

ВОЗМОЖНОСТИ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА В ИССЛЕДОВАНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОПОЛИМЕРОВ

Н.С. Думская, В.Я. Черных

Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, г. Москва, Россия

В работе представлены результаты исследований по расширению возможностей калориметрии (метод ДСК) для определения теплофизических характеристик растительных порошков как биополимеров. Максимальный диапазон температур калориметрического сканирования для биополимеров с естественной влажностью выбран в пределах их температур стеклования, для гидратированных биополимеров 20 % влажностью выбран в пределах температур дегидратации температуры разложения полимера или до формирования сети полимера, которая подавляет его гидрофильность. Определено, что окончательная температура сканирования калориметром для информативного эксперимента линейно зависит от уровня влажности. Установлена зависимость температур фазовых переходов от размера частиц, молекулярной массы и активной влажности биополимеров. Обнаружено, что температура замерзания аморфного порошка с активной влажностью ниже 0,926 смещается ниже нуля. Определено, что у аморфных растительных порошков с размером частиц 80–139 мкм и с низкой молекулярной массой температурные параметры стеклования (136–172 °С) и замерзания этих порошков с 20 % влажностью снижены (–8...–15 °С); а у аморфных растительных порошков с размером частиц 150–200 мкм и с высокой молекулярной массой температурные параметры стеклования выше (153–180 °С) и температура их замерзания при влажности 20 % на 0 °С. Для сухих порошков с низкой температурой стеклования ниже 150 °С после гидратации характерны температуры замерзания ниже 0 °С, для порошков с высокой температурой стеклования выше 153 °С после гидратации характерна температура замерзания на 0 °С. В результате данной работы определено, что максимальные температуры дегидратации 120 °С и 153 °С характерны для аморфных порошков с естественной влажностью и с температурами стеклования не сильно превышающие эти температуры дегидратации, что может характеризовать эти температуры не только как температуры дегидратации, но и как температуры, отвечающие за сохранность гидрофильной структуры.

Ключевые слова: дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК), теплофизические характеристики (ТФХ), активность воды (Ав), температура стеклования (Тс), температура замерзания (Тз), фазовые переходы, воспроизводимость термограмм, биополимеры – растительные порошки, естественная влажность – количество воды в биополимере по спецификации при естественных условиях, гидратация – введение дистиллированной воды в порошки; коммерческие порошки – производителем измельченные до определенного размера частиц.

Введение

Решению задач по обеспечению населения макро- и микронутриентами, витаминами, пищевыми волокнами и другими биологически активными веществами способствует инновационное производство традиционных продуктов хлебопечения, где в качестве компонентов сырья используются порошки из растительных биоресурсов. Особую ценность представляют сухие порошки овощного происхождения, содержащие инулины, клейковину, которые при сохранении традиционных специфических органолептических свойств заметно улучшают потребительские свойства производимых продуктов за счёт новых по-

лезных качеств и могут использоваться в целях оздоровительного и профилактического питания.

Применение растительных добавок приводит не только к совершенствованию технологии получения традиционных и новых пищевых продуктов, но и способствует дальнейшему развитию технологий хранения скоропортящихся продуктов, что позволяет перевозить их на большие расстояния, в регионы с ограниченными ресурсными возможностями.

Растительные порошки, производимые в промышленных масштабах, – это аморфные твердые вещества с хорошими технологическими свойствами, которые могут иметь кри-

сталлические аналоги. Для обоснования использования в производстве продуктов сырья растительного происхождения, как дополнительных компонентов в рецептурах, необходимо изучение комплекса теплофизических характеристик (ТФХ) растительных добавок и влияния их на свойства основного сырья. Это объясняется тем, что с помощью ТФХ оценивается продолжительность холодильных процессов, режимов отопления, размораживания, сушки через особенности происходящих внутри продуктов фазовых превращений, отражающие сохранность и качество [1]. Зная ТФХ, выбирается оптимальный режим технологической обработки и хранения. К ТФХ относятся: энтальпия, теплоемкость, коэффициент теплопроводности, теплота фазовых переходов.

Самым информативным фундаментальным методом исследования ТФХ и влагосодержания пищевых сред во всем температурном диапазоне является дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК).

ДСК имеет высокую чувствительность и позволяет проводить измерения тонких тепловых эффектов смешения как жидких, так и разнофазных (например, жидких и порошковых) компонентов, изучать как физико-химические процессы смачивания, гелеобразования, коллоидных взаимодействий, так и процессы химических реакций. В исследуемом веществе фазовый переход 1 и 2 рода на термограммах проявляется пиком и перегибом в характерном температурном диапазоне соответственно.

Исследование предельной температуры нагрева для воспроизводимости влажности образца проводят по обратимости фазовых переходов, таких как льдообразование, плавление и кипение, конденсация, которые сильно влияют на изменение свойств продуктов при разрушении гигроскопичных структур. Если пик термограммы вещества воспроизводится, значит изменения в нем обратимы и произошло, например, восстановление его влажности после регидратации или кристаллизация структуры [2, 3].

Температура стеклования (T_g) является одной из основных ТФХ аморфных биополимеров. T_g допускается называть температурой пластификации, желатинизации, слипания. Это фазовый переход второго рода, связанный с изменением теплоемкости при переходе первоначально структуры в пластичное со-

стояние. Биополимеры при температурах выше температуры стеклования находятся в пластичном состоянии, а при температурах ниже температуры стеклования – в твердом и достаточно хрупком состоянии. По-другому температура стеклования – температура равновесия между двумя фазами: полужидкой, преобладающей при высокой температуре, и стекловидного твердого вещества, преобладающего при низкой температуре.

Показатель «активность воды» или активная влажность (A_w или A_w – английский) – наиболее перспективный и информативный для исследования ТФХ биополимеров в связи с их влажностью.

Объекты и методы исследований

При проведении работы использовали коммерческие растительные порошки: инулин Beneo GR от Orafit и Cosucra Groupe Warcoing (Бельгия), клейковина фирмы Henan Lotus Flour Co (Китай) и порошки, приготовленные кондуктивным методом сушки измельченной мякоти столовой свеклы, капусты белокочанной, моркови, тыквы, банана (ООО «НПО АгроПромРесурс», Россия). Исследования проводились системой термического анализа, состоящей из дифференциального сканирующего калориметра ДСМ-10МА российского производства, обработка информации проводилась с применением прикладной программы DSMCALC к ДСМ-10Ма.

Метрологические характеристики прибора калибровалась по сертифицированным стандартным образцам температур и энергий плавления нафталина ($80,28 \pm 0,2$ °C, 150 Дж/г), индия ($156,45 \pm 0,2$ °C, 28,44 Дж/г) и олова ($231,75 \pm 0,3$ °C, 60,67 Дж/г) по методическим указаниям МИ496-84. Термограммы, как при калибровке прибора ДСМ-10МА, так при исследовании образцов с влажностью 20 и 10 % регистрировали при скорости сканирования 4 и 8 °C/мин соответственно, в негерметичных контейнерах, т. е. при постоянном давлении, равном атмосферному. Скорость сканирования определялась пробно в связи с влажностью исследованного образца, чтобы не было зашкала термограммы.

Для охлаждения калориметрического блока использовался охладитель Huber TC45F (Германия). Для этого в охлаждающий термостат калориметра вместо традиционно используемого жидкого гелия заливалось минеральное масло, в которое помещался змеевик теплообменника охладителя.

Для определения зависимости температуры переходов, энергии и площадей пиков ведется обработка записанной термограммы. При этом для удельной теплоты испарения свободной воды принято справочное значение 2256,2 кДж/кг, а для удельной теплоты таяния льда – значение 330 кДж/кг. Для пересчета площади пика в энергию использовались результаты калибровки по пику плавления эталонного образца индия и пикам таяния известного количества дистиллированной воды, замороженной в ячейке калориметра.

Подготовка образцов заключается в их гидратации и взвешивании. Одни пробы порошков исследовали с естественным содержанием влаги (не больше 10 %), другие с дополнительной гидратацией дистиллированной водой – 20 %. Перед измерениями образцы подвергались замораживанию.

Сущность метода определения ТФХ в связи с содержанием влаги в биополимере заключалась в обезвоживании образцов дифференциально сканирующим калориметром нагревом на нефиксированных параметрах температуры и продолжительности сканирования [4]. Выбиралась окончательная температура нагрева калориметрическим сканированием до высокой температуры при высокой влажности исследуемого биополимера, низкая и промежуточная температура при низкой и средней влажности биополимера. По 10 образцов каждой группы сканировали до температуры 210 °С и по 3 образца каждой группы сканировались не во всем диапазоне температур, а до завершения каждого проявленного термического эффекта, но окончание сканирования калориметром будет не ниже 60 °С, согласно методике [3]. Для исследования возобновляемости проб (с влажностью не выше 10 %), обусловленной изменением способности влагопоглощения, было проведено двукратное сканирование проб до конечной температуры 120 и 150 °С. Для контрольного образца второе сканирование проводили сразу после первого, а для остальных с выдержкой времени в течение 24 часов при комнатной температуре и нормальной влажности.

По формуле из работы [5] определяли активность воды для проб с влажностью 20 %. Для этого калориметром ДСМ-10 измеряли температуру замерзания (t_z) гидратированного порошка:

$$\lg A_w = 1,152 - 314,7 \frac{1}{t + 273,15}, \quad (1)$$

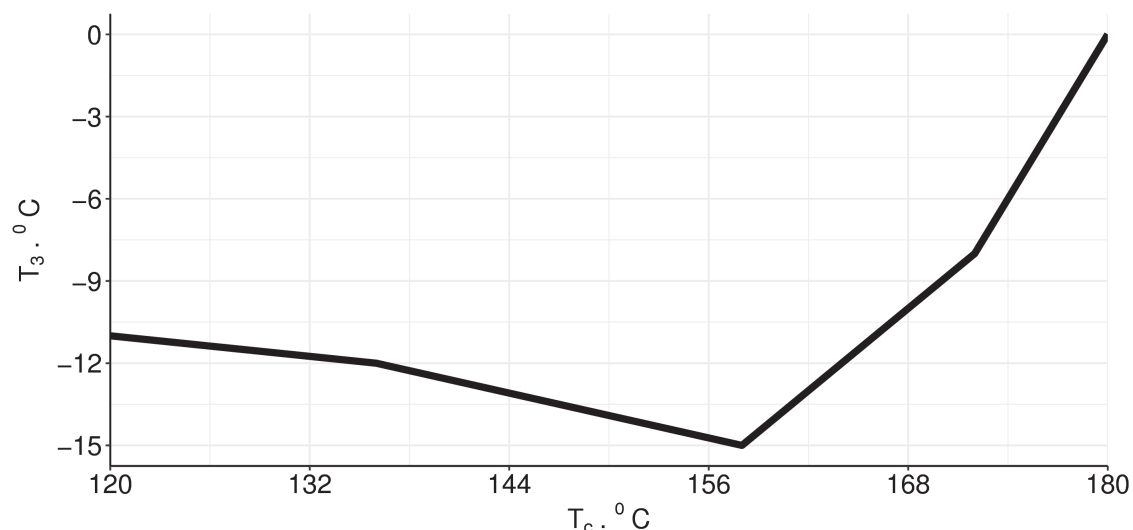
где t (t_z) – температура начала замерзания (криоскопическая температура) высоковлажного пищевого продукта (от 20 %), °С., $\lg a_w$ – логарифм параметра активности воды.

Результаты и их обсуждение

По полученным калориметрическим термограммам растительных порошков с разной влажностью (W) определены показатели, представленные в таблице: температура замерзания (T_z), температура стеклования (T_c) как середина перегиба термограммы и активность воды (A_w). В таблице представлены размеры частиц исследованных порошков при их естественной влажности, взятые из спецификаций от производителей растительных порошков. Из таблицы видно, что у порошков с большим размером частиц и большей молекулярной массой свойственны более высокие температуры стеклования. Определена температура стеклования 40 °С для гидратированного пшеничного глютена (клейковины).

Определено, что у аморфных растительных порошков с размером частиц 80–139 мкм и с низкой молекулярной массой температурные параметры стеклования (136–172 °С) и замерзания этих порошков с 20 % влажностью снижены (–8...–15 °С) и предельная температура нагрева для сохранения способности к восстановлению естественной влажности составила 120 °С; а у аморфных растительных порошков с размером частиц 150–200 мкм и с высокой молекулярной массой температурные параметры стеклования выше (153–180 °С) и температура их замерзания при влажности 20 % на 0 °С и предельная температура нагрева для сохранения способности к восстановлению естественной влажности равна температуре сгорания (полного разрушения), которая выше температуры стеклования (153–180 °С). Для сухих порошков с низкой температурой стеклования до 150 °С после гидратации характерны температуры замерзания ниже 0 °С, для порошков с высокой температурой стеклования выше 153 °С после гидратации характерна температура замерзания на 0 °С (см. рисунок).

Полученные результаты повторного калориметрического сканирования образцов после первого сканирования не выше 150 °С и



Взаимосвязь между температурами стеклования (T_c) и замерзания (T_z) растительных порошков

Характеристики растительных порошков (T_c – температура стеклования, T_z – температура замерзания, A_w – активность воды, W – весовая влажность)

Наименование порошка / его показатели	T_c при W 10 %, °C	T_c при W 20 %, °C	T_z при W 20 %, °C	A_w при W 20 %, Усл.ед.	Молекулярная масса, Да	Диаметр частиц, дэков, мкм
Пшеничной клейковины Henan	180	40	0	0,9997	44000	150–180
Инулин аморфный Orafti	125 и 153	40	0	0,926	5000–6000	80 – 200
Тыквенный НПО	172	–	–8	0,9228	1162,5	139
Банановый НПО	136	115	–12	0,885	775	120
Свекольный НПО	150	–	–15	0,857	620	127
Морковный НПО	150	–	–15	0,857	620	131

втором нагреве выше 150 °C и выдержке их в течение 24 часа в естественных условиях показывают, что у сухих порошков клейковины и инулина пики испарения влажности возобновляются в первом нагреве на 100 % и не возобновляются полностью после второго нагрева, тогда как воспроизводимость пиков термограммы у овощных порошков при таком нагреве калориметрическим сканированием составила не больше 50 %. У овощных порошков условием 100 % возобновляемости пиков термограмм является то, что первый

прогрев не должен превышать 120 °C. Таким образом, температурный диапазон 120–153 °C является условием обратимой дегидратации неопределенных аморфных порошков естественной влажности.

Заключение

- Определено, что составы низкомолекулярной массы имеют более низкую температуру стеклования, что также подтверждается работами [6–9]. Как и в работе [10] определена зависимость температуры стеклования и активной воды – у порошков с более высокой

температурой стеклования более высокая активность воды. Как в работе [11] обнаружили зависимость активности воды от температуры замерзания порошков. Определено, что температуры стеклования порошков зависят от размера частиц порошка. При более мелких частицах и более низкой молекулярной массой порошки имеют температуру стеклования также ниже (см. таблицу).

• Установлено смещение температуры замерзания в более низкие значения у гидратированных растительных порошков с более низким молекулярным весом и низкой активностью воды, а также низкой температурой стеклования, что можно объяснить образованием более сильных связей биополимеров с водой. Для сухих порошков с низкой температурой стеклования до 150 °С после гидратации характерны более низкие температуры замерзания, для порошков с высокой температурой стеклования выше 153 °С после гидратации характерна температура замерзания ближе к 0 °С. Эта связь, видимо, обусловлена температурой 153 °С, теоретически являющейся максимальной температурой дегидратации порошков [12]. При колебании температурного режима при замораживании и размораживании гидратированных растительных порошков с низкой температурой стеклования отсутствует воспроизводимость пиков термограмм образцов из-за более сильного связывания влаги и перекристаллизации за время между первым и вторым сканированиями. Обнаружено, что температура замерзания влажного порошка с активностью воды ниже 0,926 смещается ниже нуля при колебании температур в результате перекристаллизации. Таким образом, показано, что хранение гидратированных растительных порошков с более низкой активностью воды нужно проводить в условиях достаточно низкой температуры: –8 до –15 °С. Показано, что растительный порошок с повышенной активностью воды замерзает при 0 °С, вероятно за счет повышения в нем слабых гидрофильных связей.

• Определено, что воспроизводимость термограмм ниже у растительных порошков с низкой молекулярной массой и более низкой активностью воды. Для сухих порошков клейковины и инулина воспроизводимость термограмм высокая, так как у них высокие ТФХ и высокая активность воды. Определено, что процент возобновляемости пика термограммы образца отображает регидратацию,

зависящую от конкретной предельной температуры для сохранности гидрофильной структуры в условиях низкой влажности. Теоретически известно, что температура 120 °С – это предел для контроля термомеханических процессов в биополимерах в условиях их низкой влажности [13].

• Данная работа показывает возможности калориметрического метода для интерпретации наблюдаемых процессов в биополимерах с естественной степенью влажностью или при их гидратации до 20 %. Определено, что пики термограмм при ДСК биополимеров имеют связь с их молекулярной массой, что также показано в работах [14, 15].

Литература

1. Rahman M.S. State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability // *Trends in Food Science technology*. – 2006. – V. 17, № 3. – P. 129–141. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.09.009
2. Любарев А.Е., Курганов Б.И. Изучение необратимой тепловой денатурации белков методом дифференциальной сканирующей калориметрии // *Успехи биологической химии*. – 2000. – Т. 40. – 43 с.
3. Zhang M., Li C.L., Ding X.L. Technical note thermal denaturation of some dried vegetables // *Drying technology*. – 2002. – V. 20(3). – P. 711–717. DOI: 10.1081/DRT-120002826
4. Бойко Б.Н. и др. Способ раздельного определения содержания свободной и связанной воды в сухом растительном порошке банана с применением дифференциального сканирующего калориметра. Патент на изобретение RU 2686104, 24.04.2019. Заявка № 2017109195 от 21.03.2017.
5. Кулагин В.Н. Изменение активности воды как показателя качества продуктов при термообработке // *Мясная индустрия*. – СССР. – 1982. – № 3. – 13 с.
6. Rouilly A., Jorda J., Rigal L. Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. II. Thermal and rheological properties of thermoplastic SBP // *Carbohydrate Polymers*. 2006. – V. 6. – P. 117–125. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.02.031
7. Emily J. Mayhew, Cheyenne H. Neal, Soo-Yeun Lee, Shelly J. Schmidt. Glass transition prediction strategies based on the couchman-karaszk equation in model confectionary systems // *Journal of Food Engineering*. – 2017. – P. 1–16. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.07.007

8. Douglass I., Harrowell P. *Kinetics of Dissolution of an Amorphous Solid* // *J. Phys Chem B.* – 2018. 1;122(8). – P.2425-2433. DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b12243
9. Drake A.C. et al. *Effect of water content on the glass transition temperature of mixtures of sugars, polymers, and penetrating cryoprotectants in physiological buffer* // *PLoS One.* – 2018. – 13.1. DOI: 10.1371/journal.pone.0190713
10. Roos Y.H. *Water activity and physical state effects on amorphous food stability* // *J Food Process Preserv.* – 1993. – V. 16. – P. 433–447. DOI: 10.1111/j.1745-4549.1993.tb00221.x
11. Sablani S.S., Kasapis S., Rahman M.S. *Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability* // *Journal of Food Engineering.* – 2007. V. 78. – P. 266–271. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025
12. Ibrahim M.M., El-Zawawy W.K., Juttke Y., Koschella A., Heinz T. *Cellulose and microcrystalline cellulose from rice straw and banana plant waste: preparation and characterization* // *Cellulose.* – 2013. DOI: 10.1007/s10570-013-9992-5
13. Rouilly A., Jorda J., Rigal L. *Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. II. Thermal and rheological properties of thermo-plastic SBP* // *Carbohydrate Polymers.* – 2006. – V. 6. – P. 117–125. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.02.031
14. Martínez-Navarrete N., Moraga G., Talens & Amparo Chiralt. *Water sorption and the plasticization effect in wafers* // *International Journal of Food Science and Technology.* – 2004. – V. 39. – P. 555–562. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00815.x
15. Sablani S.S., Kasapis S., Rahman M.S. *Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability* // *Journal of Food Engineering.* – 2007. – V. 78. – P. 266–271. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025

Думская Наталья Сергеевна, аспирант, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности (г. Москва), nat407@yandex.ru

Черных Валерий Яковлевич, д.т.н., главный научный сотрудник по направлению реологии пищевых сред, Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности (г. Москва), polybiotest@rambler.ru

Поступила в редакцию 7 февраля 2020 г.

DOI: 10.14529/food200106

POSSIBILITIES OF THE CALORIMETRIC METHODS OF STUDYING THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF BIOPOLYMERS

N.S. Dumskaya, V.Ya. Chernykh

Scientific Research Institute for the Baking Industry, Moscow, Russian Federation

The results of research enhanced calorimetry for determination the thermophysical properties of plant powders as biopolymers presented. The maximum temperature range of calorimetric scanning for biopolymers with natural humidity is chosen within their glass transition temperatures, for hydrated biopolymers with 20% humidity is chosen within the dehydration temperature of polymer decomposition or before the formation of a polymer network that suppresses its hydrophilicity. We found that the final scanning temperature depends linearly from the humidity level. The dependence of phase transition temperatures from particle size, molecular weight and active humidity of biopolymers was established. We have identified that the freezing temperature of amorphous powder with active humidity below 0,926 is shifted below zero. Dry powders with low glass transition temperatures below 150 °C after hydration are characterized by freezing temperatures below 0 °C. Powders with high glass transition temperatures above 153 °C after hydration are characterized by freezing temperatures of 0 °C. As a result of this work we found that maximum dehydration temperatures of 120 °C and 153 °C are typical for amorphous powders with natural humidity and glass transition temperatures not exceeding these dehydration

temperatures very much, which can characterize these temperatures also as temperatures responsible for the preservation of the hydrophilic structure.

Keywords: differential scanning calorimeter (DSC), thermophysical characteristics (TFC), water activity (Av), glass transition temperature (Tc), freezing temperature (Tc), phase transitions, thermogram reproducibility, plasticizer for hydrofilmers – distilled water, biopolymers – vegetable powders, natural humidity – amount of water in biopolymer according to specification under natural conditions, hydration – introduction of distilled water into commercial powders.

References

1. Rahman M.S. State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability. *Trends in Food Science technology*, 2006, vol. 17, no. 3, pp. 129–141. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.09.009
2. Lyubarev A.E., Kurganov B.I. [The study of irreversible thermal denaturation of proteins by differential scanning calorimetry]. *Uspekhi biologicheskoy khimii* [Achievements of biological chemistry], 2000, vol. 40. 43 p. (in Russ.)
3. Zhang M., Li C.L., Ding X.L. Technical note thermal denaturation of some dried vegetables. *Drying technology*, 2002, vol. 20(3), pp. 711–717. DOI: 10.1081/DRT-120002826
4. Bojko B.N., Chernykh V. Y., Dumskaya N.S., Godunov O.A., Gustinovich V.G., Sarbashev K.A. *Sposob razdel'nogo opredeleniya soderzhaniya svobodnoy i svyazannoy vody v sukhom rastitel'nom poroshke banana s primeneniem differentsial'nogo skaniruyushchego kalorimetra* [Method for separate determination of content of free and bound water in dry banana powder using differential scanning calorimeter]. Patent RU 2686104, 24.04.2019. No. 2017109195.
5. Kulagin V.N. [Change in water activity as an indicator of product quality during heat treatment]. *Myasnaya industriya SSSR* [Meat industry USSR], 1982, no. 3. 13 p. (in Russ.)
6. Rouilly A., Jorda J., Rigal L. Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. II. Thermal and rheological properties of thermoplastic SBP. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 6, pp. 117–125. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.02.031
7. Emily J. Mayhew, Cheyenne H. Neal, Soo-Yeun Lee, Shelly J. Schmidt. Glass transition prediction strategies based on the couchman-karaszi equation in model confectionary systems. *Journal of Food Engineering*, 2017, pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.07.007
8. Douglass I., Harrowell P. Kinetics of Dissolution of an Amorphous Solid. *J. Phys Chem B.*, 2018, 1;122(8), pp. 2425–2433. DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b12243
9. Drake A.C., Lee Y., Burgess E.M., Karlsson J.O.M., Eroglu A., Higgins A.Z. Effect of water content on the glass transition temperature of mixtures of sugars, polymers, and penetrating cryoprotectants in physiological buffer. *PLoS One*, 2018. 13.1. DOI: 10.1371/journal.pone.0190713
10. Roos Y.H. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. *J Food Process Preserv.*, 1993, vol. 16, pp. 433–447. DOI: 10.1111/j.1745-4549.1993.tb00221.x
11. Sablani S.S., Kasapis S., Rahman M.S. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 2007, vol. 78, pp. 266–271. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025
12. Ibrahim M.M., El-Zawawy W.K., Juttke Y., Koschella A., Heinz T. Cellulose and microcrystalline cellulose from rice straw and banana plant waste: preparation and characterization. *Cellulose*, 2013. DOI: 10.1007/s10570-013-9992-5
13. Rouilly A., Jorda J., Rigal L. Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. II. Thermal and rheological properties of thermoplastic SBP. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 6, pp. 117–125. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.02.031
14. Martínez-Navarrete N., Moraga G., Talens & Amparo Chiralt. Water sorption and the plasticization effect in wafers. *International Journal of Food Science and Technology*, 2004, vol. 39, pp. 555–562. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00815.x
15. Sablani S.S., Kasapis S., Rahman M.S. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 2007, vol. 78, pp. 266–271. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025

Проектирование и моделирование новых продуктов питания

Natalia S. Dumskaya, Graduate Student, Scientific Research Institute for the Baking Industry, Moscow, nat407@yandex.ru

Valery Ya. Chernykh, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher in the Field of Rheology of Food Environments, Scientific Research Institute for the Baking Industry, Moscow, polybiotest@rambler.ru

Received February 7, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Думская, Н.С. Возможности calorиметрического метода в исследовании теплофизических характеристик биополимеров / Н.С. Думская, В.Я. Черных // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 49–56. DOI: 10.14529/food200106

FOR CITATION

Dumskaya N.S., Chernykh V.Ya. Possibilities of the calorimetric methods of studying thermophysical characteristics of biopolymers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 49–56. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200106
