

УДК 664.647.3:664.292

ББК 36.84

О-11

Царёва Мария Александровна, аспирант, старший научный сотрудник лаборатории технологии консервирования Всероссийского научно-исследовательского института технологии консервирования – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; e-mail: inquisitorilohi@mail.ru;

Кондратенко Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Всероссийского научно-исследовательского института технологии консервирования – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; e-mail: nauka@vniitek.ru;

Кондратенко Татьяна Юрьевна, аспирант, старший научный сотрудник лаборатории технологии консервирования Всероссийского научно-исследовательского института технологии консервирования – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; e-mail: ktatyana-19@mail.ru;

Давыдова Анна Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории технологии консервирования Всероссийского научно-исследовательского института технологии консервирования – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; e-mail: ann-nety@mail.ru;

Алабина Нина Михайловна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии консервирования Всероссийского научно-исследовательского института технологии консервирования – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; e-mail: ninaalabina@yandex.ru

О ВЛИЯНИИ ПЕКТИНА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ ФРУКТОВОГО ПЮРЕ

(рецензирована)

В статье приведены результаты исследований влияния пектина, выделенного из свекловичного жома ферментативным путём на реологические и восстановительные свойства фруктового пюре. Установлено влияние концентрации пектина на изменение степени неньютоновости реологических характеристик фруктового пюре и показателя восстановительной способности.

Ключевые слова: пектин, фруктовое пюре, реологические свойства, восстановительная способность.

Tsareva Maria Alexandrovna, a postgraduate student, a senior researcher of Laboratory of Canning Technology of the All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology, a branch of FSBI “Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbатов” of the RAS; e-mail: inquisitorilohi@mail.ru;

Kondratenko Vladimir Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, an associate professor, Deputy Director for Research of the All-Russian Research Institute of Canning

Technology – a branch of FSBSI “Federal scientific center of Food Systems named after V.M. Gorbatov” of the RAS; e-mail: nauka@vniitek.ru;

Kondratenko Tatyana Yuryevna, a post graduate student, a senior researcher of the Laboratory of canning technology of the All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology – a branch of FSBSI “Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov” of the RAS; e-mail: ktatyana-19@mail.ru;

Davydova Anna Yurievna, a junior researcher of the Laboratory of Canning Technology of the All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology, a branch of FSBSI “Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov” of the RAS; e-mail: ann-nety@mail.ru;

Alabina Nina Mikhailovna, Candidate of Technical Sciences, a leading researcher of the Laboratory of Canning Technology of the All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology, a branch of FSBSI “Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov” of the RAS; e-mail: ninaalabina@yandex.ru

ON THE INFLUENCE OF PECTIN ON RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND RESTORATIVE ABILITY OF FRUIT PUREE

(reviewed)

The article presents the results of studies of the effect of pectin isolated from beet pulp enzymatically on rheological and restorative properties of fruit puree. The effect of pectin concentration on the change in the degree of non-Newtonianness of rheological characteristics of fruit puree and the index of reducing ability has been established.

Keywords: *pectin, fruit puree, rheological properties, reducing ability.*

Продукты переработки растительной ткани представляют собой неоднородную систему сложного состава, в которую входят как растворимые, так и нерастворимые компоненты органической и неорганической природы, как с линейной и разветвлённой структурой, так и в виде простых ионов. В комплексе эти компоненты формируют интегральные реологические свойства всего продукта, отличные от свойств истинных растворов. Однако нативно сформированные реологические свойства далеко не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к тем или иным продуктам. В этом случае при производстве в исходную рецептуру вводят реологически-активные добавки. Одной из таких добавок являются полигликаны – семейство биополимеров углеводной природы с различной степенью полимеризации, а также величиной и распределением заряда молекул, что в комплексе и формирует их реологические свойства. При этом величина и распределение заряда молекул является интегральной функцией от вида, количества, состояния и распределения первичных и вторичных функциональных групп [1], а также от свойств среды, таких как концентрация катионов водорода, ионная сила, температура, давление и др. Множество одновременно действующих внутренних и внешних факторов определяет сложность в изучении и понимании процессов, происходящих в пищевых системах.

Одной из основных задач, стоящих в настоящее время перед проектированием пищевых систем с функциональными свойствами и/или специализированного назначения, является также формирование условий снижения риска окислительной

инактивации биологически активных компонентов. Это возможно лишь при условии, что сама система обладает преимущественно восстановительными свойствами. Полигликаны, в силу своим молекулярных свойств, теоретически, должны способствовать смещению равновесия в системе с их участием (при условии достаточного их присутствия) в сторону преобладания восстановительных процессов [2, 3]. Одним из полигликанов с наиболее широким спектром как функциональных, так и реологических свойств являются пектиновые вещества. Поэтому их применение для формирования указанных выше показателей формируемых пищевых систем наиболее оправдано. Однако данный вид полигликанов отличается высокой степенью гетерогенности состава. Так, в их составе могут присутствовать до 17 различных остатков углеводов и их производных, что определяется природой источника пектиновых веществ, а также условиями их извлечения [4]. При этом конечные свойства исключительно лабильны к их молекулярным характеристикам, также формируемым в процессе синтеза в составе растительной ткани. Так, устойчивость геля, образованного двумя образцами пектина, сходными по относительным показателям (степень метоксилирования карбоксильных групп, доля свободных карбоксильных групп, доля свободных гидроксильных групп), но различающимися по уронидной составляющей (долей линейных участков в общей структуре молекулы), будет кардинально различаться [5]. В настоящее время основным источником для промышленного производства реологически-активного (желирующего) пектина является кожура цитрусовых, что автоматически переводит данный вид полигликанов исключительно в импортируемый компонент в силу отсутствия подобной сырьевой базы в Российской Федерации. Тем не менее, страна обладает значительным ресурсом в отношении другого источника пектиновых веществ – свекловичного жома, но пектин из него, получаемый по традиционным технологиям (кислотным и мультиферментным), не обладает необходимой реологической активностью. В настоящей работе авторы исследовали влияние пектина, выделенного из жома сахарной свёклы по оригинальной технологии с использованием гомоферментных препаратов, – практически полностью представленного линейной гомоалактуронановой фракцией – на реологические и восстановительные свойства пищевых систем, что особенно актуально в разрезе импортозамещения как в области сырьевых источников, так и в области внедрения отечественных наукоёмких технологий глубокой переработки вторичных продуктов обработки сельскохозяйственного сырья.

В качестве объектов исследований были использованы образцы фруктового пюре с добавлением пектина, выделенного ферментативным путём из жома сахарной свёклы, изготовленные на технологическом оборудовании Технологического стенда лаборатории технологии консервирования. Массовая доля экспериментальных образцов пектина в образцах составляла 0,0, 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 и 0,9 %. Аналитические исследования проводили в лаборатории технологии консервирования, а также в испытательном центре пищевой продукции и продовольственного сырья института. Реологические характеристики – динамики напряжения сдвига и динамической вязкости от скорости сдвига и продолжительности деформационного воздействия – определяли с использованием ротационного вискозиметра Thermo Scientific HAAKE Viscotester 550,

укомплектованного термостатируемой ячейкой, ротором SV2 и оригинальным программным обеспечением Thermo Scientific HAAKE RheoWin v. 3.61.0004. В качестве интегрального фактора, отражающего абсолютную величину окислительно-восстановительных свойств системы, использовали показатель окислительного восстановительного потенциала, сочетающего в себе величину окислительно-восстановительного потенциала и величину активной реакции среды – рН [6]. Активную реакцию среды (рН) определяли по [7] с использованием цифрового рН-метра Эксперт-001-01, укомплектованного комбинированным одноключевым электродом ЭСП 10605/7. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) определяли непрерывным с использованием цифрового рН-метра Эксперт-001-01, укомплектованного лабораторным комбинированным редокс-электродом ЭРП-105 и оригинальным программным обеспечением, посредством измерения динамики показателя в процессе установления равновесия в системе «фруктовое пюре – электродная пара» в течение 1800 с при дискретности 1 с и последующей аппроксимацией данных в системе координат « $1/\tau - Eh$ », где τ – продолжительность измерения, с. За искомое принимали значение, отсекаемое аппроксимационной функцией от оси ординат (при $1/\tau = 0$). Показатель восстановительной способности (RH) рассчитывали по оригинальной методике [6, 8]. Для уменьшения статистической погрешности, каждый эксперимент проводили в пятикратной повторности с отбраковкой статистически недостоверных данных. Математическую обработку и моделирование проводили с использованием специализированного программного обеспечения TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software Inc.) и табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation) с установленными надстройками «Анализ данных», «Поиск решения» и «Подбор параметра», «OpenSolver» [9]. Обработку данных по методу главных компонент Пирсона проводили по [10].

Результаты исследований показали, что все образцы гомогенных однокомпонентных пюреобразных продуктов на фруктовой основе в пределах области определения массовых долей вносимого пектина проявляли свойства неньютоновской жидкости – среды с выраженным нелинейным изменением динамической вязкости при увеличении деформационного воздействия (рисунок 1). Визуальная констатация наличия «петли гистерезиса» в совокупной динамике вязкости в координатах «динамическая вязкость – скорость сдвига» в процессе трёхстадийного механического воздействия «увеличение скорости сдвига – постоянное значение – уменьшение скорости сдвига» позволила предположить наличие у исследуемых систем тиксотропных свойств.

Анализ динамики напряжения сдвига при изменении скорости сдвига подтвердил наличие тиксотропных свойств как в образцах с исходными пюре, так и – с добавлением пектина. При этом выраженность тиксотропных свойств, по видимому, формируется совокупностью химических составляющих исходных продуктов: увеличение массовой доли пектина не приводило к сколько-нибудь существенному изменению данного показателя.

Неоднородность формирования вязкостных свойств продуктов с разной массовой долей вносимого пектина при разных значениях скорости сдвига указывает на наличие сложного комплекса взаимодействий между высоко- и низкомолекулярными

компонентами, а также – непосредственно между высокомолекулярными компонентами.

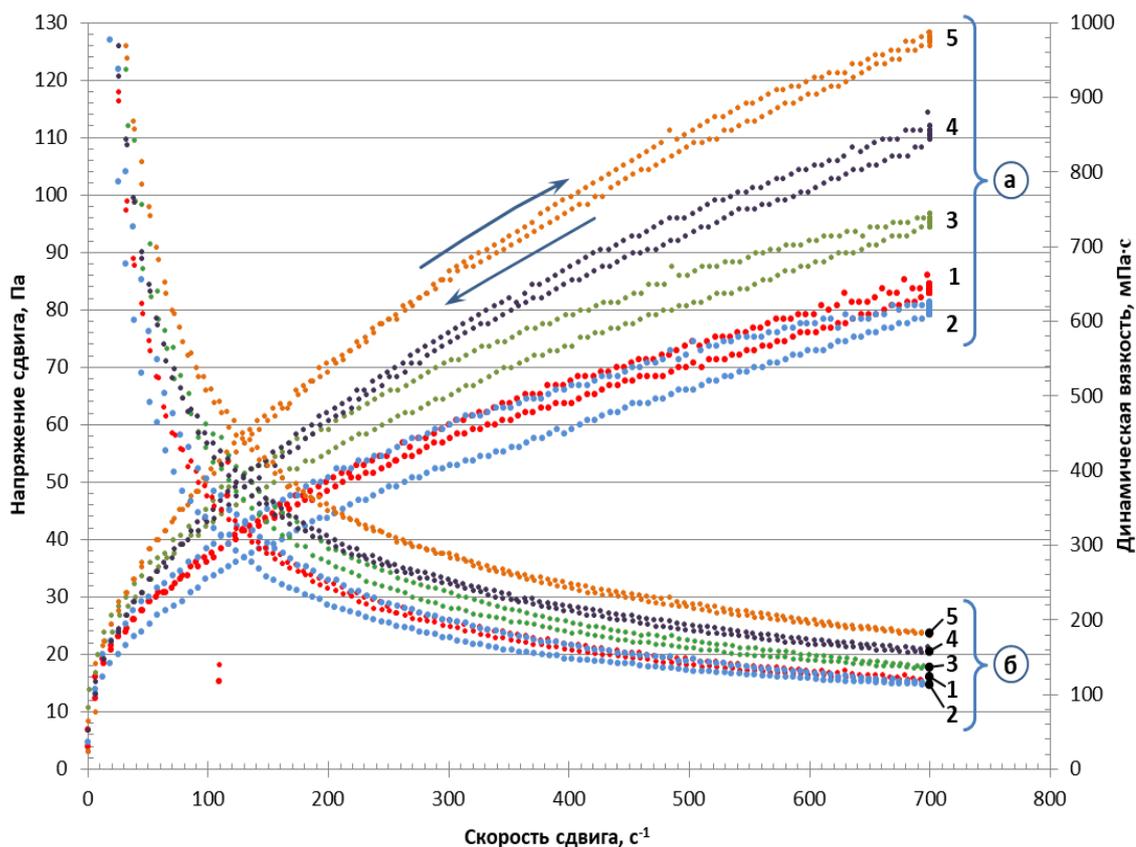


Рис. 1. Зависимости напряжения сдвига (а) и динамической вязкости (б) гомогенных пюреобразных продуктов от скорости сдвига и массовой доли пектина
 1 – 0,0%; 2 – 0,3%; 3 – 0,5%; 4 – 0,7%; 5 – 0,9%;
 стрелками показаны направления изменения скорости сдвига

Первичный анализ экспериментальных данных показал, что увеличение массовой доли пектина, начиная с 0,3 %, приводило к монотонному увеличению как напряжения сдвига, так и динамической вязкости. Это, вероятно, связано с полимерной природой вносимых компонентов и участия их в формировании структуры продукта.

В соответствии со степенным законом вязкости для неньютоновских жидкостей (степенным законом Оствальда-де Вела),

$$\tau = K \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, \quad (1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; K – индекс консистенции потока, Па · сⁿ; $\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$ – скорость сдвига ($\dot{\gamma}$), с⁻¹; n – безразмерный показатель поведения жидкости.

Индекс консистенции потока и показатель поведения жидкости являются характеристическими коэффициентами степенного закона для исследуемых объектов.

Значения характеристических коэффициентов, рассчитанные для исследуемых образцов, дифференцированно для стадий увеличивающейся и уменьшающейся скоростей сдвига, а также их коэффициенты детерминации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения характеристических коэффициентов для образцов с внесённым пектином

Массовая доля, %	Увеличение скорости сдвига			Уменьшение скорости сдвига		
	K	n	R^2	K	n	R^2
0,0	5,666	0,412	0,9434	9,639	0,313	0,9949
0,1	6,534	0,371	0,9966	8,699	0,304	0,9902
0,3	6,980	0,376	0,9980	8,814	0,315	0,9933
0,5	8,214	0,377	0,9970	14,093	0,359	0,9939
0,7	5,375	0,464	0,9987	8,887	0,370	0,9971
0,9	5,661	0,478	0,9935	10,321	0,369	0,9963

Значения коэффициента детерминации R^2 для всех образцов было больше 0,9, что указывает на справедливость применения степенного закона к описанию динамики реологических показателей исследованных объектов в области определения значений скорости сдвига. Для всех приведённых данных значения показателя поведения потока – меньше единицы, что позволяет отнести исследованные объекты к псевдопластичным жидкостям.

Показатель поведения жидкости является важной реологической характеристикой. Анализ зависимости показателя поведения жидкости от концентрации внесённого пектина по методу главных компонент показал, что в области определения экспериментальных значений независимой переменной имеют место два статистически значимо отстоящие друг от друга множества значений зависимой переменной (рисунок 2).

При этом различие значений показателя поведения жидкости на этапах возрастания и уменьшения скорости сдвига в образцах со сходственными массовыми долями пектина статистически несущественно (рисунок 3).

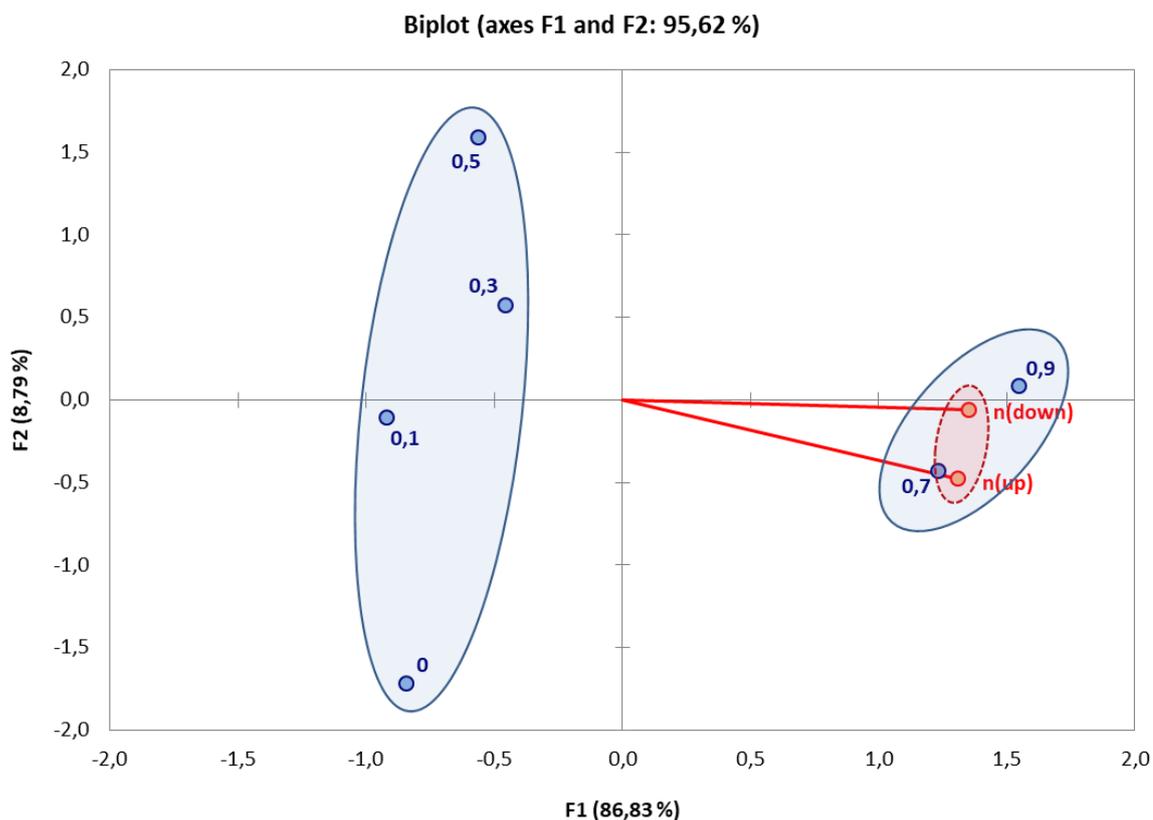


Рис. 2. Палитра векторов активных переменных в координатах первой (F1) и второй (F2) главных компонент

0, 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 и 0,9 – массовая доля пектина, %;

n(up) и n(down) – значения показателя поведения жидкости на этапах возрастания и уменьшения скорости сдвига, соответственно

По достижении некоторой критической массовой доли внесённого компонента, значение показателя поведения жидкости скачкообразно менялось, несколько смещаясь в сторону единицы (значения, соответствующего ньютоновской жидкости), что косвенно указывало на некоторую перестройку структуры взаимодействия внесённого и нативных химических компонентов системы. Для определения указанного критического значения расчётные данные интерполировали кусочно-линейной регрессией. В качестве точки перехода принимали центр множества значений массовой доли вносимого компонента, соответствующего множеству значений зависимой переменной, принадлежащему области, лежащей между коридорами варьирования. Точка перехода соответствует массовой доле вносимого полигликана ~ 0,61 %.

В то же время сравнительный анализ динамики индекса консистенции потока от массовой доли вносимого пектина не имеет смысла в силу априорной несопоставимости величин, имеющих различную размерность. Действительно, размерность данного показателя представлена как $\text{Па} \cdot \text{с}^n$ (что делает его эквивалентным динамической вязкости в случае, когда $n = 1$, то есть – ньютоновской жидкости). Таким образом, при отличии значения n по вариантам исследования, данный факт автоматически относит этот показатель, рассчитанный для данных вариантов, к формально разным величинам.

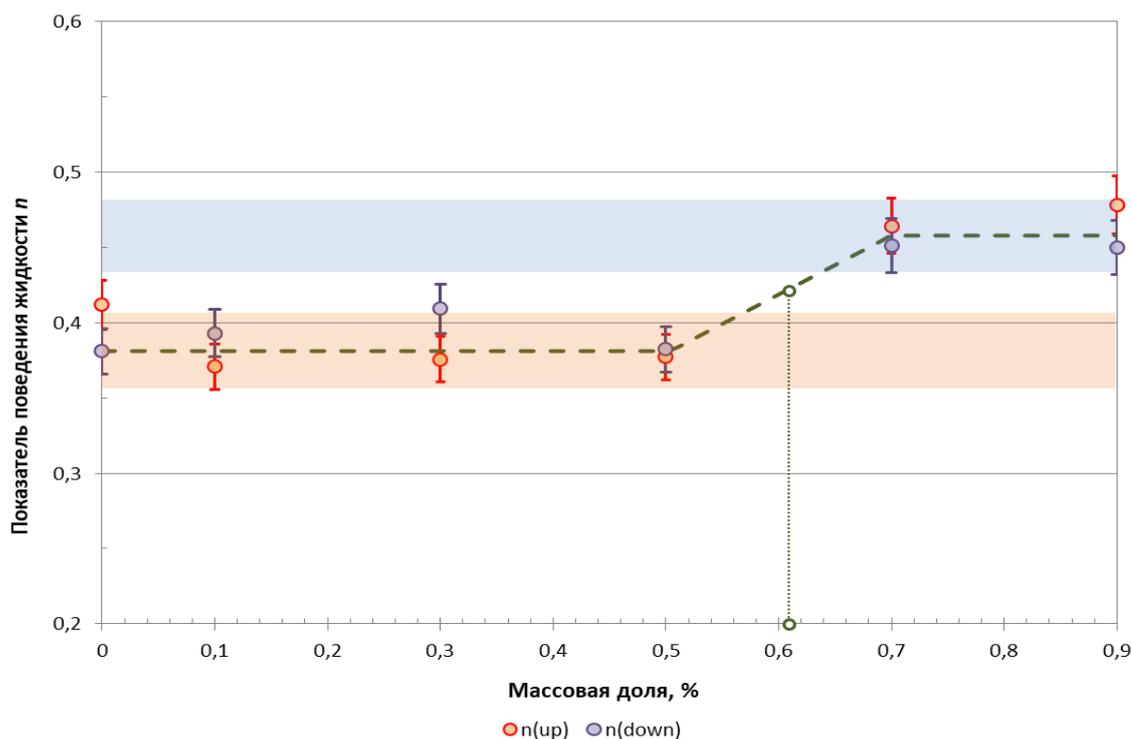


Рис. 3. Влияние массовой доли вносимого полигликана на показатель поведения жидкости

$n(\text{up})$ и $n(\text{down})$ – значения на этапе возрастания и уменьшения скорости сдвига, соответственно; коридоры варьирования множеств n выделены цветом

Анализ экспериментальных данных по влиянию вносимых компонентов на показатель восстановительной способности пюреобразных продуктов показал, что при увеличении массовой доли вносимого пектина целевой показатель демонстрировал тенденцию к увеличению. При этом в области определения значений массовой доли можно выделить три участка – 1) увеличение независимого фактора не приводит к статистически существенному изменению целевого показателя (зона плато); 2) увеличение массовой доли сопровождается монотонным увеличением целевого показателя; 3) дальнейшее увеличение массовой доли не оказывает статистически значимого влияния на целевой показатель (зона плато). Зависимость такого рода может быть удовлетворительно аппроксимирована S-образной функцией вида $RH=f(\omega)$ с двумя зонами плато, где ω – массовая доля вносимого пектина (рисунок 4).

Аппроксимационная функция, адекватно отражающая искомую зависимость, имеет вид:

$$y = a + b \cdot \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{x - d \cdot \ln \left(1 - 2^{-\frac{1}{f}} \right) - c}{d} \right]^f \right\} \quad (2)$$

где x – массовая доля пектина, %; y – показатель восстановительной способности, ед. RH; $a = 2,79990948$; $b = 0,675043615$; $c = 0,677489364$; $d = 0,156027872$; $f = 25,79982018$.

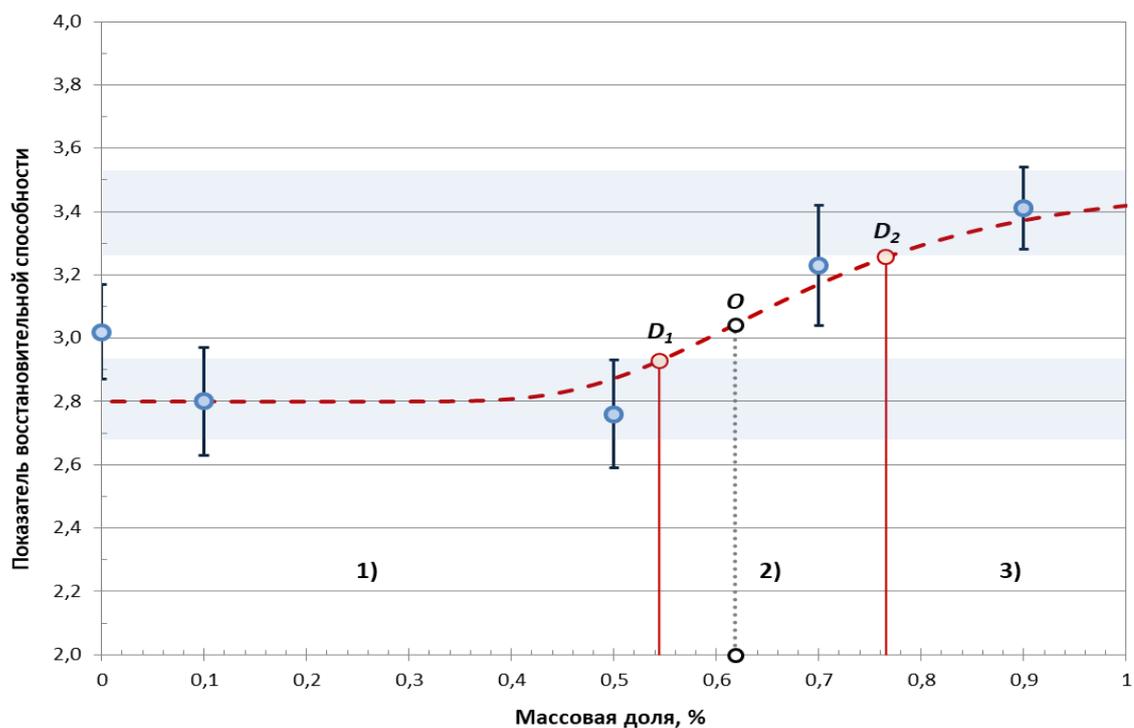


Рис. 4. Зависимость показателя восстановительной способности от массовой доли вносимого пектина

Границы между участками (соответственно, границы перехода в нижнюю и верхнюю зоны плато) находили по достижению функцией критических значений – точек D_1 и D_2 – методом нормированного асимптотического приближения при $d = 1$ % и $\Delta x = 0,02$ и $0,03$ %, соответственно:

$$\frac{|f(x_D + \Delta x) - f(x_D)| \cdot 100}{f(x_D)} \leq d, \quad (3)$$

где $f(x_D)$ – значение функции в точке x_D ; $f(x_D + \Delta x)$ – значение функции в точке $x_D + \Delta x$; d – максимально допустимое приращение значения функции $f(x_D)$ на интервале Δx независимой переменной, %.

Особенностью S-образных функций является наличие точки перегиба – точки O – физический смысл которой применительно к данным условиям может быть определён как критическое значение массовой доли вносимого пектина в продукте, при которой начинается переход от второго участка к третьему, выраженный в практически ступенчатом увеличении показателя восстановительной способности продукта на $\sim 0,8$ ед. Данную точку определяли как точку, соответствующую значению независимого фактора (аргумента), при котором вторая производная функции (2) была равна нулю. Точка перегиба соответствовала массовой доле вносимого пектина $\sim 0,62$ %. Наличие точки перегиба и двух относительно близко лежащих зон плато аппроксимирующей функции указывало на некоторую перестройку структуры взаимодействия внесённого и нативных химических компонентов системы при её достижении.

Примечательно, что численное значение массовой доли пектина в точке перегиба (для показателя восстановительной способности) и точке перехода (по показателю поведения жидкости) практически совпадают, что указывает на единую природу

изменений, происходящих в продукте при достижении данного критического значения.

В проведённых исследованиях были сделаны следующие выводы:

– установлено, что выделенный из свекловичного жома по разработанной технологии пектин оказывает влияние на степенной показатель поведения жидкости (степень неньютоновости) – увеличение массовой доли в интервале от 0,5 до 0,7 % (точка перехода ~0,61 %) приводит к однократному скачкообразному изменению показателя поведения жидкости в сторону ньютоновости.

– полученные в результате исследований реологические зависимости позволяют говорить о том, что внесение пектина, выделенного из свекловичного жома, в концентрированную фруктовую систему позволяют осуществлять управляемый переход между двумя уровнями консистенции со значениями показателя поведения жидкости от 0,38 до 0,48. Несмотря на малое численное значение такого перехода, значимость его обуславливается степенной природой показателя.

– экспериментально установлено, что влияние вносимого пектина на восстановительные свойства пищевых систем проявляется нелинейно – в виде разового скачкообразного увеличения, в интервале массовых долей минорного компонента от 0,54 до 0,76 (точка перехода ~0,62 %). Полученные зависимости позволяют управлять потенциальным риском окисления лабильных компонентов пищевых систем на фруктовой основе.

– сходство точек перехода указывает на тесную взаимосвязь между окислительно-восстановительными процессами с участием вносимого пектина и степенью неньютоновости пищевых систем с их участием.

Литература:

1. Кондратенко В.В., Кондратенко Т.Ю. Состояние функциональных групп пектиновых веществ в водных средах // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2012. №4(328). С. 41-43.
2. Панкина И.А., Белокурова Е.С. Интенсификация технологии получения сока из плодово-ягодного сырья с высоким содержанием пектина // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. №1. С. 36-41.
3. 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.
4. If Homogalacturonan Were a Side Chain of Rhamnogalacturonan I. Implications for Cell Wall Architecture / J.-Paul Vincken [et al] // Plant Physiol. 2003. V. 132. P. 1781-1789.
5. Pectin as a Rheology Modifier: Origin, Structure, Commercial Production and Rheology [Electronic resource] / S.Y. Chan [et al] // Carbohydrate Polymers. 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.033>.
6. Костылёв А.С., Кондратенко В.В. Особенности формирования восстановительного потенциала натуральных многокомпонентных пюреобразных продуктов питания из растительного сырья // Пищевые системы: теория, методология, практика: материалы XI Международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. Москва, 2017. С. 167-174.

7. ГОСТ 26188-84 Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH. Москва: Изд-во стандартов, 1984. 8 с.

8. Особенности формирования восстановительных свойств натуральных многокомпонентных продуктов из плодоовощного сырья / А.С. Костылёв [и др.] // Современные подходы к получению и переработке сельскохозяйственной продукции – гарантия продовольственной независимости России: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. Москва, 2016. С. 173-180.

9. Mason A.J. OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel [Electronic resource] // Operations Research Proceedings Springer. Berlin Heidelberg, 2012. P. 401-406. URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64, <http://opensolver.org>

10. Abdi H., Williams L.J. Principal component analysis. Overview // WIREs Computational Statistics. 2010. V. 2. P. 433-459.

Literature:

1. Kondratenko V.V., Kondratenko T.Yu. *The state of functional groups of pectic substances in aqueous media // Proceedings of higher educational institutions. Food technology. 2012. № 4 (328). P. 41-43.*

2. Pankina I.A., Belokurova E.S. *Intensification of technology for obtaining juice from fruit and berry raw materials with a high pectin content // Scientific journal of SRI ITMO. Ser. Processes and devices of food production. 2017. № 1. P. 36-41.*

3. 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.*

4. *If Homogalacturonan Were a Side Chain of Rhamnogalacturonan I. Implications for Cell Wall Architecture / J.-Paul Vincken [et al] // Plant Physiol. 2003. V. 132. P. 1781-1789.*

5. *Pectin as a Rheology Modifier: Origin, Structure, Commercial Production and Rheology [Electronic resource] / S.Y. Chan [et al] // Carbohydrate Polymers. 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.033>.*

6. Kostilyov A.S., Kondratenko V.V. *Features of formation of restoring potential of natural multicomponent puree food products from plant raw materials // Food Systems: Theory, Methodology, Practice: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists of the Agricultural Sciences Division of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2017. P. 167-174.*

7. *GOST 26188-84 Products of fruits and vegetables processing, canned meat and meat and vegetation products. Method for pH determination. Moscow: Standards Publishing House, 1984. 8 p.*

8. *Features of formation of restoring properties of natural multicomponent products from fruit and vegetable raw materials / A.S. Kostilyov [et al.] // Modern approaches to the production and processing of agricultural products - a guarantee of food independence of Russia: materials of the international scientific-practical conference of young scientists and specialists of the Agricultural Sciences Department of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2016. P. 173-180.*

9. Mason A.J. *OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel [Electronic resource]* // *Operations Research Proceedings Springer*. Berlin Heidelberg, 2012. P. 401-406. URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64, <http://opensolver.org>

10. Abdi H., Williams L.J. *Principal component analysis. Overview* // *WIREs Computational Statistics*. 2010. V. 2. P. 433-459.