

Таблица 8.

Динамическая вязкость пектиновых (ЦС) растворов (4%)

Table 8.

Dynamic viscosity of pectin (CS) solutions (4%)

Скорость, мин ⁻¹ Speed, min ⁻¹	Вязкость, сПз Viscosity, cPз			S, %	
	Измерение Measurement		Среднее Average		
	1	2			3
100	684,2	705,8	735,2	708,4	1,6
120	654,5	695	701,2	698	0,6
140	653,2	668	673	670,5	0,5
150	659,8	672,4	673	668,4	1,1
180	601,6	619	685,8	645,5	1,4
200	620	628,4	625,5	622,6	0,9

Данные таблиц 3–8 показывают, что вязкость растворов в комбинациях пектинов ЯЦ (420 сПз) и ЯС (244) отличается от Я (368). Причем в комбинации ЯЦ вязкость увеличивается, в комбинации ЯС – уменьшается, т. е. добавление Ц увеличивает вязкость, а С – уменьшает.

Вязкость растворов в комбинациях пектинов ЯС (244 сПз) и ЦС (622,6) отличается от С (260,9). Причем в комбинации СЦ вязкость увеличивается, в комбинации ЯС – чуть уменьшается, т. е. добавление Ц увеличивает вязкость СЦ, а Я – уменьшает ЯС.

В комбинации ЦЯ вязкость уменьшается, у ЦС – увеличивается. Следовательно, добавление Я уменьшает вязкость, С – увеличивает.

Наблюдаемые различия поведения внутреннего трения и вязкости пектиновых растворов при различных их комбинациях, по-видимому, связаны с тем, что при изменении вязкости на ротационном вискозиметре структура раствора разрушается, а при определении внутреннего трения на крутильном маятнике с малой амплитудой колебаний деструктивных процессов не происходит. В пользу последнего утверждения говорит высокая воспроизводимость измерения внутреннего трения на одних и тех же растворах (таблица 2).

Практический вывод из полученных закономерностей следующий: – в тех случаях,

когда требуется информация о диссипативных процессах в пектиновых структурах при малых скоростях движения и сдвиговых нагрузках, следует опираться на данные по внутреннему трению, в других – на приведенные сведения по их вязкости.

Однако степень разрушения структуры при достаточно сильном воздействии может быть различной.

Поэтому на третьем этапе исследования изучали тиксотропию – способность субстанции уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и увеличивать вязкость (сгущаться) в состоянии покоя [2, 3]. Полученные данные представлены в таблице 9.

Таблица 9.

Тиксотропный индекс пектиновых растворов

Table 9.

Thixotropic index of pectin solutions

Показатель/ Indicator	Вид пектиновых веществ и их комбинации Type of pectic substances and their combinations					
	Я I	Ц C	С S	ЯС IS	ЯЦ IC	ЦС CS
η_L , сПз (100 мин ⁻¹)	409,7	573	404,1	261,4	431,7	708,4
η_H , сПз (200 мин ⁻¹)	368	524,8	260,9	244	391,8	622,6
Тиксотропный индекс Thixotropic Index	1,10	1,10	1,60	1,10	1,10	1,14

Как показывают данные таблицы 9, тиксотропный индекс пектиновых растворов изменяется от 1,1 (Я) до 1,6 (Ц).

Сравнительный анализ тиксотропного индекса во всех вариантах эксперимента показывает, что:

– яблочный пектин самостоятельно и в комбинациях имеет практически одинаковый показатель;

– свекловичный пектин увеличивает (снижает) свой показатель в комбинации с цитрусовым (яблочным);

– цитрусовый пектин снижает свой показатель в комбинациях со свекловичным и яблочным.

Заключение

1. Внутреннее трение в пектиновых растворах и их динамическая вязкость зависят от вида пектиновых веществ и их комбинаций.

2. Внутреннее трение в пектиновых растворах максимально для яблочного пектина, а динамическая вязкость – для комбинации пектинов цитрусового со свекловичным. При комбинировании пектинов оба показателя имеют наибольшее значение для комбинации цитрусового со свекловичным.

3. Полученные данные о вязкости, внутреннем трении и тиксотропном индексе растворов различных видов и комбинаций пектинов дают возможность регулирования реологических свойств пищевых систем с добавлением пектиновых веществ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Крупенникова В.Е., Раднаева В.Д., Танганов Б.Б. Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro. Методическое указание. Улан-Удэ: Издательство ВСГУТУ, 2011. 248 с.
- 2 Овчинников П.Ф., Круглицкий Н.Н., Михайлов Н.В. Реология тиксотропных систем. Киев: Наукова думка, 2010. 120 с.
- 3 Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия; под ред. Королева В.И. СПб: НПО «Профессионал», 2017. 838 с.

4 Хатко З.Н., Ашинова А.А. Пектиносодержащие пленочные структуры: монография. Майкоп: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2019. 111 с.

5 Антипова Л.В., Титов С.А., Жданов В.Н., Карпак А.Н. Использование измерений внутреннего трения для исследования ультра- и нанофильтрации модифицированной творожной сыворотки // Вестник ВГУИТ. 2018. № 4 (80). С. 298–303.

6 Torkova A.A., Lisitskaya K.V., Filimonov I.S., Glazunova O.A. et al. Physicochemical and functional properties of Cucurbita maxima pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation // PloS one. 2018. V. 13. № 9. P. 176–185.

7 Bai L., Liu F., Xu X., Huan S. et al. Impact of polysaccharide molecular characteristics on viscosity enhancement and depletion flocculation // Food Engineering. 2017. V. 207. P. 35–45.

8 Silva B.L.L., Costa B.S., Garcia-Rojas E.E. Binary and ternary mixtures of biopolymers and water: viscosity, refractive index and density // International Journal of Thermal Physics. 2016. V. 37. № 8. P. 79.

9 Canteri-Schemin M.H., Fertonani H.C.R., Waszczynskyj N., Wosiacki G. Extraction of pectin from apple pomace // Brazilian Archives of Biology and Technology. 2005. V. 48. № 2. P. 259–266.

10 Einhorn-Stoll U. The interaction of pectin and water in food products – from powder to gel // Food hydrocolloids. 2018. V. 78. P. 109–119.

REFERENCES

1 Krupennikova V.E., Radnaev V.D., Tanganov B.B. Determination of dynamic viscosity on a rotational viscometer Brookfield RVDV-II + Pro. Methodical instructions. Ulan-Ude, VSSTU Publishing House, 2011. 248 p. (in Russian).

2 Ovchinnikov P.F., Kruglitsky N.N., Mikhailov N.V. Rheology of thixotropic systems. Kiev, Naukova Dumka, 2010. 120 p. (in Russian).

3 New reference chemist and technologist. Electrode processes. Chemical kinetics and diffusion. Colloid chemistry; ed. Koroleva V.I. St. Petersburg, NPO "Professional", 2017. 838 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зурет Н. Хатко д.т.н., зав. кафедрой технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, 191, г. Майкоп, 385000, Россия, znkhatko@mail.ru.

Сергей А. Титов д.т.н., профессор кафедры физики теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 125titov@yandex.ru

Анжелика А. Ашинова мл. научный сотрудник, кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, 191, г. Майкоп, 382000, Россия, divaa2012@yandex.ru

Екатерина М. Колодина аспирант, кафедра технологии пищевых продуктов и организации питания, Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, 191, г. Майкоп, 385000, Россия, goodwill_katya@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 30.04.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.05.2019

4 Khatko Z.N., Ashinova A.A. Pectin containing film structures: monograph. Maykop, FSBEI HPE "MSTU", 2019. 111 p. (in Russian).

5 Antipova L.V., Titov S.A., Zhdanov V.N., Karpak A.N. The use of measurements of internal friction for the study of ultrafiltration and nanofiltration of modified curd whey. Proceedings of VSUET. 2018. no. 4 (80). pp. 298–303. (in Russian).

6 Torkova A.A., Lisitskaya K.V., Filimonov I.S., Glazunova O.A. et al. Physicochemical and functional properties of Cucurbita maxima pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation. PloS one. 2018. vol. 13. no. 9. pp. 176–185.

7 Bai L., Liu F., Xu X., Huan S. et al. Impact of polysaccharide molecular characteristics on viscosity enhancement and depletion flocculation. Food Engineering. 2017. vol. 207. pp. 35–45.

8 Silva B.L.L., Costa B.S., Garcia-Rojas E.E. Binary and ternary mixtures of biopolymers and water: viscosity, refractive index and density. International Journal of Thermal Physics. 2016. vol. 37. no. 8. pp. 79.

9 Canteri-Schemin M.H., Fertonani H.C.R., Waszczynskyj N., Wosiacki G. Extraction of pectin from apple pomace. Brazilian Archives of Biology and Technology. 2005. vol. 48. no. 2. pp. 259–266.

10 Einhorn-Stoll U. The interaction of pectin and water in food products – from powder to gel. Food hydrocolloids. 2018. vol. 78. pp. 109–119.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Zuret N. Khatko Dr. Sci. (Engin.), food technology and catering department, Maikop State University of Technology, Pervomayskaya str., 191, Maikop, 385000, Russia, znkhatko@mail.ru.

Sergey A. Titov Dr. Sci (Engin), professor, physics, heating engineering and heart power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 125titov@yandex.ru

Angelika A. Ashinova junior researcher, food technology and catering department, Maikop State University of Technology, Maikop state University of technology, Pervomayskaya str., 191, Maikop, 382000, Russia, divaa2012@yandex.ru

Ekaterina M. Kolodina graduate student, food technology and catering department, Maikop State University of Technology, Pervomayskaya str., 191, Maikop, 385000, Russia, goodwill_katya@mail.ru

CONTRIBUTION

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

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

RECEIVED 4.30.2019

ACCEPTED 5.20.2019