

Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала

Кондратьев Николай Борисович

*ВНИИКП - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, город Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: conditerpromnbk@mail.ru*

Казанцев Егор Валерьевич

*ВНИИКП - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, город Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: maxvosipov@yandex.ru*

Осипов Максим Владимирович

*ВНИИКП - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, город Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: maxvosipov@yandex.ru*

Петрова Наталья Александровна

*ВНИИКП - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, город Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: conditerprom_lab@mail.ru*

Руденко Оксана Сергеевна

*ВНИИКП - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, город Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: oxana0910@mail.ru*

Мучные кондитерские изделия со сроком годности 1 месяц и более являются самым востребованным видом сладкого у потребителя. Пряники являются вторым по популярности видом в этой группе изделий – 16% в структуре потребления по данным Росстата РФ. Срок годности сырцовых пряников с начинкой зависит от скорости их микробиологической порчи, обусловленной интенсивностью и направлением процессов влагопереноса. При высокой скорости миграции влаги пряники быстро черствеют, а низкая скорость процессов влагопереноса повышает риск плесневения. Провели исследования динамики изменения массовой доли влаги и активности воды в различных частях сырцовых пряников с начинкой – в выпеченном полуфабрикате и в начинке в процессе хранения в течение 3,5 месяцев. Оценили влияние модифицированных крахмалов трех видов: этерифицированные фосфатными группами (Е 1412), ацетильными группами (Е 1422) и с комбинацией фосфатных и гидроксипропильных групп (Е 1442) на влагоудерживающие свойства в начинках. Потери влаги в начинке, изготовленной с крахмалом, этерифицированным комбинацией фосфатных и гидроксипропильных групп значительно меньше – в 2–2,5 раза, чем при использовании крахмалов, этерифицированных фосфатными или ацетильными группами. Рассчитали скорость процесса влагопереноса для изделий, изготовленных с использованием различных видов крахмала, по коэффициенту диффузии. Выявлено, что скорость влагопереноса минимальна для крахмала Е 1442, о чем свидетельствует наименьший коэффициент диффузии – 1,097. Предложена схема прогнозирования сохранности сырцовых пряников с фруктовой начинкой на основе результатов исследования процессов влагопереноса и характеристик влагоудерживающих добавок (модифицированный крахмал). Схема процесса представлена в виде совокупности подсистем с указанием параметров и факторов, оказывающих влияние на скорость влагопереноса. Полученные результаты позволяют прогнозировать риски плесневения сырцовых пряников с фруктовой начинкой в процессе их хранения.

Ключевые слова: кондитерские изделия; пряники; влагоперенос; массовая доля влаги; активность воды; модифицированный крахмал; срок годности

Введение

Мучные кондитерские изделия длительного срока хранения стабильно являются самым востребованным видом сладкого у потребителя. Их потребление выросло в 2018 г. по сравнению с 2017 г. и достигло 9,7 кг на одного человека в год (Кондитерский рынок России в 2018 году, 2019). По данным Росстата по структуре потребления на территории Российской Федерации пряники являются вторым по популярности видом в этой группе изделий – 16% после сахарного печенья (54%). Разнообразить ассортимент пряников и повысить их популярность у потребителя позволяет использование фруктовых начинок.

Массовая доля влаги в сырцовых пряниках составляет 10-16%, для таких изделий характерны процессы влагопереноса, которые влияют на риск микробиологической порчи (Базарнова, 2008, с. 31, 229; Kuznetsova, 2017, с. 1352-1354). Срок годности сырцовых пряников с начинкой зависит от скорости процессов черствения или микробиологической порчи, обусловленных скоростью процессов влагопереноса. При высокой скорости миграции влаги пряники быстро черствеют, а низкая скорость процессов влагопереноса повышает риск микробиологической порчи.

Процессы влагопереноса в кондитерских изделиях с промежуточной влажностью (массовая доля влаги 10-20%) характеризуются показателями водной фазы изделия, паровой фазы над изделием, свойствами упаковки и атмосферы помещения для хранения изделий (Кондратьев, 2015, с. 170).

Движущей силой процессов влагопереноса является градиент активности воды между выпеченным полуфабрикатом и начинкой, который зависит от концентраций воды в различных частях целого изделия и от видов связи влаги (Dorina, Ognean, 2014, с. 24; Cropotova, 2013, с. 65-66; Pereiraa, 2017, с. 8). Процессы влагопереноса прекращаются при достижении равновесного давления водяного пара над начинкой, выпеченным полуфабрикатом и окружающей средой.

Показано, что при обеспечении содержания влаги в пряниках ниже 12–15% (эквивалентно 60–64% относительной влажности окружающего воздуха) можно обеспечить их длительный срок годности при хранении при температуре помещения (Cervenka, Rezkova, Kralovsky, 2008, с. 604).

Для характеристики процессов влагопереноса сырцовых пряников с фруктовой начинкой используются показатели массовая доля влаги W (%) и активность воды a_w .

Скорость перехода воды из одной части пряника в другую или в окружающую атмосферу зависит от разности концентраций влаги, физических свойств системы и «гидродинамической обстановки» процесса. Связь между факторами устанавливается при помощи уравнений диффузной кинетики.

В данной статье рассмотрены процессы влагопереноса через двухосноориентированную полипропиленовую пленку (марка 30ТС200). Для сравнения скорости влагопереноса в различных кондитерских системах используется коэффициент диффузии.

Цель работы – разработать способ прогнозирования сохранности мучных кондитерских изделий с начинкой на примере сырцовых пряников с фруктовой начинкой, изготовленной с различными видами модифицированного крахмала.

Материалы и методы

Объекты исследования – сырцовые пряники с фруктовой начинкой, глазированные сахарной глазурью, образцы хранились в климатической камере «Climacell 404», (Чехия) при температуре 30°C и относительной влажности окружающего воздуха 40%. Такие условия хранения благоприятны для прогнозирования процессов микробиологической порчи и обеспечивают высокую скорость процессов влагопереноса, что позволяет уменьшить длительность проведения исследований влияния толщины полипропиленовой упаковки на сохранность сырцовых пряников с фруктовой начинкой.

Состав начинок: 40% яблочного пюре, 24% модифицированного крахмала и 1% пектина. Использован модифицированный крахмал трех видов – Е 1422, Е 1442, Е 1412. Готовые пряники упакованы в двухосноориентированную полипропиленовую пленку (марка 30ТС200) толщиной 30 мкм, размер упаковки 15×9,5 см (Кондратьев, Казанцев, Петрова, Осипов, Святославова, 2018, с. 17).

Массовая доля влаги измерена по ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли влаги и сухих веществ.

Предельное усилие нагружения гелей на основе различных видов модифицированного крахмала измерено на Структурометре СТ-2 (Россия).

Результаты и их обсуждение

С целью увеличения срока годности, уменьшения скорости процессов влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой используют различные влагоудерживающие добавки. К таким добавкам относится модифицированный крахмал (Жушман, 2007, с. 192-197). Для сравнения влагоудерживающей способности различных видов модифицированного крахмала, влияющей на риск микробиологической порчи, проведены исследования процессов влагопереноса между окружающей атмосферой, выпеченным полуфабрикатом и начинкой пряников.

Чтобы оценить влияние массовой доли влаги в выпеченном полуфабрикате сырцового пряника на активность воды, изучили зависимость, которая характеризуется изотермой сорбции (Рисунок 1).

Изотерма сорбции позволяет оценивать риск микробиологической порчи или физических изменений, таких как черствение и/или увлажнение кондитерских изделий с промежуточной влажностью. При увеличении массовой доли влаги выше 16–17% наблюдается повышение активности воды, риск микробиологической порчи существенно возрастает.

Начинки, изготовленные на основе фруктово-ягодного сырья, оказывают значительное влияние на процессы черствения и микробиологической порчи сырцовых пряников с промежуточной влажностью, активность воды в которых составляет от 0,65 до 0,9.

Химический состав начинки обуславливает ее физические свойства, включая соотношение связанной и свободной влаги, скорость процессов движения влаги между частями одного изделия, а также между изделием и окружающей средой. От количества свободной влаги в начинке и выпеченном полуфабрикате зависит доступность влаги для развития микроорганизмов при хранении изделий (Бойко, Думская, Черных, Годунов, 2017, с. 23).

Важнейшими сырьевыми компонентами, позволяющими управлять соотношением связанной и свободной воды в изделиях, являются различные наименования модифицированного крахмала (Осипов, Кондратьев, Казанцев, Руденко, Семенова, 2018, с. 58; Razak, Karim, Sulaiman, Hussain, 2018, с. 1115; Neelam, Vijay, Singh, 2012, с. 27-28; Solomina, Solomin, Варицев, 2016, с. 29-30; Национальный центр биотехнологической информации США, 2019; Saha, Bhattacharya, 2010, с. 588-589). Такие виды крахмала различаются внутренним химическим строением (Коптелова, Лукин, 2013, с. 17-18), которое формирует их влагоудерживающую способность и тем самым влияет на сроки годности кондитерских изделий. Проведены исследования активности воды и предельного усилия нагружения геля различных видов модифицированного крахмала (Казанцев, Кондратьев, 2018, с. 253-254) (Таблица 1).

Крахмалы различных наименований сильно отличаются по влагоудерживающей способности (Neelam, Vijay, Singh, 2012, с. 28-29; Nautiyal, 2011, с. 2-4). Активность воды 10%-го геля на основе модифицированного крахмала находится в диапазоне 0,974–0,993.

Значения предельных усилий нагружения 10%-х гелей, изготовленных из различных видов крахмала, находятся в очень широких диапазонах от 28 г/см² до 72 г/см². Это позволяет

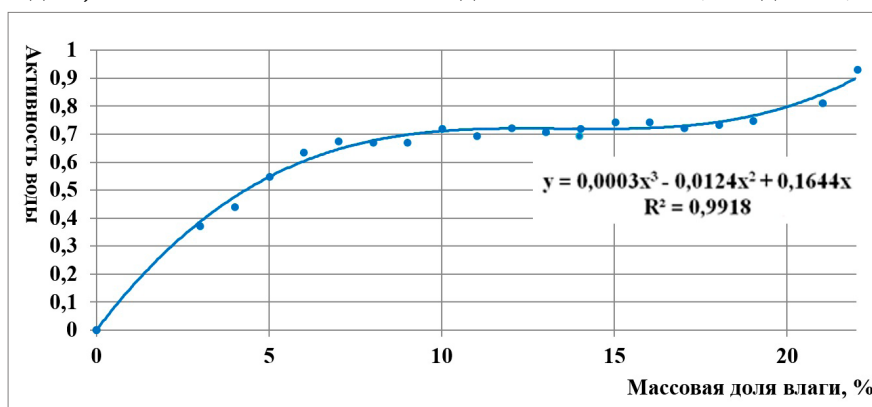


Рисунок 1. Зависимость активности воды от массовой доли влаги выпеченного полуфабриката сырцового пряника.

Таблица 1

Физико-химические свойства гелей (изготовленного из различных видов модифицированного крахмала с массовой долей 10%)

№ П/П	Наименование	Способ получения и растворение в воде	Группы атомов, влияющие на свойства	a_w	Предельное усилие нагружения 10 %-го геля, г/см ²
1	Дикрахмалфосфат (E 1412, Instanttextaid A)	Этерификация триметафосфатом натрия и/или оксихлоридом фосфора. Холодного набухания.	PO_4^-	0,986	72,0
2	Ацетилованный дикрахмаладипат (E 1422, PurityHPC)	Этерификация уксусным ангидридом и адипиновым ангидридом. Горячего набухания.	CH_3CO^- $(C_6H_8O_4)^-$	0,975	66,5
3	Ацетилованный дикрахмаладипат с предварительной желатинизацией (E 1422, Ultratex 2131)	Этерификация триметафосфатом натрия и/или оксихлоридом фосфора. Холодного набухания.	CH_3CO^- $(C_6H_8O_4)^-$	0,987	68,0
4	Гидроксипропил дикрахмалфосфат (E 1442, Thermtex)	Этерификация триметафосфатом натрия или оксихлоридом фосфора, этерификация пропиленоксидом. Горячего набухания.	PO_4^- $-CH_2CH(CH_3)OH$	0,974	61,0
5	Гидроксипропил дикрахмалфосфат (E 1442, Ultratex SR)	Этерификация триметафосфатом натрия или оксихлоридом фосфора в сочетании с этерификацией пропиленоксидом. Холодного набухания.	PO_4^- $-CH_2CH(CH_3)OH$	0,988	72,0
6	Ацетилованный дикрахмаладипат (Instantclearjel E)	Этерификация уксусным ангидридом и адипиновым ангидридом. Горячего набухания.	CH_3CO^- $(C_6H_8O_4)^-$	0,993	69,0
7	Крахмал обработанный кислотой (E 1401, Flojel)	Обработка соляной, серной ортофосфорной, кислотами. Горячего набухания	SO_4^- , PO_4^- OH^-	0,991	28,0

изготавливать кондитерские изделия с очень широким диапазоном органолептических свойств, таких как структура, вкус, запах, цвет, вид в изломе.

Для исследования влияния влагоудерживающих свойств в начинках выбраны модифицированные крахмалы трех видов: этерифицированные фосфатными группами (E 1412), ацетильными группами (E 1422) и с комбинацией фосфатных и гидроксипропильных групп (E 1442) по их влагоудерживающей способности, а также как типичные, используемые в пищевой промышленности.

Для построения схемы процессов влагопереноса в пряниках с фруктовой начинкой провели исследования динамики массовой доли влаги и активности воды в различных частях пряника – в выпеченном полуфабрикате и в начинке в процессе хранения в течение 3,5 месяцев (Рисунок 2).

Оценка влияния различных видов модифицированного крахмала на скорость процессов влагопереноса проведена на основе рассчитанных коэффициентов диффузии.

Процессы разрушения внутренней структуры изделия, связанные с ретроградацией крахмала, приводят к резкому уменьшению массовой доли влаги и «черствению» сырцовых пряников (Рисунок 3).

Массовая доля влаги выпеченного полуфабриката под сахарной глазурью пряников с фруктовой начинкой, изготовленных с модифицированным крахмалом E 1442, E 1422, E 1412 постепенно снижается от 12,8 до 6,1% по средним значениям массовой доли влаги в изделии, что составляет около 50% относительных потерь после 3,5 месяцев хранения.

Высвобождение связанной влаги в результате ретроградации крахмала

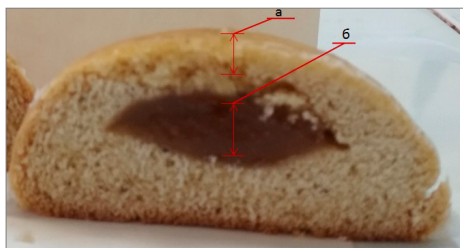


Рисунок 2. Сырцовый пряник с фруктовой начинкой, глазированный сахарной глазурью, упакованный в полипропиленовую пленку: а- выпеченный полуфабрикат, б-начинка.

формирует благоприятные условия для роста микроорганизмов в пряниках. Поскольку распространение плесеней происходит очень быстро как с помощью многочисленных спорангиоспор, так и благодаря быстрому росту гиф, то микробиологические показатели в таком случае могут достигать высоких значений по содержанию плесеней – 10^3 КОЕ/г и более, что значительно превышает требования ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» – не более 50 КОЕ/г (Шлегель, 1987, с. 164).

При температурном воздействии при выпечке гибнут вегетативные клетки бактерий и грибов. Для прогнозирования сроков годности пряников важно содержание спорообразующих бактерий и грибов (плесеней), споры которых более устойчивы к воздействию тепла. При их отсутствии и низком содержании основным результатом порчи является черствение пряников или других мучных кондитерских изделий с промежуточной влажностью. При дальнейшем хранении таких изделий свободная влага мигрирует через упаковку в окружающую среду, а изделия быстро черствеют.

Наступление периода ретроградации крахмала различных мучных кондитерских изделий зависит от рецептурного состава изделий, прежде всего,

от качественного и количественного состава влагоудерживающих компонентов.

На 6–8 неделях хранения пряников происходит увеличение активности воды выпеченного полуфабриката, сопровождающееся уменьшением массовой доли влаги этой части пряников и их последующим «черствением» после 2,5 месяцев хранения (Рисунок 4).

Показатель активности воды выпеченного полуфабриката пряников с фруктовой начинкой, изготовленных с модифицированным крахмалом Е 1442, Е 1422, Е 1412 снижается от 0,76 до 0,66 по средним значениям активности воды в изделии по истечении четырнадцати недель хранения.

Увеличение показателя активности воды на 0,03–0,06 благоприятно для роста микробиоты за счет прорастания спор (Labuza, 1980, с. 37–39). Поскольку плесени растут при активности воды от 0,7 и выше, то на этом этапе хранения риск плесневения поверхности пряников очень высокий.

Ослабление влагоудерживающих свойств выпеченного полуфабриката приводит к значительным изменениям показателей качества начинки, таких как массовая доля

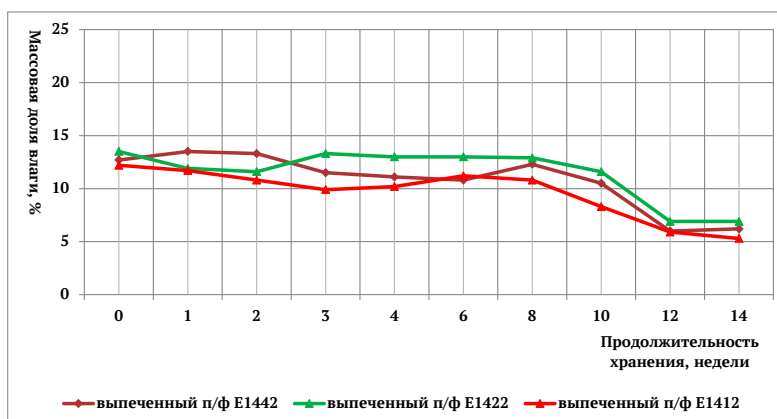


Рисунок 3. Изменение массовой доли влаги выпеченного полуфабриката в процессе хранения сырцового пряника с фруктовыми начинками на основе модифицированного крахмала.

влаги и активность воды, которые существенно уменьшились после 2,5 месяцев хранения сырцовых пряников.

Для дополнения схемы процессов влагопереноса в пряниках с фруктовой начинкой исследовано изменение показателей влагопереноса фруктовой начинки на основе различных видов модифицированного крахмала в составе целого изделия (Рисунки 5, 6).

Массовая доля влаги начинки в процессе хранения пряников, изготовленных с использованием модифицированных крахмалов Е 1442, Е 1422, Е 1412 снижается от 22,0 до 8,1% по средним значениям массовой доли влаги в изделии, что составляет около 60% относительных потерь после 3,5 месяцев хранения. При этом потери влаги в начинке, изготовленной с крахмалом, этерифицированным комбинацией фосфатных и гидроксипропильных групп, значительно меньше

– в 2–2,5 раза, чем при использовании крахмалов, этерифицированных фосфатными группами или ацетильными группами.

Одним из показателей для прогнозирования срока годности кондитерских изделий с промежуточной влажностью, позволяющим оценить скорость потери влаги, является коэффициент диффузии.

Процессы массопереноса происходят по различным направлениям и в общем виде в соответствии со вторым законом Фика могут быть представлены следующей математической формулой:

$$q = D \left(\frac{\delta^2 c}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 c}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 c}{\delta z^2} \right) dx dy dz dr, \quad (1)$$

где q – скорость неустановившегося потока;
 D – коэффициент молекулярной диффузии;
 c – концентрация, г/м³.

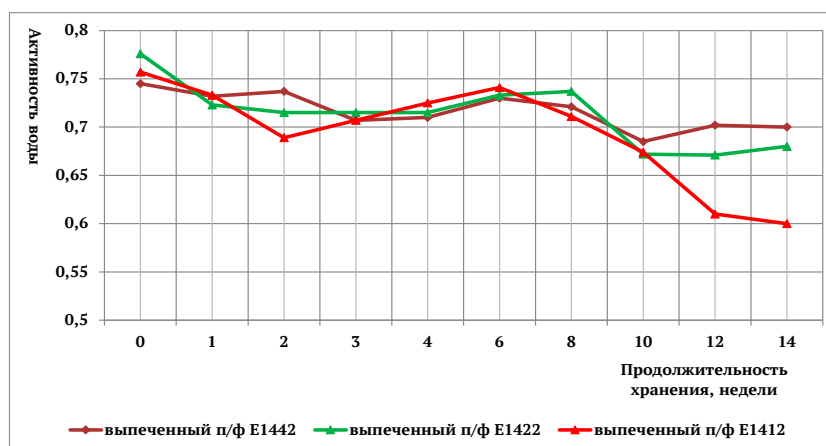


Рисунок 4. Изменение активности воды выпеченного полуфабриката в процессе хранения сырцового пряника с фруктовыми начинками на основе модифицированного крахмала.

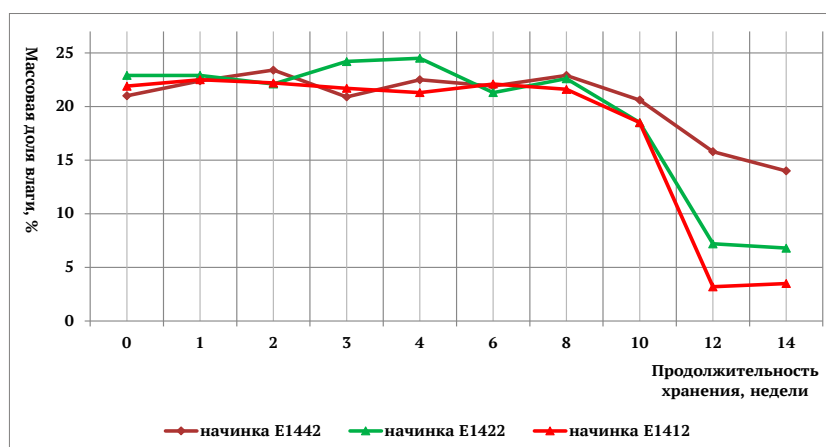


Рисунок 5. Изменение массовой доли влаги фруктовой начинки в процессе хранения сырцового пряника.

Скорость молекулярной диффузии в соответствии с первым законом Фика пропорциональна градиенту концентраций:

$$F = -D \frac{dc}{dx} \approx \frac{c_2 - c_1}{l}, \quad (2)$$

где F – скорость потока (расход) проникающего вещества;
 D – коэффициент молекулярной диффузии;
 l – толщина пленки, мкм.

Скорость влагопереноса F определяется количеством влаги q , перемещаемой через единицу поверхности A за время t , т.е. $F = q/At$.

Скорость влагопереноса также может быть определена как отношение количества вещества dQ , продиффундировавшего через единицу поверхности в единицу времени и зависит от градиента концентраций dc/dx :

$$F = \frac{DQ}{Ad\tau}, \quad (3)$$

где A – площадь поверхности, нормальной к направлению диффузии.

Важнейшей характеристикой упаковочных материалов является их паропроницаемость P , определяемая как произведение коэффициентов диффузии и растворимости:

$$P = DS \frac{ql}{At\Delta p}, \quad (4)$$

где $\Delta p = p_2 - p_1$;
 S – площадь поверхности, м²;
 l – толщина пленки, мкм.

Поскольку коэффициент паропроницаемости сочетает в себе влияние коэффициента диффузии и коэффициента растворимости, то этот коэффициент является индикатором барьерных характеристик полимера по отношению к рассматриваемому веществу. Коэффициент паропроницаемости (K_n) для полипропиленовой пленки составляет 340 см³·см / м²·сут · атм (Зелке, Кутлер, Хернандес, 2011, с. 448).

Преобразуя уравнения 2 и 3, получим:

$$\frac{dQ}{Ad\tau} = -D \frac{c_2 - c_1}{l}, \quad (5)$$

Коэффициент молекулярной диффузии через полипропиленовую пленку определяется по формуле (6):

$$D \approx - \frac{\Delta Q \times l}{A \times \Delta \tau \times (c_2 - c_1)}, \quad (6)$$

где ΔQ – количество продиффундировавшей влаги, г;
 A – площадь поверхности, м²;
 $\Delta \tau$ – длительность процесса влагопереноса, с;
 c_2 – содержание влаги в паровой фазе окружающего воздуха, г/м³;
 c_1 – содержание влаги в паровой фазе в упаковке изделия, г/м³.

При данной температуре и давлении возникающая скорость массопереноса q пропорциональна только градиенту концентраций, который условно принимаем направленным перпендикулярно поверхности изделий и упаковки (Кафаров, 1962, с. 200-201).

С учетом геометрических размеров упаковки сырцовых пряников с фруктовой начинкой, изготовленной с использованием таких

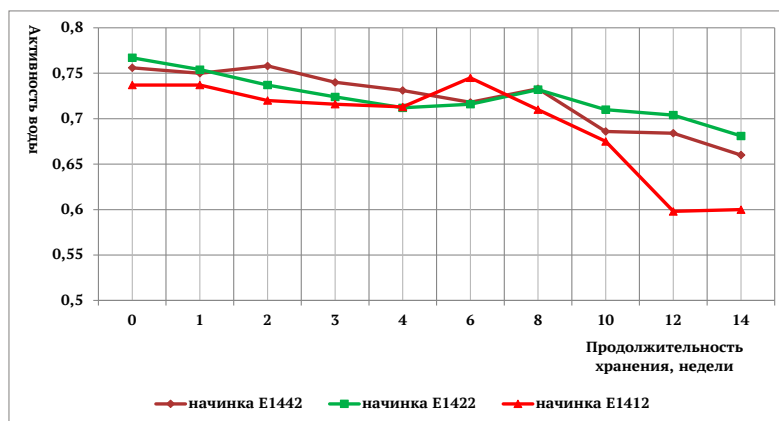


Рисунок 6. Изменение активности воды фруктовой начинки в процессе хранения сырцового пряника.

влагоудерживающих добавок после 2-х месяцев хранения, рассчитаны коэффициенты диффузии (Таблица 2).

Таблица 2

Коэффициенты диффузии сырцовых пряников с фруктовой начинкой на основе различных видов модифицированного крахмала

Модифицированный крахмал для изготовления начинки	Коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с} \times 10^{-8}$
E 1442 (Thermtext)	1,097
E 1422 (Purity)	1,145
E 1412 (Instanttextaid A)	1,358

Скорость процесса влагопереноса минимальна для изделий, изготовленных с использованием крахмала E 1442, о чем свидетельствует наименьший коэффициент диффузии 1,097. Это подтверждает ранее сделанный вывод о том, что использование крахмала с комбинацией фосфатных и гидроксипропильных групп позволяет уменьшить скорость влагопереноса и, таким образом, прогнозировать увеличение срока годности.

Для разработки схемы прогнозирования сохранности сырцовых пряников с фруктовой начинкой целесообразно представление модели процесса в виде совокупности подсистем (блоков). Это позволяет представить процедуру построения указанной схемы как совокупность операций, т.е. реализовать блочный принцип построения.

Каждый блок может иметь различную степень детализации математического описания. Входные и выходные переменные блоков должны находиться во взаимном соответствии (Рисунок 7).

При практическом использовании блочного принципа в математическом описании каждого блока на разных уровнях детализации применяются эмпирические соотношения.

Важнейшим фактором управления такими

процессами является использованная упаковка. Правильное обоснование вида использованного полимера и толщины пленки позволяет минимизировать скорость процессов влагопереноса и обеспечить стабильность качественных характеристик кондитерских изделий в процессе их хранения. Оценка данного фактора является одним из дальнейших направлений исследования.

Заключение

Проведены исследования влияния свойств различных видов модифицированного крахмала в составе начинки сырцовых пряников на их сохранность. Рассчитаны коэффициенты диффузии сырцовых пряников с фруктовой начинкой на основе различных видов модифицированного крахмала, которые составили для крахмала с этерифицированными фосфатными группами (E 1412) – $1,358 \text{ м}^2/\text{с} \times 10^{-8}$, для крахмала с ацетильными группами (E 1422) – $1,145 \text{ м}^2/\text{с} \times 10^{-8}$ и с комбинацией фосфатных и гидроксипропильных групп (E 1442) – $1,097 \text{ м}^2/\text{с} \times 10^{-8}$.

Предложена схема прогнозирования сохранности пряников с фруктовой начинкой на основе результатов исследования процессов влагопереноса и характеристик влагоудерживающих добавок (модифицированный крахмал), которая представлена в виде совокупности подсистем с указанием контролируемых показателей изделий, окружающей среды и упаковки, оказывающих влияние на скорость влагопереноса. Полученные результаты позволяют прогнозировать риски плесневения пряников с фруктовой начинкой в процессе их хранения. Использованный подход можно использовать для прогнозирования сохранности различных групп кондитерских изделий с промежуточной влажностью, таких как бисквиты, рулеты, пряники и др.



Рисунок 7. Схема прогнозирования сохранности сырцовых пряников с фруктовой начинкой.

Литература

- Кондитерский рынок России в 2018 году – лучший год после кризиса. URL: http://cikr.ru/news/?ELEMENT_ID=604 (дата обращения: 28.01.19).
- Срок годности пищевых продуктов. Расчет и испытание / Под ред. Р. Стеле. СПб.: ИД «Профессия», 2008. 480 с.
- Kuznetsova L. A study of factors which influence mould spoilage in flat (Sourdough) bread // *Agronomy Research*, IET. 2017. Vol. 15. No. 2. P. 1348-1357.
- Кондратьев Н.Б. Оценка качества кондитерских изделий. Повышение сохранности кондитерских изделий. М.: Изд. «Перо», 2015. 250 с.
- Dorina A.T., Ognean M., Ognean C.F. Effects of Some Sweeteners on Gingerbread Properties – Water Sorption // *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2014. Vol. 20. No. 1. P. 21-25.
- Cropotova J. Influence of different hydrocolloids on physicochemical and heat-stable properties of fruit fillings // *Food Technology, AUDJG*. 2013. Vol. 37. No. 2. P. 59-67.
- Pereira A. Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete Waste // *Journal of Materials Research*. 2017. Vol. 20. No. 3. P. 411-420.
- Cervenka L., Rezkova S., Kralovsky J. Moisture sorption characteristics of gingerbread, a traditional bakery product in Pardubice Czech Republic // *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 84. P. 601-607.
- Кондратьев Н.Б., Казанцев Е.В., Петрова Н.А., Осипов М.В., Святославова И.М. Влияние свойств упаковки на изменение влажности сырьевых пряников с фруктовой начинкой // *Пищевая промышленность*. 2018. № 11. С. 16-18.
- Жушман А.И. Модифицированные крахмалы. М.: Изд. «Пищепромиздат», 2007. 234 с.
- Бойко Б.Н., Думская Н.С., Черных В.Я., Годунов О.А. Исследование термодинамики процессов взаимодействия биополимеров растительных порошков с водой // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2017. № 6. С. 21-24.
- Осипов М.В., Н.Б. Кондратьев, Е.В. Казанцев, О.С. Руденко, П.А. Семенова. Влияние модифицированного крахмала на влагоудерживающую способность начинок в пряниках // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 1. С. 57-59.
- Razak R.A., Karim R., Sulaiman R., Hussain N. Effects of different types and concentration of hydrocolloids on mango filling // *International Food Research Journal*. 2018. Vol. 25. No. 3. P. 1109-1119.
- Neelam K., Vijay S., Singh L. Various techniques for the modification of starch and the applications of its derivatives // *International research journal of pharmacy*. 2012. Vol. 3. No. 5. P. 25-31.
- Соломина Л.С., Соломин Д.А., Варицев П.Ю. Расширение ассортимента модифицированных крахмалов холодного набухания // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2016. № 8. С. 27-35.
- Национальный центр биотехнологической информации США, база данных химических соединений и смесей. URL: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24847848n> (дата обращения: 17.08.19).
- Saha D., Bhattacharya S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review // *Journal of food science and technology*. 2010. Vol. 47. No. 6. P. 587-597.
- Коптелова Е.К., Лукин Н.Д. Нативные и модифицированные крахмалы для улучшения качества мучных кондитерских изделий // *Кондитерское производство*. 2013. № 6. С. 17-18.
- Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б. Влияние свойств структурообразователей на прочность кондитерских масс // *Пища. Экология. Качество. Итоги прошлого и перспективы будущего: материалы докладов XV международной научно-практической конференции*. Новосибирск: ФГБУН СФНЦА РАН, 2018. С. 252-256.
- Neelam K., Vijay S., Singh L. Various techniques for the modification of starch and the applications of its derivatives // *International research journal of pharmacy*. 2012. Vol. 3. No. 5. P. 25-31.
- Nautiyal O. Hydrocolloids, Modified Hydrocolloids as Food Recipes and Formulating Agents // *Journal Food Processing and Technology*. 2011. Vol. 2. No. 2. P. 1-6.
- Шлегель Г. Общая микробиология. М.: Изд. «Мир», 1987. 567 с.
- Labuza T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration // *Food Technology*. 1980. No. 4. P. 36-41.
- Зелке С., Кутлер Д., Хернандес Р. Пластиковая упаковка. СПб.: Профессия, 2011. 560 с.
- Кафаров В.В. Основы массопередачи. Системы газ-жидкость, пар-жидкость, жидкость-жидкость. М.: Изд. «Высшая школа», 1962. 656 с.

Research of the Moisture Transfer Processes in Gingerbread with Fruit Filling Produced using Various Types of Modified Starch

Nikolay B. Kondratyev

*VNIIPK is a branch of FGBNU "FNTS of food systems named after. V.M. Gorbato" RAS
p.3, bld. 20 Elektrozavodskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: conditerpromnbk@mail.ru*

Egor V. Kazancev

*VNIIPK is a branch of FGBNU "FNTS of food systems named after. V.M. Gorbato" RAS
p.3, bld. 20 Elektrozavodskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: maxvosipov@yandex.ru*

Maksim V. Osipov

*VNIIPK is a branch of FGBNU "FNTS of food systems named after. V.M. Gorbato" RAS
p.3, bld. 20 Elektrozavodskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: maxvosipov@yandex.ru*

Natalya A. Petrova

*VNIIPK is a branch of FGBNU "FNTS of food systems named after. V.M. Gorbato" RAS
p.3, bld. 20 Elektrozavodskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: conditerprom_lab@mail.ru*

Oksana S. Rudenko

*VNIIPK is a branch of FGBNU "FNTS of food systems named after. V.M. Gorbato" RAS
p.3, bld. 20 Elektrozavodskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: oxana0910@mail.ru*

Flour confectionery products with a shelf life of 1 month and more unstable are the most popular type of sweet among consumers. Gingerbread cookies are the second most popular type in this group of products – 16% in the structure of consumption according to the Federal State Statistics Service of the Russian Federation. The shelf life of raw gingerbread with filling depends on the speed of their microbiological spoilage, due to the intensity and direction of the moisture transfer processes. With a high rate of moisture migration, gingerbread cookies quickly become stale, and a low rate of moisture transfer processes increases the risk of mold. We studied the dynamics of changes in the mass fraction of moisture and water activity in various parts of raw gingerbread with filling – in baked semi-finished product and in filling during storage for 3.5 months. The effect of modified starches of three types was evaluated: esterified with phosphate groups (E 1412), acetyl groups (E 1422) and with a combination of phosphate and hydroxypropyl groups (E 1442) on the water-holding properties in fillings. Moisture losses in the filling made with starch esterified with a combination of phosphate and hydroxypropyl groups are much less – 2-2.5 times than when using starches esterified with phosphate or acetyl groups. The rate of the moisture transfer process for products made using different types of starch was calculated by the diffusion coefficient. It was revealed that the moisture transfer rate is minimal for starch E 1442, as evidenced by the lowest diffusion coefficient – 1.097. A scheme is proposed for predicting the preservation of raw gingerbread with a fruit filling based on the results of a study of moisture transfer processes and the characteristics of water-retaining additives (modified starch). The process diagram is presented as a set of subsystems with an indication of the parameters and factors affecting the rate of moisture transfer. The results obtained make it possible to predict the risks of moldiness of gingerbread with fruit filling during storage.

Keywords: confectionery; gingerbread; moisture transfer; mass fraction of moisture; water activity; modified starch; shelf life

References

- Konditerskiy rynek Rossii v 2018 godu – luchshiy god posle krizisa [The confectionery market of Russia in 2018 is the best year after the crisis]. URL: http://cikr.ru/news/?ELEMENT_ID=604 (accessed: 28.01.19).
- Srok godnosti pishchevykh produktov. Raschet i ispytaniye. Pod. red. R. Stele [Shelf life of food. Calculation and Testing. Ed. by R. Stele]. Saint-Petersburg: Professiya, 2008. 480 p.
- Kuznetsova L. Issledovaniye faktorov, vliyayushchikh na porchu pleseni v ploskom (zakvasochnom) khlebe. *Agronomicheskiye issledovaniya, IEPP*, 2017, vol. 15, no. 2, pp. 1348-1357.
- Kondratyev N.B. Otsenka kachestva konditerskikh izdeliy. Povysheniye bezopasnosti konditerskikh izdeliy [Evaluation of the quality of confectionery. Improving the safety of confectionery]. Moscow: Pero, 2015. 250 p.
- Dorina A.T., Ognean M., Ognean C.F. Effects of Some Sweeteners on Gingerbread Properties – Water Sorption. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 21-25.
- Kropotova J. Vliyaniye razlichnykh gidrokolloidov na fiziko-khimicheskiye i termostabilnyye svoystva fruktovykh nachinok. *Food Technology, AUDJG*, 2013, vol. 37, no. 2, pp. 59-67.
- Pereiraa A. Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete Waste. *Journal of Materials Research*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 411-420.
- Cervenka L., Rezkova S., Kralovsky J. Moisture sorption characteristics of gingerbread, a traditional bakery product in Pardubice Czech Republic. *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 84, pp. 601-607.
- Kondratyev N.B., Kazantsev E.V., Petrova N.A., Osipov M.V., Svyatoslavova I.M. Vliyaniye svoystv upakovki na izmeneniye vlazhnosti syrtsovykh pryanikov s fruktovoy nachinkoy [Influence of packaging properties on moisture variation of raw gingerbread with fruit filling]. *Pishcheyaya promyshlennost [Food industry]*, 2018, no. 11, pp. 16-18.
- Zhushman A.I. Modifitsirovannyye krakhmaly [Modified Starches]. Moscow: Izdatelstvo pishchevoy promyshlennosti, 2007. 234 p.
- Boyko B.N., Dumskaya N.S., Chernykh V.Ya., Godunov O.A. Issledovaniye termodinamiki protsessov vzaimodeystviya biopolimerov rastitelnykh poroshkov s vodoy [The study of the thermodynamics of the processes of interaction of biopolymers of plant powders with water]. *Khreneniye i pererabotka selkhozsyrya [Storage and processing of food production]*, 2017, no. 6, pp. 21-24.
- Osipov M.V., Kondratyev N.B., Kazantsev E.V., Rudenko O.S., Semenova P.A. Vliyaniye modifitsirovannogo krakhmala na vlagouderzhivayushchuyu sposobnost nachinok v pryanikakh [The effect of modified starch on the water-holding ability of fillings in gingerbread]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki [Bulletin of the Russian agricultural science]*, 2018, no. 1, pp. 57-59.
- Razak R.A., Karim R., Sulayman R., Khusseyn N. Vliyaniye razlichnykh tipov i kontsentratsiy gidrokolloidov na zapravku mango. *International Food Research Journal*, 2018, vol. 25, no. 3, pp. 1109-1119.
- Nilam K., Vidzhay S., Singkh L. Razlichnyye metodiki modifikatsii krakhmala i primeneniya yego proizvodnykh. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy farmatsevticheskiy zhurnal*, 2012, vol. 3, no 5, pp. 25-31.
- Solomina L.S., Solomin D.A., Varitsev P.YU. Rasshireniye assortimenta modifitsirovannykh krakhmalov kholodnogo nabukhaniya [Expanding the range of modified cold swelling starches]. *Khreneniye i pererabotka selkhozsyrya [Storage and processing of food production]*, 2016, no. 8, pp. 27-35.
- Natsionalnyy tsentr biotekhnologicheskoy informatsii SSHA, baza dannykh khimicheskikh soyedineniy i smesey [US National Center for Biotechnology Information, database of chemical compounds and mixtures]. URL: pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24847848n (accessed: 17.08.19).
- Saha D., Bhattacharya S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of food science and technology*, 2010, vol. 47, no. 6, pp. 587-597.
- Koptelova Ye.K., Lukin N.D. Nativnyye i modifitsirovannyye krakhmaly dlya uluchsheniya kachestva muchnykh konditerskikh izdeliy [Native and modified starches for improving the quality of flour confectionery products]. *Konditerskoye proizvodstvo [Confectionery production]*, 2013, no. 6, pp. 17-18.
- Kazantsev E.V., Kondratyev N.B. Vliyaniye svoystv strukturoobrazovateley na prochnost konditerskikh mass [The influence of the properties of structure-forming agents on the strength of the confectionery mass]. In *Pishcha. Ekologiya. Kachestvo. Itogi proshlogo i perspektivy budushchego: materialy dokladov XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Food. Ecology. Quality. Results of the past and future prospects: Collection of the reports of the XV International scientific and practical*

- conference]. Novosibirsk: FSBIPSC RAS, 2018, pp. 252-256.
- Neelam K., Vijay S., Singh L. Various techniques for the modification of starch and the applications of its derivatives. *International research journal of pharmacy*, 2012, vol. 3, no. 5, pp. 25-31.
- Nautiyal O. Hydrocolloids, Modified Hydrocolloids as Food Recipes and Formulating Agents. *Journal Food Processing and Technology*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 1-6.
- Shlegel G. Obshchaya mikrobiologiya [General Microbiology]. Moscow: Mir, 1987. 567 p.
- Labuza T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, 1980, no. 4, pp. 36-41.
- Zelke S., Kutler D., Khernandes R. Plastikovaya upakovka [Plastic packaging]. St. Petersburg: Profession, 2011. 560 p.
- Kafarov V.V. Osnovy massoperedachi. Sistemy gaz-zhidkost, par-zhidkost, zhidkost-zhidkost [Basics of mass transfer. Systems gas-liquid, steam-liquid, liquid-liquid]. Moscow: Vysshaya shkola, 1962. 656 p.