

УДК 663.918:13.002.237

UDC 663.918:13.002.237

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ВЛИЯНИЕ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШОКОЛАДНОЙ МАССЫ**STUDYING THE EFFECT OF SWEETENERS ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CHOCOLATE MASS**

Черных Игорь Анатольевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код:2253-0363

Chernyh Igor Anatolyevich
Cand.Tech.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 2253-0363

Красин Платон Сергеевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код:6514-5410

Krasin Platon Sergeyeovich
postgraduate student
RSCI SPIN-code:6514-5410

Калманович Светлана Александровна
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код:4063-1910
Scopus Author ID: 57103584300

Kalmanovich Svetlana Alexandrovna
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code:4063-1910
Scopus Author ID: 57103584300

Красина Ирина Борисовна
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код:3405-6598
Scopus Author ID:56257928300
Кубанский государственный технологический университет, Россия, г.Краснодар, ул.Московская,2
e-mail pku@kubstu.ru

Krasina Irina Borisovna
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code:3405-6598
Scopus Author ID: 56257928300
Kuban state technological university, Krasnodar, Russia, 350072, Russia, Krasnodar, Moskovskaya 2
e-mail pku@kubstu.ru

Шоколадные изделия с пониженным содержанием калорий становятся все более популярными среди потребителей и производителей. Один из способов изготовления шоколада с пониженным содержанием калорий, 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 реальные 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 доли твердых частиц и распределением этих частиц по размерам. При замене сахарозы для улучшения реологических свойств шоколада

Chocolate products with reduced calories are becoming increasingly popular among consumers and producers. One method of producing chocolate with low calorie content is some replacement with alternative sucrose sugar substitutes. We have 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) on the rheological properties of molten chocolate. It was found, that the model of the Herschel-Bulkley is better than others, it describes the real rheological properties of the chocolate mass. It is established, that because of maltitol, it affects the rheological properties of chocolate just as 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, we have to select sweeteners with large particle size, but sweeteners particle size should be small enough to result in chocolate with good organoleptic properties

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

Keywords: CHOCOLATE, RHEOLOGY, VISCOSITY, FLOW, VOLUME SWEETENERS, PARTICLE SIZE

Doi: 10.21515/1990-4665-122-016

Расплавленный шоколад представляет собой суспензию, состоящую из нежировых частиц (сахароза, какао, молоко), диспергированных в масле какао в виде жидкой фазы [1]. Определение реологических свойств шоколада играет важную роль в производственном процессе для получения продукции высокого качества с четкой текстурой [2, 3]. Такие факторы, как содержание жира, распределение частиц по размерам, содержание влаги, эмульгаторы, время и температура конширования влияют на реологические свойства и стоимость производства шоколада [4]. Расплавленный шоколад является неньютоновской жидкостью с кажущейся вязкостью, которая может быть описана с помощью нескольких математических моделей, включая Бигмана, Гершеля-Балкли и моделей Кассона [5]. Для определения реологических свойств шоколада с помощью вискозиметров принята скорость сдвига в диапазоне от 5 до 60 с⁻¹, а уравнение Кассона для расчета реологических параметров.

Высокое содержание твердых, взвешенных частиц и их межфазные взаимодействия влияют на реологические свойства шоколада. Вязкость суспензий может быть значительно изменена путем изменения степени измельчения частиц при сохранении того же содержания твердого вещества [6]. 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. Оптимальный средний размер частиц сахара в шоколаде

составляет 30-33 мкм с максимумом 50 мкм в США и 20-23 мкм с максимумом 35-40 мкм в России и Европе. Шоколад с размером частиц выше 35 мкм, становится шероховатым или грубым во рту.

В последнее время шоколад, не содержащий сахарозу, стал популярен среди потребителей и производителей, поскольку он имеет низкую калорийность, и является некариесогенным 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 его влияние на реологические свойства продукта имеют 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, которые обычно используются в продуктах питания, фармацевтических препаратах и косметике дают необходимый выход массы, текстуру и сладкий вкус продуктов, сокращают количество калорий и обладают некариесогенными свойствами.

Замена сахарозы сахарными спиртами повлияет 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 фракции, имеющие 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 системой 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 c^{-1} в течение 10 мин при 40°C . Напряжение сдвига измеряли при 40°C , как функцию при увеличения скорости сдвига от 5 до 60 c^{-1} в течение 120 секунд, а затем снижали скорость сдвига от 60 до 5 c^{-1} , и в каждом цикле проводилось 50 измерений. Этот цикл измерений был повторен 30 раз последовательно до тех пор, пока в образцах не были устранены эффекты тиксотропии. Данные 30 измерений были применены к модели Кассона, Бигмана и Гершель-Балкли. Каждый образец шоколада измеряли один раз в реометре. Лучшая модель была выбрана с помощью статистического анализа всех реологических параметров (вязкость, предел текучести, индекс течения), которые были рассчитаны с использованием оптимальной модели.

Данные реологических измерений были проанализированы с использованием линейного и нелинейного регрессионного анализа для оценки различных математических моделей с использованием пакета прикладных программ STATISTICA.

Данные по распределению объемных сахарозаменителей по размерам частиц, для трех различных интервалов приведены в таблице 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 (20-33 мкм) для сенсорных свойств образцов шоколада. Плотность сахарозы, мальтита, эритрита и изомальта были 1,60; 1,63; 1,52; $1,50\text{ г/см}^3$ соответственно. Содержание влаги во всех образцах шоколада было схожим и находилось в пределах 0.60-0.73%.

Таблица 1 – Распределение объемных сахарозаменителей по размерам частиц

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

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 конгломерацией частиц. Мальтит содержит большее количество более мелких частиц (вне диапазона), как показано его меньшими значениями d по сравнению с другими сахарозаменителями.

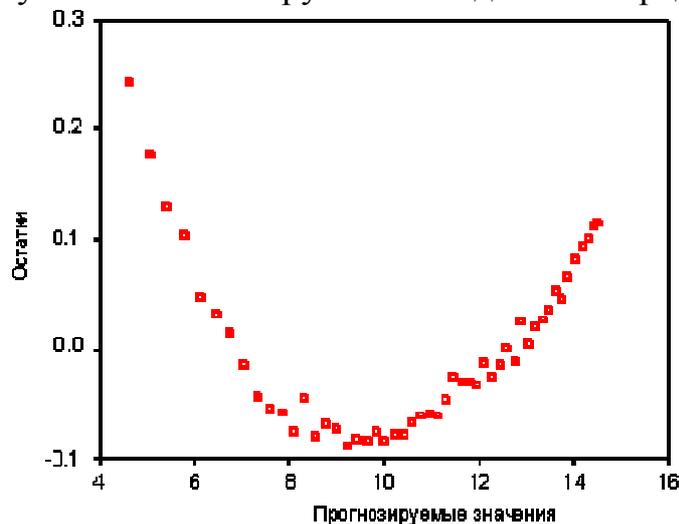
Для построения реологических моделей по зависимостям скорости сдвига от напряжения сдвига для всех проб шоколада были использованы модели Кассона, Бингама и Гершеля-Балкли. При проведении измерений наблюдалось тиксотропное поведение шоколадной массы. Для устранения тиксотропии мы повторяли цикл измерений, пока данные напряжение и скорости сдвига не стабилизировались. Нами было установлено, что тиксотропия во всех образцах была устранена после 30 последовательных измерений, и, следовательно, данные 30-го измерения для каждого образца шоколадной массы были использованы в анализе.

Статистическая оценка моделей показала, что лучшая модель, которая соответствует реальным данным является модель Гершеля-Балкли

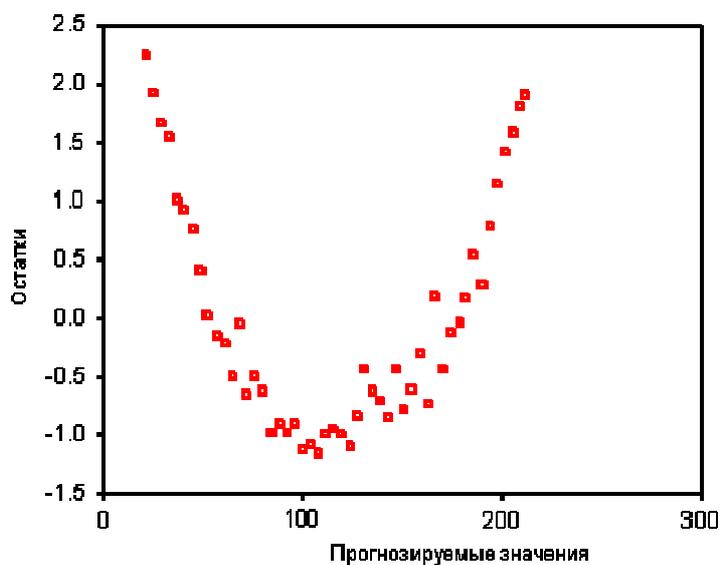
$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \times \gamma^n$$

где: τ – напряжение сдвига, τ_0 – предел текучести, η_{pl} – пластическая вязкость, γ – скорость сдвига, и n индекс текучести.

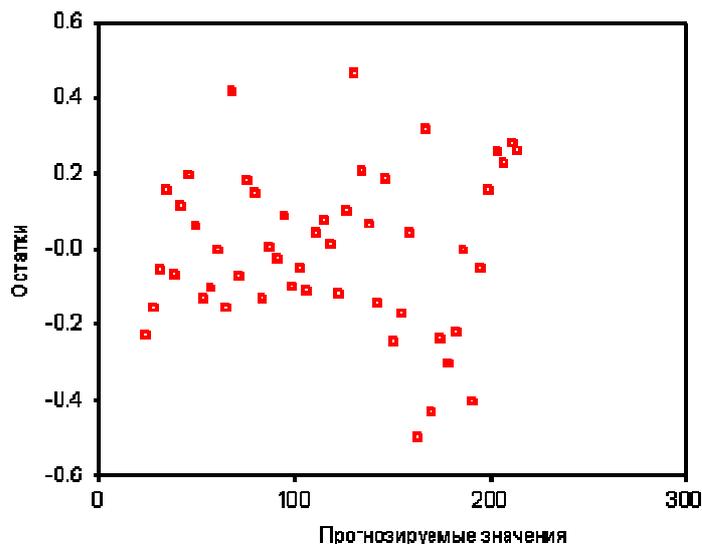
Модели Кассона $\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\eta_{pl}} \times \sqrt{\gamma^n}$ и Бигмана $\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \times \gamma$ для всех образцов шоколада привели к закономерности остаточных участков (рис. 1 а и б) и ненормальному распределению остатков, которые указывают на нарушение модельных представлений.



а



б



в

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

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 ЮССС для описания течения шоколада. Тем не менее, модель требует меньшего количества частиц, чем присутствует в шоколаде, и не дает приемлемой воспроизводимости.

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). Так как площадь

поверхности в контакте с непрерывной жировой фазе снижается внутреннее трение, и, таким образом, вязкость уменьшается. Выявлена значимая взаимосвязь между интервалом размера частиц и насыпной массой сахарозаменителя ($P = 0,024$). Повышение пластической вязкости, вызванное изомальтом, по сравнению с другими сахарозаменителями было более очевидным при более низких размерах частиц. Когда каждый интервал размера частиц был проанализирован отдельно, было установлено, что вязкость шоколада с изомальтом была выше, чем с эритритом и мальтитом в 1 интервале, и выше, чем с сахарозой и мальтитом во 2 интервале ($P < 0,05$). Вязкость шоколада с сахарозой была ниже, чем с мальтитом в 3 интервале ($P < 0,05$). Значения пластической вязкости для темного шоколада должны находиться в пределах между 2,1 и 3,9 Па·с. Пластическая вязкость образцов шоколада в 1 интервале размера частиц находится в этом диапазоне, но она ниже для образцов с более крупными размерами частиц (2 и 3 интервалы).

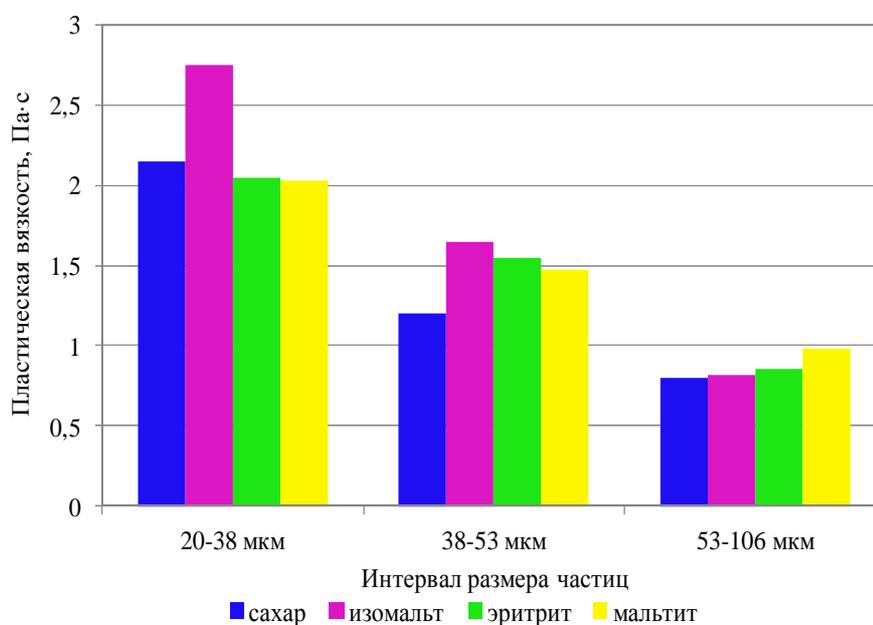


Рисунок 2 – Пластическая вязкость образцов шоколада в разных интервалах размеров частиц

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). Поскольку сахарозаменители добавляют к шоколадной смеси по массе, шоколад с изомальтом содержит больше твердых частиц и, таким образом, большую площадь поверхности. Добавление сахарозаменителей на объемной основе (особенно, если плотность сахарозаменителя отличается от сахарозы) может исключить изменение общей площади поверхности твердых частиц в составах и, таким образом, может отражать влияние сахарозаменителей на реологические свойства более точно.

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 (таблица 1) и, таким образом, можно было бы ожидать более низкой вязкости. Различия между размером частиц сахарозаменителей в пределах каждого интервала фракции затрудняет интерпретацию влияния объемных сахарозаменителей и, следовательно, необходимо лучше контролировать размер частиц для этих экспериментов. Содержание влаги во всех образцах шоколада были сходными и находились 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 физическими свойствами, такими как удельная площадь поверхности, степень кристалличности и гигроскопичности.

Вязкость шоколада изменяется при коншировании с изменением температуры и продолжительности, при снижении температуры конширования вязкость шоколада уменьшается. В ходе экспериментов было установлено, что изомальт в шоколаде приводит к более высокой

вязкости, чем мальтит, сахароза, эритрит и после 18 ч конширования при 50°C, но более низкой вязкости, чем эритрит, при коншировании при 60°C. В результате можно предположить, что необходимы различные температуры конширования для шоколадных масс с различными сахарозаменителями.

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 ($P = 0,001$).

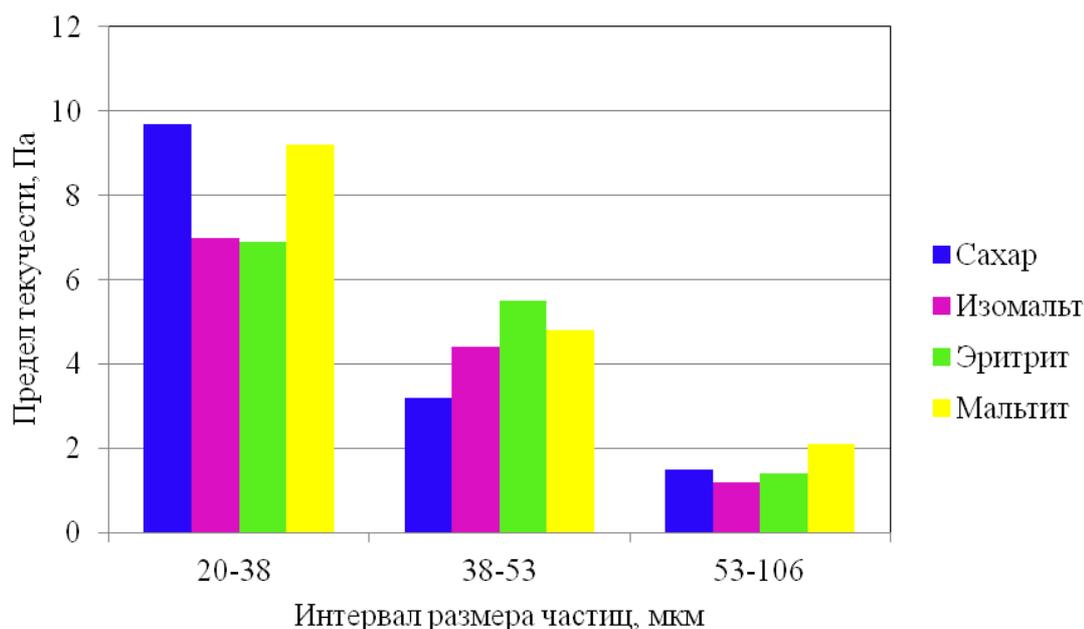


Рисунок 3 – Предел текучести (Гершель-Балкли) образцов шоколада, произведенных с сахаром и сахарозаменителями в разных интервалах размеров частиц

В 1 интервале размера частиц (20-38 мкм) использование сахара приводило к более высокому пределу текучести, чем использование

изомальта и эритрита; и использование мальтитола вызвало более высокий предел текучести, чем изомальт и эритрит ($P < 0,05$). Во 2 интервале размера частиц, предел текучести при использовании сахарозы был выше, чем другие; и предел текучести массы с изомальтом был ниже, чем с эритритом ($P < 0,05$). В 3 интервале размера частиц, использование мальтита приводит к большему пределу текучести, чем другие сахарозаменители, в то время как использование изомальта показывает более низкий предел текучести, чем сахароза и эритрит ($P < 0,05$).

Предел текучести играет важную роль в поддержании мелких твердых частиц в виде суспензии. Как установлено [6] значения вязкости по Кассону для темного шоколада, будут находиться между 4 и 32 Па. Значения текучести, полученные в нашем исследовании, попали в этот диапазон. Установлено, что предел текучести изменяется при температуре конширования и более высокие значения были получены с эритритом по сравнению с изомальтом и мальтитом. В ходе исследований были определены температуры конширования для каждого сахарозаменителя, чтобы получить приемлемые значения вязкости. 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.

Индекс 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 ($P < 0,05$). Шоколадные массы, изготовленные с эритритом, имеющим размер частиц в первом и втором интервалах и изомальта, имеющим размер частиц в первом интервале размеров частиц имели высшее индекс течения ($P < 0,05$). Поскольку размер частиц уменьшился индекс течения увеличивается ($P < 0,005$).

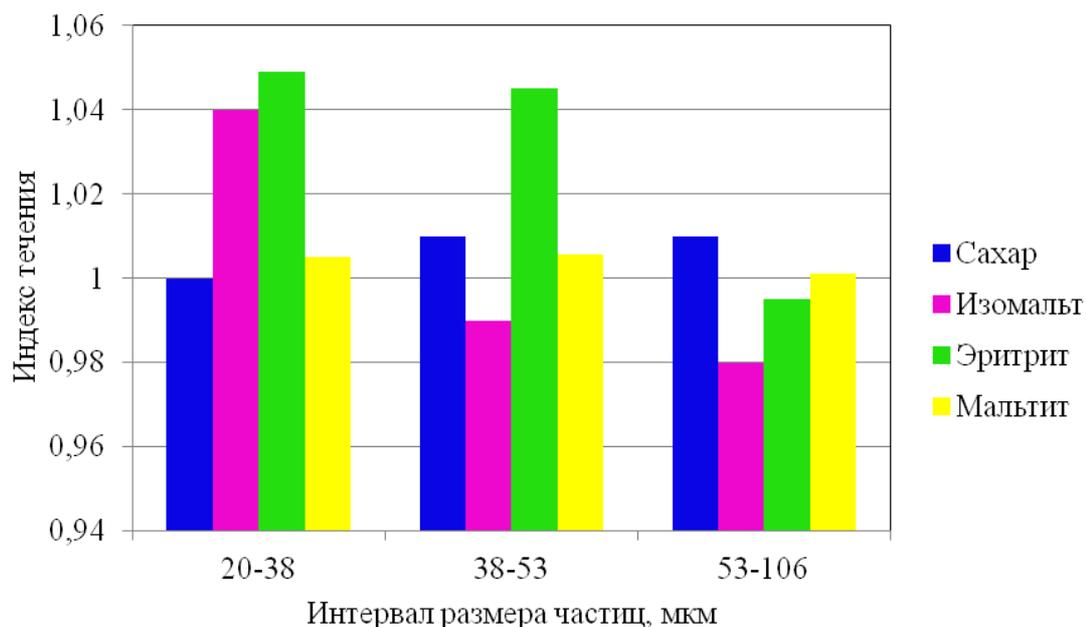


Рисунок 4 – Индекс течения образцов шоколада, произведенных с сахаром и сахарозаменителями в разных интервалах размеров частиц

Эффективная вязкость шоколада, полученного с использованием различных сахарозаменителей была определена при скорости сдвига 30 c^{-1} , результаты этого определения приведены в таблице 2. Очевидно, что внесение изомальта повышает эффективную вязкость значительно больше, чем сахара и мальтита. 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 (таблица 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.

Таблица 2 – Влияние объемных сахарозаменителей с различным интервалом размеров частиц на эффективную вязкость образцов шоколада, измеренных при скорости сдвига 30 сек^{-1}

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

Изомальт, мальтит, эритрит и могут быть использованы в производстве шоколада без сахара. Эти сахарозаменители имеют свои преимущества и недостатки по сравнению друг с другом. Например, охлаждающий эффект, наблюдаемый в эритрита отсутствует в изомальта и мальтита [7]. Тем не менее, сладость изомальта только 40% от сладости сахарозы, поэтому можно предположить, что вместе с изомальтом в шоколаде должны быть использованы интенсивные подсластители.

Более низкая температура конширования предлагается из-за высокого содержания в изомальте кристаллизационной воды, что приведет к агломерации во время конширования. С другой стороны, сладость мальтита и эритрита близки к сладости сахарозы и нет необходимости использования каких-либо дополнительных интенсивных подсластителей. Мальтит имеет также преимущество за счет его низкой гигроскопичности, позволяющей вести переработку шоколада при тех же условиях, что и при использовании сахарозы и вести процесс конширования при температуре до 80°C .

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 может отрицательно сказаться на органолептических свойствах.

Дальнейшие эксперименты с лучшим контролем распределения частиц по размерам объемных сахарозаменителей и шоколадной массы и различным условиям конширования должны быть проведены, чтобы определить влияние объемных сахарозаменителей, на физические и органолептические свойства шоколадных масс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golob T., Micovic E., Bertoncej J., Jamnik M. Sensory acceptability of chocolate with inulin//Acta agriculturae slovenica.-Ljubljana, 2004.-Letn. 83, stev. 2.-S. 221-23
2. Schantz B., Linke L. Bestes Fließverhalten. Über die Wirkungsweise verschiedener Emulgatortypen in Schokolade//Lebensmitteltechnik.-2002.-Jg. 34, N 5.-S. 42-44
3. 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.

4. 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,N 1.-P. 162-167.

5. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник /Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с

6. 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.

7. Sweeteners and sugar alternatives in food technology /ed. by H.Mitchell.- Oxford: Blackwell publishing ltd., 2006.- 414p.

REFERENCES

1. Golob T., Micovic E., Bertoneclj J., Jamnik M. Sensory acceptability of chocolate with inulin//Acta agriculturae slovenica.-Ljubljana, 2004.-Letn. 83, stev. 2.-S. 221-23

2. Schantz B., Linke L. Bestes Fliessverhalten. Uber die Wirkungsweise verschiedener Emulgatortypen in Schokolade//Lebensmitteltechnik.-2002.-Jg. 34, N 5.-S. 42-44

3. Chernyh I.A., Krasina I.B., Kalmanovich S.A., Krasin P.S.Ispol'zovanie razlichnyh vidov lecitinov dlja regulirovaniya reologicheskikh svojstv shokoladnoj massy // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2015. - № 113. - S. 580-590.

4. 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,N 1.-P. 162-167.

5. Реометриja pishhevogo syr'ja i produktov: Spravochnik /Pod red. Ju.A. Machihina. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с

6. Chernyh I.A., Biboletova A.B., Krasina I.B., Kalmanovich S.A., Krasin P.S. Upravlenie strukturoobrazovaniem shokoladnoj massy // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2015. - № 109. - S. 824-836.

7. Sweeteners and sugar alternatives in food technology /ed. by H.Mitchell.- Oxford: Blackwell publishing ltd., 2006.- 414p.