

УДК 663.918

ИЗМЕНЕНИЕ ВЯЗКОСТИ И ТЕКУЧЕСТИ ШОКОЛАДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ

Черных И.А., Красина И.Б., Калманович С.А., Красин П.С.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,
Краснодар, e-mail: pku@kubstu.ru

Шоколадные изделия, не содержащие сахарозы становятся все более популярными среди потребителей и производителей. Один из способов изготовления шоколада, не содержащего сахара, это замена сахарозы некоторыми альтернативными сахарозаменителями. Было исследовано влияние различных объемных сахарозаменителей (мальтит, изомальт и эритрит) с разным размером частиц, разделенных на три интервала (106–53, 53–38 и 38–20 мкм), на реологические свойства расплавленного шоколада. Установлено, что модель Гершель – Балкли лучше других моделей описывает реологические свойства шоколадной массы. Установлено, что мальтит в результате влияет на реологические свойства шоколада аналогично сахарозе и, таким образом, может быть хорошей ей альтернативой. Применение изомальта приводит к более высокой пластической вязкости шоколадной массы, а мальтит повышает текучесть шоколадной массы более значительно, чем другие объемные сахарозаменители. Изменение размера частиц приводит к изменению пластической вязкости и предела текучести. Различия в реологических свойствах шоколада с различными объемными сахарозаменителями были вызваны различиями в объемной доле твердых частиц и распределением этих частиц по размерам. При замене сахарозы для улучшения реологических свойств шоколада необходимо выбирать сахарозаменители с большим размером частиц, но размер частиц сахарозаменителей должен быть достаточно мал, чтобы в результате шоколад получился с хорошими органолептическими свойствами.

Ключевые слова: шоколад, реология, вязкость, текучесть, объемные сахарозаменители, размер частиц

CHANGES IN VISCOSITY AND FLUIDITY CHOCOLATE WHEN USING SWEETENERS

Chernykh I.A., Krasina I.B., Kalmanovich S.A., Krasin P.S.

The Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: pku@kubstu.ru

Chocolate products do not contain sucrose are becoming increasingly popular among consumers and producers. One method of producing chocolate containing no sugar is sucrose substitute some alternative sweetener. It investigated the effect of various bulk sweeteners (maltitol, isomalt and erythritol) with different particle size, divided into three intervals (106–53, 53–38, and 38–20 microns), the rheological properties of molten chocolate. It was found that the model of the Herschel-Bulkley models are better than others, it describes the real rheological properties of chocolate mass. It is established that as a result of maltitol affects the rheological properties of chocolate analogous sucrose and thus it may be a good alternative. The use of isomalt causes higher plastic viscosity of the chocolate mass and maltitol improves the fluidity of the chocolate mass significantly more than other bulk sweeteners. Changing the particle size leads to a change in the plastic viscosity and yield point. Differences in the rheological properties of chocolate with different bulk sugar substitutes have been caused by differences in the volume fraction of solids and the distribution of particle size. When replacing sucrose to improve the rheological properties of the chocolate must be selected Sweetener large particle size, but sweeteners particle size should be small enough to result in chocolate turned with good organoleptic properties.

Keywords: chocolate, rheology, viscosity, fluidity, bulk sweeteners, particle size

Определение реологических свойств шоколада играет важную роль в производственном процессе для получения продукции высокого качества с четкой текстурой [4, 6, 7]. Такие факторы, как содержание жира, распределение частиц по размерам, содержание влаги, эмульгаторы, время и температура конширования, влияют на реологические свойства и стоимость производства шоколада [5]. Расплавленный шоколад является неньютоновской жидкостью с кажущейся вязкостью, которая может быть описана с помощью нескольких математических моделей, включая Бигмана, Гершеля – Балкли и моделей Кассона [2].

Высокое содержание твердых, взвешенных частиц и их межфазные взаимодей-

ствия влияют на реологические свойства шоколада. Вязкость суспензий может быть значительно изменена путем изменения степени измельчения частиц при сохранении того же содержания твердого вещества [1, 3]. Снижение размера твердых частиц в шоколаде, как известно, позволяет улучшить органолептические свойства готового шоколада, но пластическая вязкость и предел текучести повышаются в связи с увеличением площади поверхности частиц, находящихся в контакте с маслом какао.

В последнее время шоколад, не содержащий сахарозу, стал популярен среди потребителей и производителей, поскольку он имеет низкую калорийность, является некардиосогенным и подходит для диабетиков.

Сахароза обычно составляет более 40–50% сухих веществ, распределенных в жировой фазе, и, таким образом, определяет его функциональные свойства, включая сладость, стабильность, степень измельчения, текстуру, а ее влияние на реологические свойства продукта имеет большое значение для шоколадных изделий. Объемные сахарозаменители, используемые для замены сахарозы в шоколаде, должны обеспечивать эти функциональные свойства для получения продукта хорошего качества. Сахарные спирты, такие как изомальт, мальтит, эритрит, могут быть использованы в качестве сахарозаменителей для производства шоколада без сахарозы. Эти объемные сахарозаменители дают необходимый выход массы, текстуру и сладкий вкус продуктов, сокращают количество калорий и обладают некариесогенными свойствами.

Замена сахарозы сахарными спиртами повлияет на реологические свойства и, таким образом, на условия обработки и качество шоколада. **Целью данного исследования** было изучение влияния различных объемных сахарозаменителей (мальтит, изомальт, и эритрит) на реологические свойства шоколадных масс.

Сахароза, мальтит, изомальт, и эритрит были разделены на следующие интервалы размеров частиц 1 – 38–20 мкм; 2 – 53–38 мкм; 3 – 106–53 мкм.

Реологические свойства образцов шоколада были измерены с использованием реометра с концентрической системы цилиндров при изменении скорости сдвига. Каждый образец шоколада инкубировали при 50°C в течение 75 мин для расплавления

и помещали в куб реометра, до начала циклов измерений перемешивали при скорости 5 с⁻¹ в течение 10 мин при 40°C. Напряжение сдвига измеряли при 40°C, как функцию при увеличения скорости сдвига от 5 до 60 с⁻¹ в течение 120 секунд, а затем снижали скорость сдвига от 60 до 5 с⁻¹, и в каждом цикле проводилось 50 измерений. Данные 30 измерений были применены к модели Кассона, Бигмана и Гершеля – Балкли. Лучшая модель была выбрана с помощью статистического анализа всех реологических параметров (вязкость, предел текучести, индекс течения), которые были рассчитаны с использованием оптимальной модели.

Данные по распределению частиц по размерам объемных сахарозаменителей, для трех различных интервалов приведены в табл. 1. При этом $d(0,1)$, $d(0,5)$, $d(0,9)$: соответственно 10, 50 и 90% всех частиц имели меньший размер, чем заданное значение. Первый интервал размера частиц покрыл оптимальный размер (20–38 мкм) для сенсорных свойств образцов шоколада. Плотность сахарозы, мальтита, эритрита и изомальта были 1,60; 1,63; 1,52; 1,50 г/см³ соответственно. Содержание влаги во всех образцах шоколада было схоже и находилось в пределах 0,60–0,73%.

Были получены три различных интервала (38–20, 53–38 и 106–53 мкм) в которых частицы были распределены равномерно по размерам, хотя каждый из этих интервалов содержит некоторое количество более мелких частиц. Это может быть связано с агрегацией частиц.

Таблица 1

Дисперсность сахарозаменителей

Объект		$d(0,1)$	$d(0,5)$	$d(0,9)$
Сахароза	1 (38–20 мкм)	3,73	12,51	29,64
	2 (53–38 мкм)	4,55	21,52	49,96
	3 (106–53 мкм)	11,65	52,68	109,59
Изомальт	1 (38–20 мкм)	4,10	13,69	33,22
	2 (53–38 мкм)	6,03	25,55	55,14
	3 (106–53 мкм)	19,56	60,94	108,08
Эритрит	1 (38–20 мкм)	4,12	11,35	26,34
	2 (53–38 мкм)	7,13	20,46	56,95
	3 (106–53 мкм)	14,54	58,98	108,64
Мальтит	1 (38–20 мкм)	2,78	10,60	27,51
	2 (53–38 мкм)	3,42	16,65	45,96
	3 (106–53 мкм)	5,95	38,57	91,25

Для построения реологических моделей по зависимостям скорости сдвига от напряжения сдвига для всех проб шоколада были использованы модели Кассона, Бингама и Гершеля – Балкли. При проведении измерений наблюдалось тиксотропное поведение шоколадной массы. Для устранения тиксотропии мы повторяли цикл измерений, пока данные напряжения и скорости сдвига не стабилизировались.

Статистическая оценка моделей показала, что лучшей моделью, которая соответствует реальным данным, является модель Гершеля – Балкли

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}_n,$$

где τ – напряжение сдвига; τ_0 – предел текучести; η_{pl} – пластическая вязкость; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига; n – индекс текучести.

Модели Кассона $\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\eta_{pl}} \cdot \sqrt{\dot{\gamma}^n}$ и Бигмана $\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}_n$ для всех образцов

шоколада привели к закономерности остаточных участков (рис. 1, а и б) и ненормальному распределению остатков, которые указывают на нарушение модельных представлений.

Диагностический анализ модели Гершеля – Балкли показал, что модельные предположения были действительны: никаких систематических закономерностей в остаточных участках не наблюдалось (рис. 1, в) и остатки были распределены нормально (данные не показаны). Таким образом, все реологические параметры (пластическая вязкость, предел текучести и индекс текучести) были рассчитаны в соответствии с моделью Гершеля – Балкли. Модель Кассона широко используется и рекомендуется ИОССС для описания течения шоколада. Тем не менее модель требует меньшего количества частиц, чем присутствует в шоколаде, и не дает приемлемой воспроизводимости.

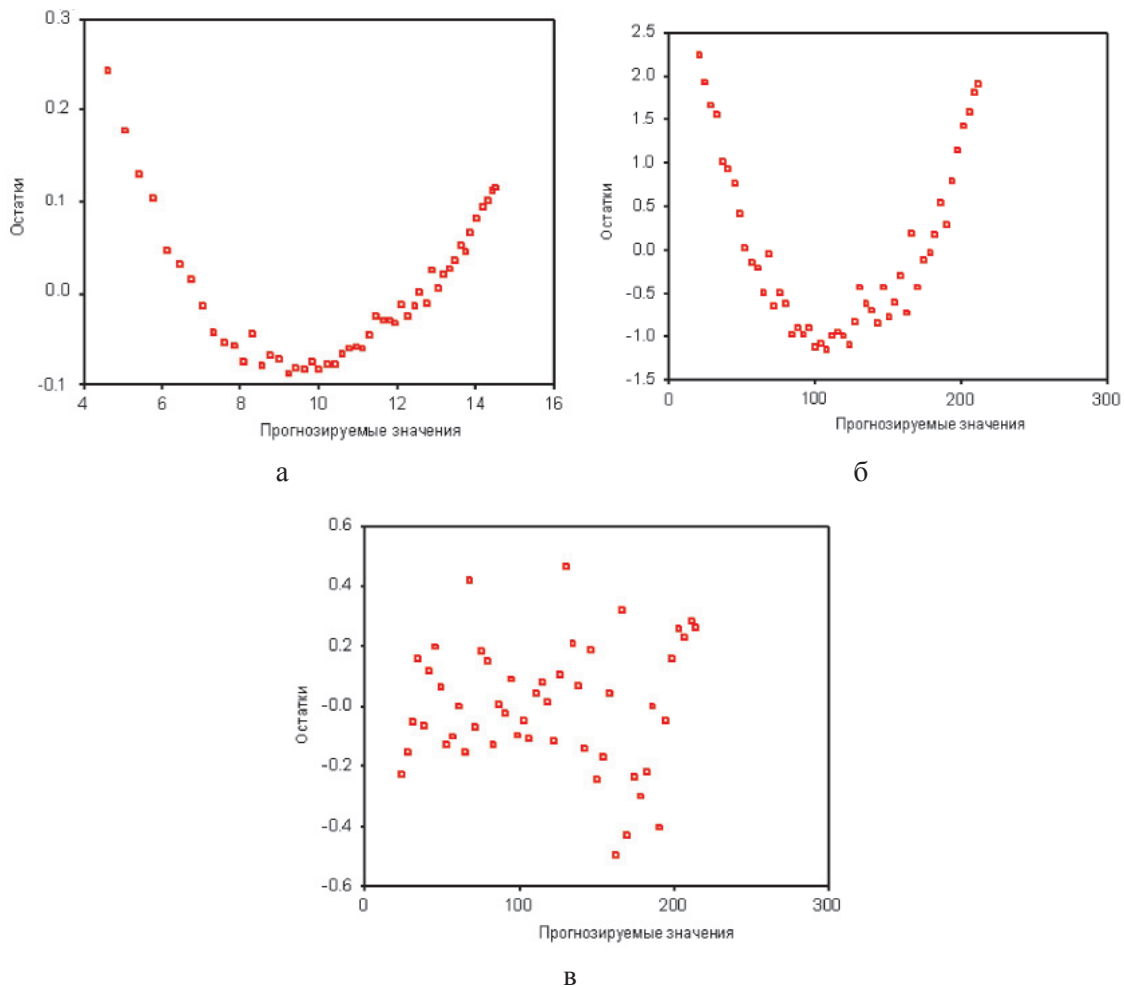


Рис. 1. Остатки, полученные при регрессионном анализе реологических данных (изомальт 1 интервал размера частиц), модели Casson (а), Bingham (б) и Гершеля – Балкли (в)

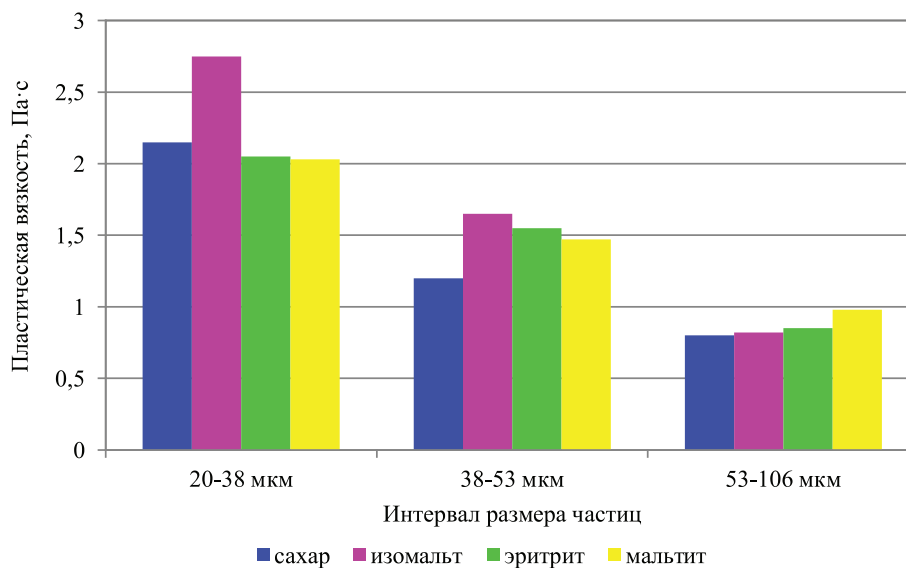


Рис. 2. Пластическая вязкость шоколада в разных интервалах размеров частиц

При использовании эритрита и мальтита в шоколадной массе пластическая вязкость получается аналогичной, как и при использовании сахарозы, в то время как пластическая вязкость шоколада с изомальтом была значительно выше (рис. 2). По мере увеличения размера частиц пластическая вязкость значительно снизилась (рис. 2). Повышение пластической вязкости, вызванное изомальтом, по сравнению с другими сахарозаменителями было более очевидным при более низких размерах частиц.

Более высокая пластическая вязкость с изомальтом может быть связана с более высокой долей твердой фракции в шоколаде, потому что плотность изомальта ($1,50 \text{ г/см}^3$) несколько ниже, чем у других сахарозаменителей ($1,60; 1,63; 1,52 \text{ г/см}^3$ для сахарозы, мальтита, эритрита соответственно).

Более высокая пластическая вязкость с изомальтом, по-видимому, не связана с его параметрами распределения частиц по размерам. Размеры частиц изомальта больше, чем у других сахарозаменителей (табл. 1), и, таким образом, можно было бы ожидать более низкой вязкости. Различия между размером частиц сахарозаменителей в пределах каждого интервала фракции затрудняют интерпретацию влияния объемных сахарозаменителей и, следовательно, необходимо лучше контролировать размер частиц для этих экспериментов. Содержание влаги во всех образцах шоколада были сходным, находилось в пределах между $0,60$ и $0,73\%$ и не связаны с различиями в вязкости. Более высокая пластическая вязкость, вызванная изомальтом, может быть связана с его физи-

ческими свойствами, такими как удельная площадь поверхности, степень кристалличности и гигроскопичности.

Изучение предела текучести показало, что предел текучести образцов шоколада с мальтитом был значительно выше, чем с изомальтом, тогда как среди других образцов различий установлено не было (рис. 3). При этом установлено, что при увеличении размера частиц предел текучести значительно снижается (рис. 3). Взаимодействие между интервалом размера частиц и типом сахарозаменителя было статистически значимым ($P = 0,001$).

Предел текучести играет важную роль в поддержании мелких твердых частиц в виде суспензии. Как установлено [2], значения вязкости по Кассону для темного шоколада будут находиться между 4 и 32 Па . Значения текучести, полученные в нашем исследовании, попали в этот диапазон. Полученные результаты показывают, что мальтитол дает более высокое значение текучести, чем изомальт. Более высокое значение текучести шоколада с мальтитом, установленное в нашем исследовании, можно объяснить распределением частиц по размерам. Мальтит содержал большее количество мелких частиц (вне диапазона), чем другие сахарозаменители.

Индексы течения всех образцов шоколада находились в диапазоне от $0,991$ до $1,05$ (рис. 4). Хотя значения близки к 1 (как и в модели Бигмана), отклонения играют важную роль, потому что модель Бигмана не дает адекватной аппроксимации данных. Средние показатели индекса течения

шоколадной массы для каждого сахарозаменителя были 1,006, 1,003, 1,011, 1,033 для сахарозы, мальтита, изомальта и эритрита соответственно. Эти значения, превышающие 1, указывают на незначительное увеличение сдвига выше предела текучести. В целом эритрит вызывает более высокий индекс течения, чем другие сахарозаменители ($P < 0,05$).

Эффективная вязкость шоколада, полученного с использованием различных сахарозаменителей, была определена при скорости сдвига 30 с^{-1} , результаты этого определения приведены в табл. 2. Эффект влияния объемных сахарозаменителей на эффективную вязкость зависит от размера частиц: эффект не был замечен при более высоком размере частиц, а становился очевидным при более мелких размерах частиц (табл. 2). По мере того как

уменьшался размер частиц, эффективная вязкость существенно увеличивалась. Полученные результаты с эффективной вязкостью согласуются с ранее полученными результатами пластической вязкости: использование изомальта приводит к увеличению как эффективной, так и пластической вязкости.

Изомальт, мальтит, эритрит могут быть использованы в производстве шоколада без сахара. Эти сахарозаменители имеют свои преимущества и недостатки по сравнению друг с другом. Например, охлаждающий эффект, наблюдаемый у эритрита, отсутствует у изомальта и мальтита [8]. Тем не менее сладость изомальта только 40% от сладости сахарозы, поэтому можно предположить, что вместе с изомальтом в шоколаде должны быть использованы интенсивные подсластители.

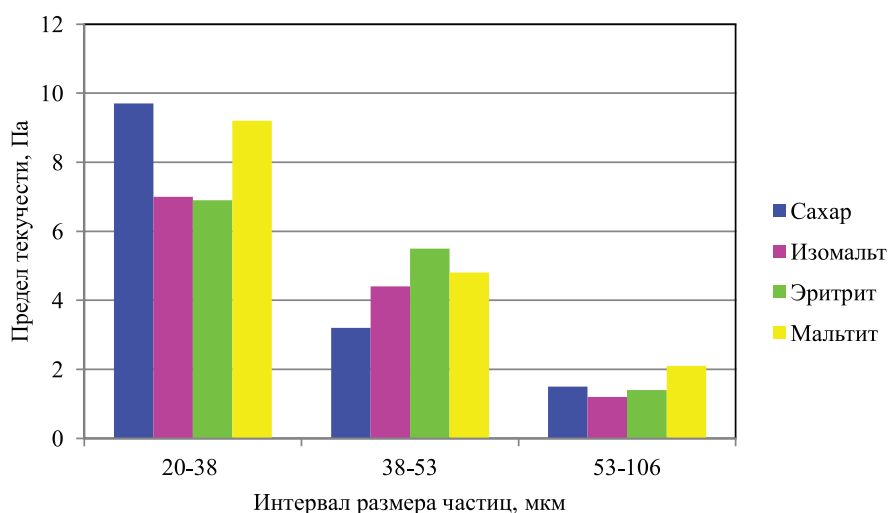


Рис. 3. Предел текучести (модель Гершеля – Балкли) шоколада

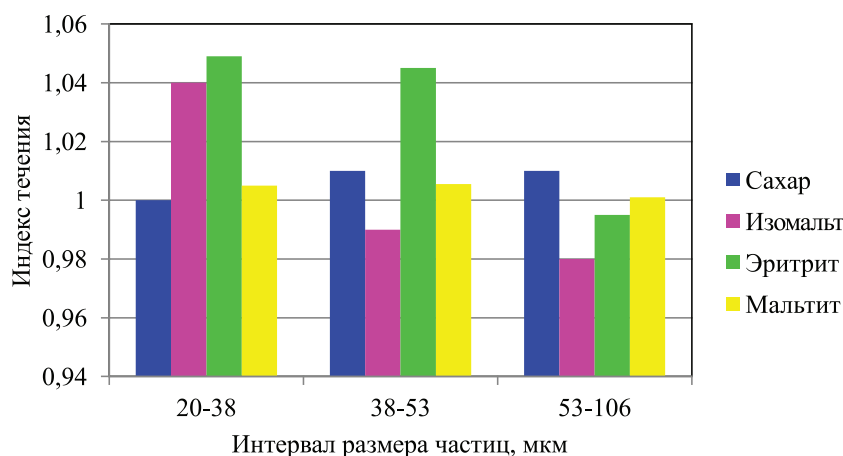


Рис. 4. Индекс течения образцов шоколада, произведенных с сахаром и сахарозаменителями в разных интервалах размеров частиц

Таблица 2

Влияние объемных сахарозаменителей на эффективную вязкость шоколада

Объемный сахарозаменитель	Интервал размеров частиц, мкм		
	20–38	38–53	53–106
Сахароза	2,68	1,60	0,93
Мальтит	2,40	1,70	1,08
Изомальт	3,40	1,98	0,94
Эритрит	2,71	2,18	0,98

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что модель Гершеля – Балкли является лучшей моделью, с помощью которой можно описать реологическое поведение исследуемых образцов шоколада. В результате изучения реологических свойств шоколада отмечено сходство таких свойств у шоколада с сахарозой и мальтитом, и, таким образом, мальтит может быть рекомендован в качестве хорошей альтернативы сахарозе при производстве шоколада.

Изомальт приводит к более высокой пластической вязкости шоколадной массы, в то время как эритрит увеличивает индекс течения шоколадной массы.

Добавление сахарозаменителей на единицу объема (особенно, если плотность сахарозаменителя отличается от плотности сахарозы) точнее может отражать их воздействие на реологические свойства шоколадной массы. Пластическая вязкость и предел текучести шоколадных масс увеличивается с уменьшением размера частиц объемных сахарозаменителей. Большой размер частиц приводит к улучшению реологических свойств для производственного процесса, но это мо-

жет отрицательно сказаться на органолептических свойствах.

Список литературы

1. Новые технологии переработки какао продуктов и получения шоколада: монография / И.А. Черных, С.А. Калманович, И.Б. Красина, Е.А. Вербицкая, П.С. Красин. – Краснодар: Изд.ФГБОУ ВПО «КубГУ», 2015. – 144 с.
2. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
3. Черных И.А., Биболетова А.Б., Красина И.Б., Калманович С.А., Красин П.С. Управление структурообразованием шоколадной массы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 109. – С. 824–836.
4. Черных И.А., Красина И.Б., Калманович С.А., Красин П.С. Использование различных видов лецитинов для регулирования реологических свойств шоколадной массы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 113. – С. 580–590.
5. Afoakwa E.O., Paterson A., Fowler M., Vieira J. Comparison of rheological models for determining dark chocolate viscosity // International Journal of Food Science & Technology. – 2009. – Vol. 44, № 1. – P. 162–167.
6. Golob T., Micovic E., Bertonec J., Jamnik M. Sensory acceptability of chocolate with inulin // Acta agriculturae slovenica. – Ljubljana, 2004. – Letn. 83, stev. 2. – P. 221–231.
7. Schantz B., Linke L. Bestes Fließverhalten. Über die Wirkungsweise verschiedener Emulgatorarten in Schokolade // Lebensmitteltechnik. – 2002. – Jg. 34, № 5. – P. 42–44.
8. Sweeteners and sugar alternatives in food technology / ed. by H.Mitchell. – Oxford: Blackwell publishing ltd., 2006. – 414 p.