

УДК 663.918:13.002.237

**РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ШОКОЛАДНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ****Черных И.А., Красина И.Б., Калманович С.А., Красин П.С.***ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,
Краснодар, e-mail: pku@kubstu.ru*

В статье исследованы процессы образования шоколадных масс, которые определяются кинетикой взаимодействия частиц дисперсной фазы через прослойки дисперсионной среды, т.е. определяются поверхностными явлениями на границе раздела фаз. Результаты исследования поверхностно-активных свойств подсолнечных активированных фосфолипидов и БАД «Витол», выполненные на модельных структурированных системах, послужили теоретическим и экспериментальным обоснованием для разработки практических рекомендаций по их применению в производстве шоколадных масс. Выявлена способность БАД «Витол» и ПАФ регулировать свойства структурированных дисперсных систем, к которым относятся шоколадные массы. Показано, что введение в шоколадные массы подсолнечных активированных фосфолипидов и БАД «Витол» в определенных количествах приводит к значительному изменению характера деформационного поведения шоколадных масс. Исследовано поведение тонких слоев какао масла, ПАФ и БАД «Витол» на различных жидких поверхностях. Изучение проводили методом монослоев. Полученные результаты показали, что с повышением pH подложки поверхностное давление возрастает, пленка растягивается и стремится к растеканию. Показано, что введение ПАВ в пленки какао масла значительно облегчает растекание пленки какао масла на воде. Установлено, что ПАФ, а особенно БАД «Витол» создают наибольшее поверхностное давление и наиболее плотные и устойчивые слои по сравнению с другими поверхностно-активными веществами. Исследование свойств тонких слоев какао масла и БАД «Витол» на жидких поверхностях показало, что БАД «Витол» значительно повышает способность к распространению пленок какао масла по поверхности воды.

Ключевые слова: подсолнечные активированные фосфолипиды, структурированные дисперсные системы, шоколадная масса

REGULATE THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CHOCOLATE SEMI**Chernykh I.A., Krasina I.B., Kalmanovich S.A., Krasin P.S.***The Kuban state technological university, Krasnodar, e-mail: pku@kubstu.ru*

The article examines the processes of chocolate masses, which are determined by the kinetics of the interaction of the dispersed phase through the layer of the dispersion medium, i.e., determined by surface phenomena at the interface. Results of the study of surface-active properties of sunflower activated phospholipid and dietary supplements «Vitol», made on the model of structured systems, served as the theoretical and experimental justification for the development of practical recommendations for their use in the production of chocolate masses. The ability of dietary supplements «Vitol» and PAF to control the properties of structured disperse systems, which include chocolate mass. It is shown that the introduction of chocolate masses sunflower activated phospholipid and dietary supplements «Vitol» in certain quantities leads to a significant change in the nature of the deformation behavior of chocolate masses. The behavior of thin layers of cocoa butter, FFA and BAA «Vitol» on various liquid surfaces. The study was carried out by monolayers. The obtained results showed that increasing the pH of the substrate with a surface pressure increases, the film tends to stretch and spreadable. It has been shown that the introduction of surfactant in the film cocoa butter film facilitates the spreading of water on cocoa butter. Found that PAF and especially BAA «Vitol» pose the greatest surface pressure, and the most stable and dense layers as compared to other surfactants. Study of the properties of thin layers of cocoa butter and BAA «Vitol» liquid surfaces showed that dietary supplements «Vitol» significantly increases the ability to spread films cocoa butter on the surface of the water.

Keywords: sunflower activated phospholipids, structured disperse systems, the chocolate

Важнейшим технологическим показателем шоколадных масс является вязкость. Вязкость зависит от температуры, влажности, дисперсности шоколадной массы, содержания в ней жира и прочности коагуляционных структурных образований из твердых частиц [3, 4].

Шоколадные массы проявляют аномалию вязкости в широком интервале температур от 30 до 80°C и выше. При коншировании, когда масса подвергается интенсивной тепловой и механической об-

работке, она сохраняет достаточно высокую вязкость 11–14 Па×с.

При сокращении механического перемешивания происходит быстрое тиксотропное восстановление разрушенных коагуляционных структур, что ведет к резкому повышению вязкости шоколадной массы.

Такой характер изменения вязкости можно объяснить разной энергией связи частиц в коагуляционных контактах, которая зависит от природы вещества дисперсной фазы и дисперсионной среды, энергетических

условий коагуляции. На силу сцепления контактов существенное влияние оказывает жидкая пленка, ее толщина и полярность [2].

Процессы образования шоколадных масс определяются кинетикой взаимодействия частиц дисперсной фазы через прослойки дисперсионной среды, т.е. определяются поверхностными явлениями на границе раздела фаз. Величина этих взаимодействий, т.е. число и прочность связей, возникающих между твердыми частицами в единице объема системы, определяет ее структурно-механические свойства, от которых в результате зависят технологические свойства дисперсной системы, а также качество готового продукта [5].

Эффективное управление структурообразованием и регулирование свойств дисперсной системы может быть достигнуто введением добавок поверхностно-активных веществ, обуславливающих адсорбционное снижение прочности структуры, облегчение ее деформации и разрушения.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования были взяты отечественные фосфолипидные продукты растительного происхождения, обладающие высокими поверхностно-активными свойствами и позволяющие обеспечить регулирование технологических и потребительских свойств шоколадных масс.

При проведении экспериментальных исследований использовали общепринятые и специальные методы анализа состава и свойств продуктов, а также современные физико-химические методы анализа. Определение реологических характеристик полуфабрикатов проводили на приборах «Реотест-2» и Структурометр СТ-1.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования поверхностно-активных свойств подсолнечных активированных фосфолипидов и БАД «Витол», выполненные на модельных структурированных системах, послужили теоретическим и экспериментальным обоснованием для разработки практических рекомендаций по их применению в производстве шоколадных масс.

Шоколадные массы в расплавленном состоянии, при котором осуществляются основные технологические процессы, представляют собой дисперсные системы и по классификации академика П.А. Ребиндера относятся к структурированным, двухфазным, пластично-вязким системам. В качестве твердой фазы в этой системе выступают микрокристаллы сахарозы, клеточные ткани бобов какао и различных добавок, а в качестве жидкой дисперсионной среды – какао масло [7].

Основными реологическими свойствами шоколадных масс, оказывающими значительное влияние на технологический процесс их получения и качество готового продукта, являются эффективная вязкость и структурная прочность, которые должны соответствовать оптимальным значениям.

Наиболее существенным показателем, определяющим реологические свойства шоколадных масс как структурированных дисперсных систем, является содержание в них жидкой дисперсионной среды, причем увеличение ее количества приводит к снижению прочностных характеристик масс.

Однако, рецептурное количество какао масла (30–34%), выбор которого определяется рядом факторов, связанных с качеством и себестоимостью продукции, не обеспечивает заданных значений реологических свойств.

Оптимальные структурно-механические свойства шоколадной массы при сохранении в ней рецептурного количества какао масла могут быть достигнуты введением разжижителей, являющихся поверхностно-активными веществами.

Цель введения ПАВ в шоколадную массу – снижение ее вязкости, обеспечение частичную замену и экономию наиболее дорогостоящего рецептурного компонента – какао масла при сохранении высокого качества продукта.

Введение ПАВ приводит к адсорбционному снижению поверхностной энергии на границах между твердыми частицами дисперсной фазы и жидкой дисперсионной средой. Вязкость такой системы снижается, что позволяет снизить концентрацию дисперсионной среды.

Проявление подсолнечными активированными фосфолипидами и БАД «Витол» достаточно высоких поверхностно-активных свойств послужило основанием для разработки способа регулирования реологических характеристик шоколадных масс.

Исследования проводили на шоколадной массе (с содержанием жира 30%), приготовленной по унифицированной рецептуре в производственных условиях.

На рис. 1 приведены зависимости изменения вязкости шоколадных масс от градиента скорости при введении 0,4% указанных ПАВ, а на рис. 2 – зависимость вязкости шоколадной массы от дозировки ПАВ при градиенте скорости 30 с⁻¹.

Анализ реологических кривых течения расплавленной (температура 40°C) шоколадной массы показал, что введение в систему подсолнечных активированных фосфолипидов и БАД «Витол» приводит к значительному изменению характера деформационного поведения шоколадной массы.

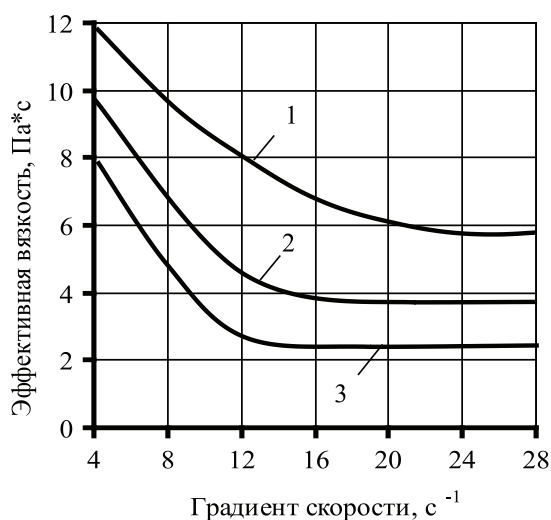


Рис. 1. Зависимость изменения эффективной вязкости шоколадной массы от градиента скорости при введении 0,4% ПАВ:
1 – СФК (контроль); 2 – ПАФ;
3 – БАД «Витол»

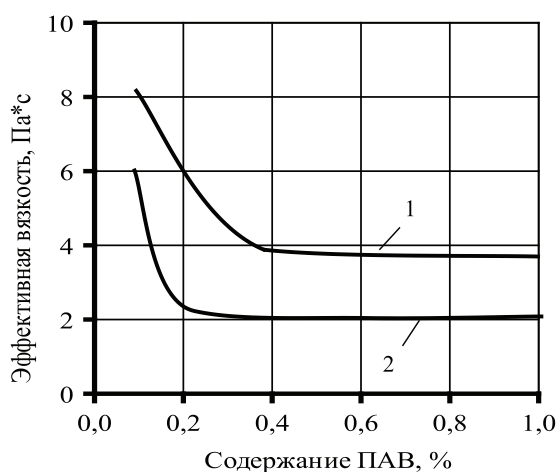


Рис. 2. Влияние дозировки ПАВ на вязкость шоколадной массы при градиенте скорости 30 с⁻¹:
1 – ПАФ; 2 – БАД «Витол»

Кроме этого, показано, что ПАФ и БАД «Витол» как поверхностно-активные вещества значительно эффективнее действуют на структурно-механические характеристики шоколадных масс, чем СФК.

Для определения механизма действия различных ПАВ проводили исследования свойств тонких пленок какао масла, ПАФ и БАД «Витол».

Реологические свойства шоколадных полуфабрикатов зависят от соотношения какао масла и высокодисперсных твердых частиц, их природы, процессов химического взаимодействия между твердыми частицами, какао маслом и ПАВ, а также от характера течения массы.

В процессе обработки шоколадных масс какао масло часто распределяется между твердыми частицами в виде тонких пленок. Вязкость и пластическая прочность таких масс предопределяются силами взаимодействия между твердыми частицами и свойствами тонких пленок какао масла, покрывающих эти частицы [1].

Кроме того, кристаллики сахара при измельчении, транспортировании и хранении перед смешиванием с какао маслом покрываются тонким адсорбционным слоем воды, которая препятствует смачиванию их какао маслом.

Гидратные пленки могут присутствовать и на поверхности частиц какао тертого. Тонкие пленки воды на поверхности твердых частиц способствуют их взаимопривлечению, увеличивают силы трения, затрудняют их движение, повышая тем самым вязкость и пластическую прочность шоколадных масс.

Снижение вязкости шоколадных масс обеспечивается использованием ПАВ, которые, благодаря своему строению и свойствам по-разному сорбируются на гидрофильных и гидрофобных участках твердых частиц, образуя адсорбционные слои неодинаковой силы взаимодействия [6].

Таким образом, реологические свойства шоколадных масс во многом предопределяются физическими свойствами тонких пленок какао масла и ПАВ.

Изучение свойств какао масла и ПАВ на макроповерхностях в виде монослоев нерастворимых веществ является основой механизма их поведения и действия, связанного со строением молекул и способностью их растекаться и ориентироваться, что характерно для шоколадных масс при их обработке.

С целью приближения к реальным системам нами исследовано поведение тонких слоев какао масла, ПАФ и БАД «Витол» на различных жидких поверхностях. Изучение проводили методом монослоев. С помощью весов Лэнгмюра определяли поверхностное давление на поверхностную вязкость монослоев.

Поверхностное давление представляет собой разность поверхностных натяжений чистого растворителя и растворителя с нанесенной на него пленкой. Для монослоев толщина пленки имеет значение порядка 10 Å, если поверхностное давление имеет значение 1 дин/см, то сила будет равной 10⁷ дин/см², т.е., умножая значение поверхностного давления на 10, получаем эквивалентное давление в атмосферах.

Отсюда видно, что даже весьма слабые силы в несколько десятых дин, измеряемые

с помощью пленочных весов, соответствующим давлениям в сотни и тысячи атмосфер применительно к эффекту сжатия на молекулярном уровне.

Установлено, что максимальное поверхностное давление, создаваемое пленками какао масла и ПАВ, равно $16 \cdot 10^{-3}$ Н/м при скорости сжатия $1,6-3,3 \cdot 10^{-4}$ м/с. Подставив эти значения в формулу определения силы F , получим, что это соответствует обычному давлению 16 МПа.

$$F = p/h,$$

где p – поверхностное давление, Н/м; h – толщина пленки, Å.

Вторым важным свойством монослоев является вязкость. Исследование этих вопросов впервые было проведено Д. Галмудом и С. Бреслером на щелевом вискозиметре [3].

Поверхностная вязкость характеризует подвижность молекул в пленке. Зависимость поверхностной вязкости от поверхностного давления связана с фазовым состоянием монослоя.

В пленках с ньютоновской вязкостью вязкость монослоя с увеличением давления линейно и монотонно возрастает. Такие пленки находятся в жидко-конденсированном состоянии. Поверхностную вязкость принято выражать в поверхностных пуазах.

Изучение поведения пленок какао масла проводилось на различных подложках, которые представляли собой буферные водные растворы.

Полученные результаты показали, что с повышением pH подложки поверхностное давление возрастает, пленка растягивается и стремится к растеканию.

Главная причина, вызывающая изменение поведения монослоев какао масла, заключается в их ионизации при изменении pH. Растворимость ионизированных пленок на щелевой подложке происходит, вероятно, вследствие сил отталкивания, действующих между ионизированными молекулами.

В реальной шоколадной массе в качестве подложек служат поверхности твердых частиц, покрытые адсорбционными водными пленками, по которым распространяются какао масло и ПАВ.

Поверхность этих частиц может содержать различные ионы, иметь электрический заряд, что оказывает влияние на поведение тонких пленок какао масла и ПАВ, изменяет их состояние и способность к распространению по поверхности. Это влияние будет сказываться на вязкости шоколадной массы, так как она представляет собой внутреннее трение, возникающее при движении твердых частиц в жидкой среде при наложении определенной нагрузки. Следовательно, факторы, способствующие растеканию пленок какао масла на жидких подложках, должны приводить к понижению вязкости шоколадных масс.

Введение ПАВ в пленки какао масла значительно облегчает растекание пленки какао масла на воде.

Данные приведены на рис. 3.

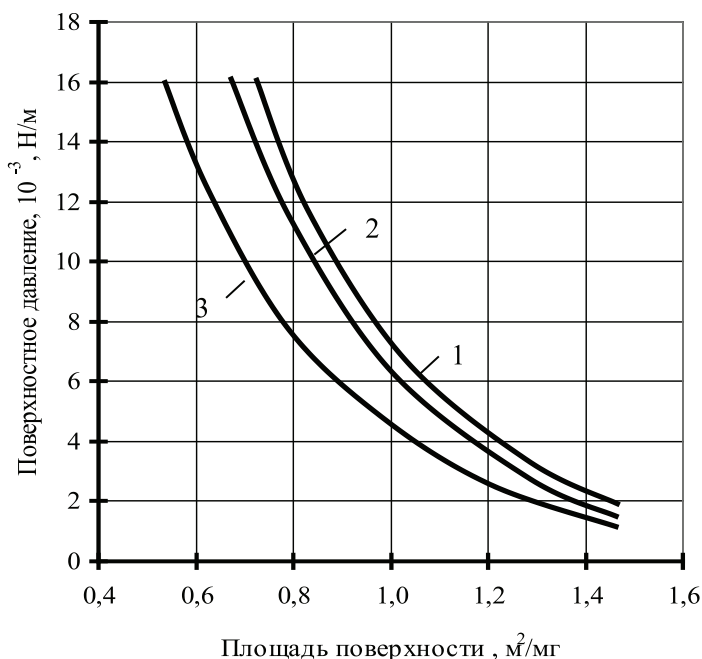


Рис. 3. Изотермы поверхностного давления пленок различных ПАВ на воде: 1 – БАД «Витол»; 2 – ПАФ; 3 – СФК (контроль)

Межмолекулярные силы в адсорбционной пленке ПАВ складываются из взаимодействия полярных групп и неполярных цепей, которое обусловлено силами притяжения. Взаимодействие параллельно ориентированных диполей приводит к возникновению сил отталкивания. Отталкивание диполей характерно для состояния молекул в адсорбционном слое. Гидратация полярных групп уменьшает их отталкивание, тогда как дегидратация полярных групп, растворенных в подложке электролитами, нарушает ориентацию молекул воды в поверхностном слое и тем самым освобождает силы отталкивания, что и приводит в результате к повышению поверхностного давления.

ПАФ, а особенно БАД «Витол» создают наибольшее поверхностное давление и наиболее плотные и устойчивые слои по сравнению с другими исследованными поверхностно-активными веществами. Это, вероятно, связано с меньшей гидрофильностью полярных групп поверхностно-активных веществ.

Большой интерес представляет подвижность молекул в поверхностном слое.

Изучение поверхностной вязкости с помощью щелевого вискозиметра позволило косвенно судить о подвижности молекул какао масла и ПАВ в поверхностном слое. При этом установлено, что с повышением температуры поверхностная вязкость пленок какао масла и ПАВ резко падает, что, вероятно, связано с процессом плавления и переходом из твердого состояния в жидкое.

При повышении поверхностного давления вязкость пленок возрастает, причем с повышением температуры степень ее роста уменьшается.

Таким образом, исследование свойств тонких слоев какао масла и БАД «Витол» на жидких поверхностях показало, что БАД «Витол» значительно повышает способность к распространению пленок какао масла по поверхности воды.

Полученные результаты имеют важное практическое значение, так как исследованные явления наблюдаются в реальных системах кондитерского производства, к которым относятся шоколадные массы.

Список литературы

1. Ексерова Д., Захариева М. Поверхностные силы и граничные слои жидкостей. – М., 1983. – С. 208–215.
2. Зонтаг Г., Штрэнге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. – М.: Химия, 1973. – 150 с.
3. Зубченко А.В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий / Воронеж, гос. технол. академия. – Воронеж, 1997. – 416 с.
4. Зубченко А.В. Дисперсные системы кондитерского производства. – Воронеж, 1993. – 159 с.
5. Зубченко А.В., Черпаков В.П., Копенкина И.Н. Исследование физических свойств какао масла методом внутреннего трения // Известия вузов СССР. Пищевая технология. – 1982. – № 1. – С. 124–126.
6. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах // Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979. – 381 с.
7. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах // Коллоидная химия: Избр. тр. – М.: Наука, 1978. – 245 с.

References

1. Ekserova D., Zaharieva M. Poverhnostnye sily i granichnye sloj zhidkостей. M., 1983. pp. 208–215.
2. Zontag G., Shtrenge K. Koaguljacija i ustojchivost' dispersnyh sistem. M.: Himija, 1973. 150 p.
3. Zubchenko A.V. Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii konditerskih Izdelij / Voronezh, gos. tehnol. akademija. Voronezh, 1997. 416 p.
4. Zubchenko A.V. Dispersnye sistemy konditerskogo proizvodstva. Voronezh, 1993. 159 p.
5. Zubchenko A.V., Cherpakov V.P., Kopenkina I.N. Issledovanie fizicheskikh svojstv kakao masla metodom vnutrennego trenija. Izvestija vuzov SSSR. Pishhevaja tehnologija, 1982, no. 1, pp. 124–126.
6. Rebinder P.A. Izbrannye trudy. Poverhnostnye javlenija v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaja mehanika. M.: Nauka, 1979. 381 p.
7. Rebinder P.A. Poverhnostnye javlenija v dispersnyh sistemah. Kolloidnaja himija: Izbr.tr. M.: Nauka, 1978. 245 p.

Рецензенты:

Илларионова В.В., д.т.н., профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар;

Татарченко И.И., д.т.н., профессор кафедры технологии зерновых, хлебных, пищевкусных и субтропических продуктов, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.