

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЙНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Д.В. Леонов, Е.И. Муратова, С.И. Дворецкий

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор С.А. Нагорнов

Ключевые слова и фразы: желейные полуфабрикаты; изделия функционального назначения; моделирование; оптимизация; пектин; реологические характеристики; фитодобавки; экстракт листьев крапивы.

Аннотация: Получены регрессионные уравнения, описывающие влияние рецептурных ингредиентов на реологические свойства желейных масс и студней. Установлено рецептурное соотношение компонентов: пектина, лимонной кислоты и концентрированного водного экстракта листьев крапивы двудомной, позволяющее получать желейные полуфабрикаты с заданными структурно-механическими характеристиками.

Основным физико-химическим процессом при производстве желейных изделий является процесс студнеобразования. Высокоэтерифицированные пектины образуют студни, в основном, за счет гидрофобного взаимодействия и водородных связей между молекулами пектина в кислой среде при наличии более 55 % сахара в растворе. В настоящее время фитодобавки находят все более широкое применение в качестве физиологически функциональных пищевых ингредиентов при создании продуктов функционального и лечебно-профилактического питания. Их влияние на данный процесс изучено не достаточно полно.

Проведено исследование влияния концентраций пектина, лимонной кислоты и концентрированного водного экстракта листьев крапивы двудомной на вязкость желейной массы и прочность студней и определение соотношения перечисленных ингредиентов, позволяющего получить студни заданной прочности.

Леонов Дмитрий Валерьевич – аспирант кафедры «Технологии продовольственных продуктов», e-mail: topt@topt.tstu.ru; Муратова Евгения Ивановна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Технологии продовольственных продуктов»; Дворецкий Станислав Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продовольственных продуктов», проректор по научно-инновационной деятельности, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Использование фитодобавок на основе крапивы двудомной в виде сухих и гидратированных порошков, спиртовых и концентрированных водных экстрактов в рецептурных композициях жележных конфет даже при внесении их в количестве 0,5 % к общей массе приводит к существенному изменению технологических характеристик жележных полуфабрикатов. При этом различные формы добавок по-разному влияют на реологическое поведение жележных масс и студней.

Сухие и гидратированные порошки повышают вязкость жележных масс и снижают прочность пектинового студня. Особенно заметна эта тенденция при увеличении размера частиц порошков.

Спиртовые экстракты практически не оказывают влияния на реологические свойства полуфабрикатов, поскольку спирт испаряется при внесении в горячую жележную массу, а концентрация остающихся в массе экстрактивных веществ незначительна.

Использование концентрированного водного экстракта приводит к снижению вязкости жележной массы и прочности студня, что связано с взаимодействием молекул пектина и солей поливалентных металлов, содержащихся в экстракте.

Таким образом, при разработке промышленных рецептур жележных конфет с фитодобавками важно исследовать особенности реологического поведения жележных полуфабрикатов, определить оптимальные значения вязкости жележных масс и прочности пектиновых студней. Далее эти данные возможно использовать для корректировки состава рецептурной смеси и технологических режимов производства.

Контроль вязкости жележных масс наиболее важен для процесса формирования корпусов конфет, так как значительное изменение вязкости может привести к нарушению технологического цикла – преждевременному желированию массы в каналах конфетоотливочной машины и появлению брака вследствие неравномерного распределения массы в крахмальных формах. Точное установление значения вязкости и ее своевременный контроль позволит подбирать оптимальные температуры отливки конфетных корпусов, что оптимизирует расход теплоносителя и позволит достаточно точно рассчитать величину перезакладки термически нестабильных ингредиентов, вводимых непосредственно перед отливкой.

Получение жележных студней (жележных корпусов) с заданными структурно-механическими характеристиками важно как для проведения финишных операций по глазированию (глянцеванию), завертке и упаковке конфет, так и для обеспечения определенной консистенции конфет.

В связи с отсутствием данных, регламентирующих прочность корпусов жележных конфет в нормативно-технической документации (ГОСТ 4570–93), для установления (с точки зрения органолептических, технологических и экономических показателей) оптимального значения прочности жележных студней исследовали прочность корпусов жележных конфет от различных производителей (24 вида) и ее изменение в процессе хранения конфет.

Исследования показали, что прочность корпусов жележных конфет от различных производителей варьируется в широком интервале значений – 36...122 кПа, что объясняется использованием различных видов сырья и его рецептурных соотношений. Снижение прочности жележных студней ниже значения ~30 кПа приводит к технологическим трудностям в процессах очистки корпусов конфет от крахмала, глазирования и упаковки, а достижение прочности выше ~70 кПа приводит к изменению текстуры студня, яркому проявлению резиноподобных свойств, перерасходу пектина и увеличению себестоимости готовых изделий. В процессе хранения жележных конфет в течение трех месяцев прочность студней дополнительно увеличивается на 15–50 % в зависимости от вида покрытия (неглазированные, покрытые различными видами глазури и глянецвателей), упаковки и условий хранения в связи с уменьшением количества связанной влаги, заполняющей пространство между каркасом пектиновых молекул.

Таким образом, для обеспечения желаемой консистенции и достаточной формоудерживающей способности корпусов конфет, сохранения прочности в интервале 40...65 кПа в течение всего срока хранения, сокращения количества используемого пектина целесообразно принять в качестве оптимального значения прочности жележных студней ~40 кПа.

В качестве объектов исследования рассматривались жележные массы и студни, изготовленные на основе сахара, патоки, смеси лимонной и аскорбиновой кислот, цитрата натрия, цитрусового высокоэтерифицированного пектина Unipectin PG DS (степень этерификации 60 %) и экстракта крапивы.

Основными факторами, влияющими на реологические характеристики, являются: x_1 , x_2 , x_3 – количества пектина, лимонной кислоты, концентрированного водного экстракта листьев крапивы соответственно, г. Выбор основных уровней и интервалов варьирования факторов обусловлен следующими соображениями: для пектина – минимальной концентрацией студнеобразователя, рекомендациями производителей пектинов, предварительными экспериментами на жележных массах без добавок; для лимонной кислоты – интервалом рН жележной массы, в котором пектин способен образовывать жележный студень (рН = 3,0–4,0); для экстракта крапивы – содержанием БАВ в жележной массе и органолептическими характеристиками показателями готовых конфет.

В качестве критериев оценки влияния указанных факторов на структурно-механические свойства жележной массы принимали вязкость массы y_1 (Па·с) в процессе формования и пластическую прочность студня y_2 (кПа) на стадии выстойки корпусов конфет в крахмальных формах в течение 60 мин при температуре 20 °С. Вязкость измеряли на ротационном вискозиметре HAAKE VT7R-plus (Thermo Fisher Scientific, Германия) с устройством термостатирования (температура массы 90 °С, скорость деформации 30 с⁻¹). Пластическую прочность студней определяли на текстурном анализаторе Brookfield CT3 (Brookfield Engineering Laboratories, inc., США) методом пенетрации сферическим индентором из нержавеющей

шей стали диаметром 12,7 мм, скорость погружения которого составляла 0,5 мм/с.

На основе анализа априорной информации об объекте исследования для оценки одновременного воздействия пектина, лимонной кислоты, экстракта крапивы на реологические свойства жележных полуфабрикатов был использован рототабельный центрально-композиционный план эксперимента, учитывающий варьирование трех факторов на трех уровнях и содержащий восемь точек «ядра» плана, шесть точек в центре плана и шесть «звездных» точек (табл. 1) и позволяющий построить модель в виде полинома второй степени [2, 3].

Статистическая обработка экспериментальных данных заключалась в вычислении оценок коэффициентов уравнений регрессии, проверке их значимости и оценке воспроизводимости опытов [1].

Уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости вязкости массы y_1 и пластической прочности студней y_2 от количеств дозируемых пектина, лимонной кислоты, концентрированного водного экстракта листьев крапивы, имеют вид:

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Кодированное значение фактора			Натуральное значение фактора, г			Функция отклика	
	X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2
1	1	1	1	6,00	6,00	12,00	7,756	59,49
2	1	1	-1	6,00	6,00	7,00	11,09	74,35
3	1	-1	1	6,00	4,00	12,00	5,365	38,01
4	1	-1	-1	6,00	4,00	7,00	8,894	52,64
5	-1	1	1	3,00	6,00	12,00	0,334	4,92
6	-1	1	-1	3,00	6,00	7,00	1,298	8,82
7	-1	-1	1	3,00	4,00	12,00	0,557	12,42
8	-1	-1	-1	3,00	4,00	7,00	1,426	14,86
9	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,121	49,13
10	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,321	47,88
11	0	0	0	4,50	5,00	9,50	5,031	47,52
12	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,954	49,12
13	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,777	48,99
14	0	0	0	4,50	5,00	9,50	4,111	47,53
15	-1,682	0	0	1,98	5,00	9,50	0,221	6,87
16	1,682	0	0	7,02	5,00	9,50	14,350	82,71
17	0	-1,682	0	4,50	3,32	9,50	1,990	25,24
18	0	1,682	0	4,50	6,68	9,50	3,511	35,11
19	0	0	-1,682	4,50	5,00	5,30	5,865	31,70
20	0	0	1,682	4,50	5,00	13,70	2,863	22,14

$$y_1 = -14 - 1,55x_1 + 5,44x_2 + 0,68x_3 + 0,41x_1x_2 - 0,17x_1x_3 + 0,4x_1^2 - 0,68x_2^2 - 0,02x_3^2; \quad (1)$$

$$y_2 = -233,19 + 3,79x_1 + 46,92x_2 + 25,32x_3 + 4,73x_1x_2 - 0,77x_1x_3 - 0,084x_2x_3 - 0,55x_1^2 - 6,4x_2^2 - 1,208x_3^2. \quad (2)$$

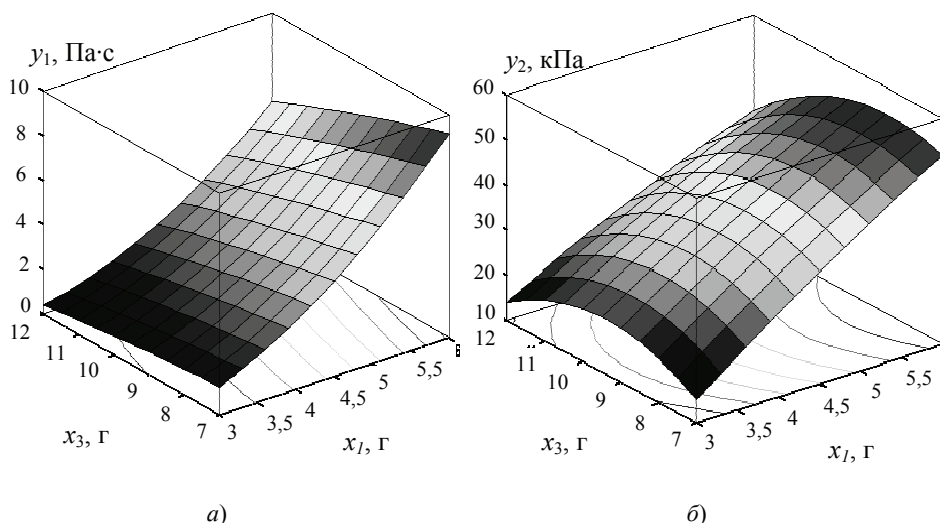
Максимальное рассогласование экспериментальных и расчетных по модели (1) данных составило 2,9 %, по модели (2) – 6,7 %.

Графическое изображение уравнений (1) и (2) в виде поверхностей отклика и линий равного уровня при фиксированном количестве лимонной кислоты $x_2 = 4$ г представлены на рисунке.

Из графиков видно, что вязкость желейной массы y_1 уменьшается при увеличении количества вносимого экстракта крапивы, а прочность студней y_2 при увеличении содержания экстракта растет, достигая максимума в интервале $x_3 = 8 \dots 10$ г (3,3...4,2 % от общей желейной массы), а затем снова падает.

Задача оптимизации структурно-механических свойств корпусов желейных конфет формулировалась следующим образом: требуется найти значения независимых переменных x_1 , x_2 и x_3 , при которых пластическая прочность желейного студня будет не ниже 40 кПа.

В результате решения данной задачи было получено соотношение пектина, лимонной кислоты, экстракта листьев крапивы $x_1 : x_2 : x_3$, в граммах (% от общей желейной массы): 4,1(1,7) : 5,7(2,38) : 8,4(3,5), позволяющее получать студни с заданной прочностью ~40 кПа. Подставляя полученные значения факторов в уравнение (1), получаем значение вязкости желейной массы в процессе отливки корпусов конфет ~5,04 (Па·с).



Поверхности отклика: а – $y_1 = f(x_1, x_3)$; б – $y_2 = f(x_1, x_3)$

Таблица 2

Рецептура жележных конфет функционального назначения

Рецептурные ингредиенты	Соотношение, мас. %
Пектин	1,7
Сахар	63,0
Патока крахмальная	15,0
Лимонная кислота	2,38
Аскорбиновая кислота	0,1
Цитрат натрия	0,45
Концентрированный водный экстракт листьев крапивы	3,5

По результатам проведенных исследований разработана рецептура жележных конфет функционального назначения (табл. 2) с повышенной биологической ценностью: 30 г конфет способны удовлетворить суточную потребность организма: по витамину С – на 30 %, К – на 15,26 %, Са – на 8,16 %, Mg – на 6,48 %, с заданными технологическими характеристиками полуфабрикатов и готовых изделий.

Список литературы

1. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.
2. Моделирование и оптимизация структурно-механических свойств мармелада / Г.О. Магомедов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 12. – С. 35–38.
3. Sato, Ana C.K. Cunha Rheology of Mixed Pectin Solutions / Ana C.K. Sato, Pablo R. Oliveira, L. Rosiane // Food Biophysics. – 2008. – № 1. – С. 100–109.

Modeling and Optimization of Rheological Properties of Jelly Semi-Products

D.V. Leonov, E.I. Muratova, S.I. Dvoretzky

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: functional products; jelly semi-products; modeling; nettle leaves extract; optimization; pectin; phyto additives; rheological properties.

Abstract: The equations of regress describing the influence of prescription components on rheological properties of jelly mass and jellies are received. The prescription ratio of pectin, citric acid and nettle leaves extract, allowing to receive jelly semi-products with the set structurally-mechanical characteristics is obtained.

© Д.В. Леонов, Е.И. Муратова, С.И. Дворецкий, 2011