

ВЛИЯНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ НА ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ СВОЙСТВА ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

А.В. Паймулина¹, И.Ю. Потороко¹, Е. Иванишова²

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

² Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре, г. Нитра,
Словацкая Республика

В статье рассматривается возможность применения комплекса полисахаридов бурых водорослей, состоящего из фукоидана не менее 60 % и альгината натрия – 40 %. С целью сокращения длинных полисахаридных цепочек фукоидана был применен метод ультразвуковой микронизации (630 Вт/л, время экспозиции 30 минут). Целью работы являлось исследование влияния полисахаридного комплекса (ПК) в нативной и микронизированной форме на хлебопекарные свойства пшеничной муки. Использование ПК как в нативной, так и в микронизированной форме приводит к увеличению набухания и укреплению сырой клейковины. Максимальное значение массовой доли клейковины при использовании нативного ПК составляет 38,6 %, что больше массовой доли клейковины контрольного образца на 7,2 %. Внесение фукоидана и альгината натрия позволило заметно укрепить клейковину, что видно из полученных данных ИДК (на 5 ед.). Для исследования форм связи влаги в образцах клейковины проводили исследования методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии на приборе синхронного термического анализа STA 449 F1 Jupiter (NETZSCH, Германия). Скорость изменения температуры нагрева составляла 10 °С/мин, максимальная температура нагрева 493 К. Использование ПК оказало влияние на количество осмотически связанной влаги, так, при использовании нативного комплекса ее количество увеличилось на 70 %, а микронизированного – на 18 %. Количество полиадсорбционно связанной влаги увеличивается на 12 % для образца, полученного с использованием нативного ПК, и на 6 % для образца, полученного с использованием микронизированного. Количество адсорбционной влаги мономолекулярных слоев снизилось в 2 раза в образце клейковины с добавлением нативного ПК. За счет более быстрого проникновения воды в структуру белка и полисахаридного комплекса частично снизилось количество физико-механически связанной влаги в экспериментальных образцах (на 79 % при использовании нативной формы и на 13 % при использовании микронизированной формы).

Ключевые слова: фукоидан, альгинат натрия, полисахаридный комплекс, микронизация, ультразвук.

Введение

В настоящее время в совокупности с неблагоприятными факторами окружающей среды, несбалансированное питание, наличие вредных привычек, недостаточный уровень физической активности, а также частые длительные стрессы приводят к возникновению и развитию многих заболеваний. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 36 миллионов смертельных случаев от 57 миллионов всех зарегистрированных в мире в 2008 году (63 %), были вызваны неинфекционными заболеваниями, включая, прежде всего, сердечно-сосудистые заболевания (48 %), онкологические заболевания (21 %), хронические респираторные заболевания (12 %) и диабет (3,5 %). Одним из путей решения проблемы неинфекционных заболеваний является включение в рацион питания

диетических и лечебно-профилактических пищевых продуктов, содержащих в своем составе функциональные пищевые ингредиенты, благоприятно действующие на процессы обмена веществ в организме человека [1]. Особенно привлекательными продуктами для обогащения являются продукты массового спроса, к числу которых относятся хлеб и хлебобулочные изделия.

Одним из актуальных направлений в реализации процессов получения органической пищи является применение полисахаридов бурых морских водорослей в качестве адаптивных растительных ингредиентов [8].

При этом особого внимания заслуживает биологически-активный сульфатированный гетерополисахарид, обнаруженный в клеточных стенках бурых водорослей – фукоидан, содержащий редкий моносахарид α -L-фукозу.

В многочисленных публикациях показано, что фукоидан обладает широким спектром биологической активности, в том числе противоопухолевыми, антиоксидантными, иммуномодулирующими свойствами. При этом установлено, что величина биологического эффекта определяется именно тонкими деталями структуры полимера [12–15]. Являясь полисахаридом, фукоидан имеет очень большой молекулярный вес 100~1.000 kDa, что определяет его низкую биодоступность. В связи с этим возникает необходимость разрушить макромолекулы полисахарида.

Растворимые пищевые волокна – соли альгиновых кислот, источником которых являются растительные гидробионты и некоторые микроорганизмы, являются энтеросорбентами радионуклидов, солей тяжелых металлов и жирных кислот. Альгинаты представляют собой соли (натриевые, калиевые, кальциевые, магниевые и др.) альгиновой кислоты, полисахарида, молекулы которой построены из остатков уроновых кислот β -D-маннуроновой и α -L-гулууроновой, находящихся в пиранозной форме и связанных 1,4-связями. В пищевой промышленности чаще всего используются альгинат натрия (Е 401), альгинат калия (Е 402) и альгинат кальция (Е 404) в качестве загустителей, стабилизаторов и пеногасителей при производстве желе, мармелада, джема, мороженого и молочных продуктов [6, 9].

Часто альгинаты используют в качестве связывающих веществ при изготовлении продуктов фармации. Поэтому данный компонент может выступать в качестве носителя для доставки биологически-активного фукоидана до нижних отделов желудочно-кишечного тракта.

Безусловно, введение пищевых ингредиентов в рецептуру хлебобулочных изделий должно не только повышать их пищевую ценность, но и обеспечить необходимые потребительские свойства. По этой причине при разработке обогащенных хлебобулочных изделий необходимо отслеживать влияние вновь вводимых добавок на биохимические и технологические процессы. В связи с этим **целью работы** являлось исследование влияния полисахаридного комплекса (ПК), состоящего из фукоидана и альгината натрия, на хлебопекарные свойства пшеничной муки.

Объекты и методы исследования

В качестве обогатителя использовали БАД к пище «Фуколам-С-сырье» (Рег. № RU.77.99.11.003.Е.003.153.11.10). Сырьем для получения БАД является полисахаридный комплекс с содержанием фукоидана не менее 60 % и альгинат натрия – 40 % [2].

С целью сокращения длинных полисахаридных цепочек фукоидана в работе был применен метод ультразвуковой микронизации. Процесс микронизации полисахаридного комплекса осуществляли на аппарате ультразвуковом «ВОЛНА», модель УЗТА-0,63/22-ОМ (ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ» г. Бийск, 2017), предназначенного для интенсификации физико-химических процессов в системах с жидкой дисперсионной средой.

Образцы клейковины были получены путем отмывания теста из пшеничной муки 1 сорта, замешанного на питьевой воде (**образец 1**), а также на растворах нативного (**образец 2**) и модифицированного полисахаридного комплекса, обработанного ультразвуком мощностью 630 Вт/л, время экспозиции 30 мин, который добавляли в количестве 50 мг на 100 г муки (**образец 3**).

Количество клейковины определяли согласно ГОСТ 27839-2013. Качество клейковины пшеничной муки определяли по цвету, растяжимости и эластичности, а также на измерителе деформации клейковины ИДК-3 с погрешностью не более $\pm 2,5$ ед.

Для исследования форм связи влаги в образцах клейковины проводили исследования методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии на приборе синхронного термического анализа STA 449 F1 Jupiter (NETZSCH, Германия).

Применяемая для количественной обработки данных термоаналитическая кривая ДСК описывает изменения энтальпии, характеризующей тепловые эффекты химического воздействия и физических превращений. Скорость изменения температуры нагрева составляла 10 °С/мин, максимальная температура нагрева 493 К. С помощью аналогового цифрового преобразователя получали кривые в цифровой форме.

Для установления соотношения различных форм связи воды был применен метод обработки данных, включающий построение

Пищевые ингредиенты, сырье и материалы

кусочно-линейной функции $-lg\alpha = F(103/T)$. Для получения данных о механизме влагоудаления на основе определения температурного интервала и количества влаги, десорбируемой примерно с одинаковой скоростью, перестраивали кривую в координатах $[-lg\alpha; 103/T]$ с помощью пакета для анализа и обработки данных OriginPro 8.0 SR5.

Результаты и их обсуждение

Содержание в муке клейковины и ее характеристики можно рассматривать как один из основных показателей силы муки, так как качество и количество клейковины оказывает сильное влияние на газодерживающую, формоудерживающую и водопоглощающую способность теста, от которых, в свою очередь, зависят такие показатели качества хлеба, как его объем, форма, внешний вид, структура мякиша.

Проведено исследование влияния нативного и модифицированного полисахаридного комплекса на количество и качество клейковины пшеничной муки 1 сорта.

Из диаграммы (рис. 1) видно, что использование полисахаридного комплекса как в нативной так и в микронизированной форме ве-

дет к увеличению набухания клейковины. Об этом можно судить по увеличению выхода сырой клейковины. Максимальное значение массовой доли клейковины при использовании нативного полисахаридного комплекса составляет 38,6 %, что больше массовой доли клейковины контрольного образца на 7,2 %.

Внесение фукоидана и альгината натрия также позволило заметно укрепить клейковину, что видно из полученных данных измерителя деформации клейковины (ИДК). Результаты определения физических свойств сырой клейковины в пшеничной муке 1 сорта при добавлении нативного и микронизированного полисахаридного комплекса представлены в таблице.

Таким образом, использование ПК как в нативной, так и в микронизированной форме, приводит к увеличению набухания и укреплению сырой клейковины.

Для понимания причины увеличения выхода сырой клейковины был проведен термogravиметрический анализ, позволяющий установить соотношение в исследуемых объектах воды различных форм связи. Изменение соотношения свободной и связанной воды в клей-

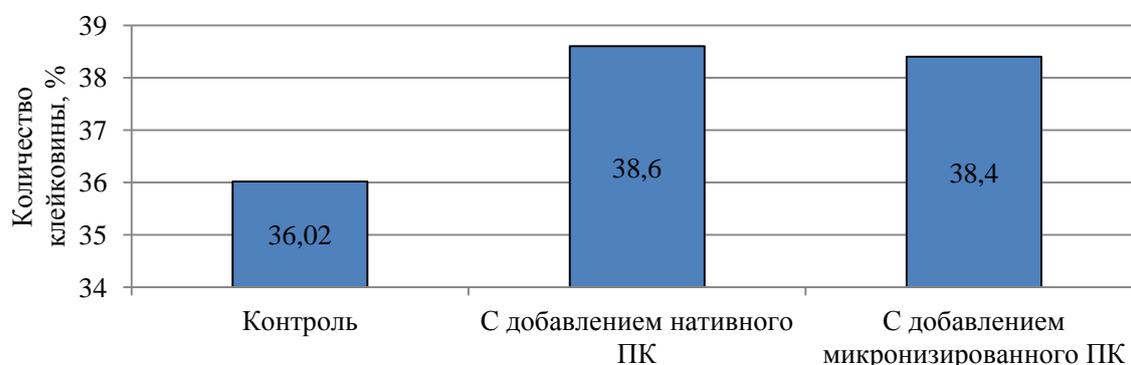


Рис. 1. Массовая доля сырой клейковины пшеничной муки 1 сорта при добавлении нативного и микронизированного полисахаридного комплекса

Влияние нативного и микронизированного полисахаридного комплекса на качество сырой клейковины пшеничной муки 1 сорта

Показатель	Контроль	С добавлением нативного ПК	С добавлением микронизированного ПК
Качество клейковины, ед. ИДК	75,4	80,5	80,3
Группа качества	I – хорошая	I – хорошая	I – хорошая
Растяжимость	14,2 см	17,0 см	15,5 см
Эластичность	Хорошая эластичность	Хорошая эластичность	Хорошая эластичность

ковине муки влияет на реологические свойства мякиша хлеба, а при хранении оказывает влияние на состояние свежести [3, 5, 10].

На рис. 2–4 представлены кривые изменения массы (ТГ) исследуемых образцов клейковины и энтальпии (ДСК), характеризующей тепловые эффекты химического воздействия и физических превращений. Все полученные кривые носили аналогичный характер и отличались величиной температурных зон, соответствующих испарению влаги с различной энергией связи [11, 16].

С целью получения зависимости степени изменения массы материала (степени превращения) α от температуры используется часть кривой изменения массы ТГ, соответствующей процессу дегидратации. Степень изменения массы α рассчитывается как отношение изменения массы материала:

$$\Delta m_{\text{общ}}: \alpha = \Delta m / \Delta m_{\text{общ}}$$

Для установления четких интервалов температур и получения данных о механизме влагоудаления используется кривая зависимости $(-\lg \alpha)$ от величины $10^3/T$ (рис. 5) [4, 7].

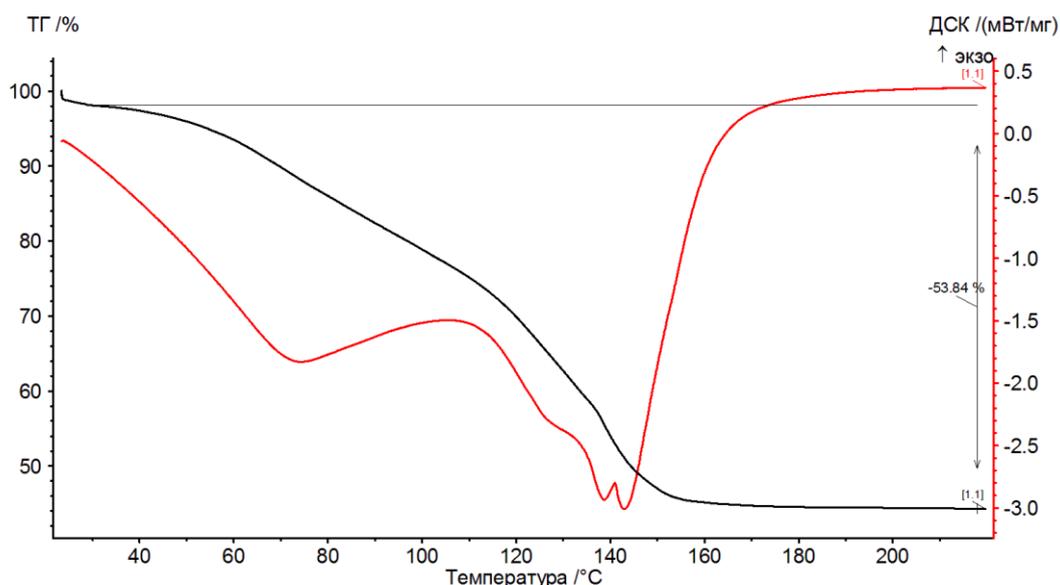


Рис. 2. Экспериментальные зависимости изменения массы контрольного образца клейковины ТГ и энтальпии ДСК

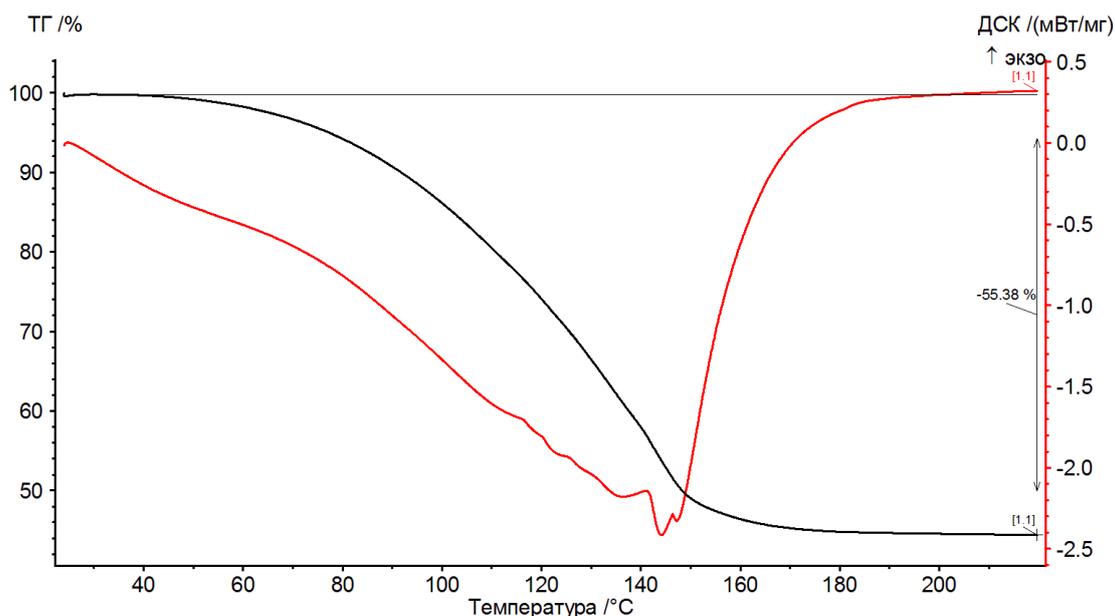


Рис. 3. Экспериментальные зависимости изменения массы образца клейковины ТГ и энтальпии ДСК с добавлением нативного полисахаридного комплекса

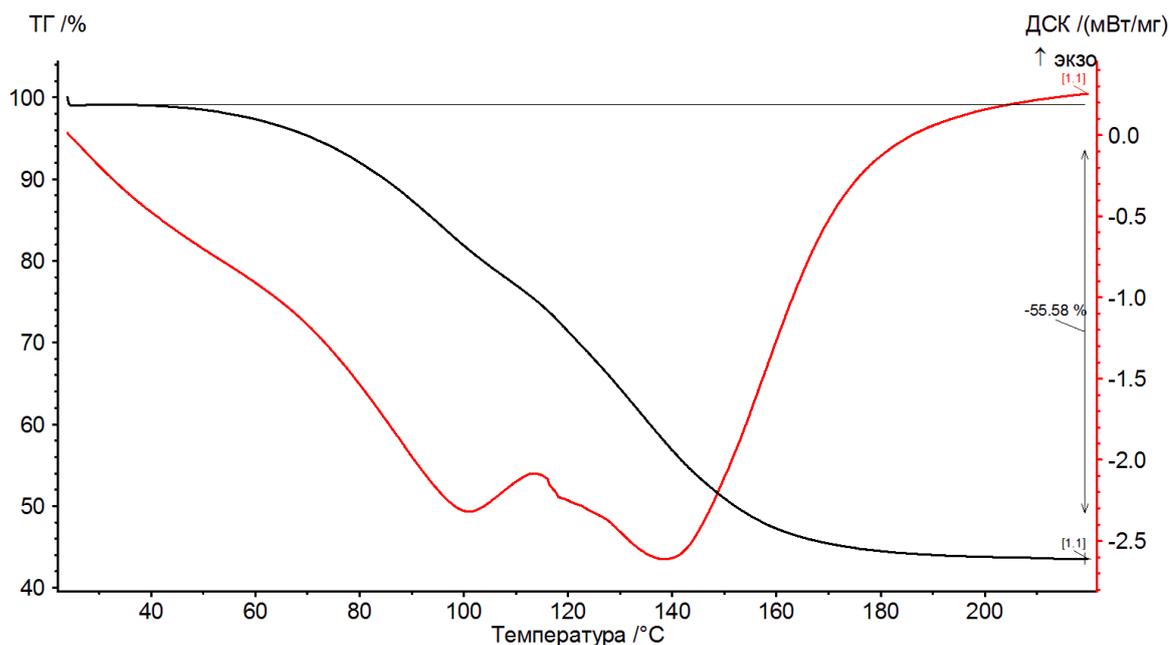


Рис. 4. Экспериментальные зависимости изменения массы образца клейковины ТГ и энтальпии ДСК с добавлением микронизированного полисахаридного комплекса

На каждом из полученных графиков можно выделить 6 линейных участков с различным углом наклона к оси абсцисс. Для этих участков был определен интервал температур, в котором процесс дегидратации протекает с приблизительно одинаковой скоростью, характерной для удаления из продукта влаги с определенной энергией связи:

- участок 1 – удаление свободной влаги;
- участок 2 – удаление физико-механически связанной влаги;
- участок 3 – удаление осмотически связанной влаги;
- участок 4 – удаление полиадсорбционно связанной влаги;
- участок 5 – удаление моноадсорбционно связанной влаги;
- участок 6 – удаление химически связанной влаги и деструкция образца.

На графиках видны существенные отличия в интервалах температур дегидратации в контрольном образце клейковины и в образцах клейковины с добавлением полисахаридного комплекса (как в нативной, так и в микронизированной форме).

Результаты изменения форм связи влаги в исследуемых образцах клейковины представлены на рис. 6.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что количественное соотношение влаги

различных форм связи в исследуемых образцах клейковины, замешанных с использованием полисахаридного комплекса (как в нативной, так и в микронизированной форме), имеет отличия, что в первую очередь, относится к свободной, осмотически, физико-механически и адсорбционно связанной влаге.

В контрольном образце клейковины по сравнению с опытными образцами преобладает полиадсорбционно, осмотически и физико-механически связанная влага. При этом в большом количестве содержится свободной воды (в 2,2–3,9 раз больше, чем в опытных образцах).

Белковые вещества связывают влагу преимущественно осмотически, при этом они обладают способностью в процессе тестоприготовления поглотить до 200 % воды к своей массе. Белковые вещества набухают при этом, увеличиваясь в объеме. Использование фукоидана и альгината натрия оказало влияние на количество осмотически связанной влаги, так, при использовании нативного полисахаридного комплекса ее количество увеличилось на 70 %, а микронизированного – на 18 %.

До настоящего времени некрахмальным полисахаридам не придавалось существенного значения. Однако, как показано недавними исследованиями, они способны повышать во-

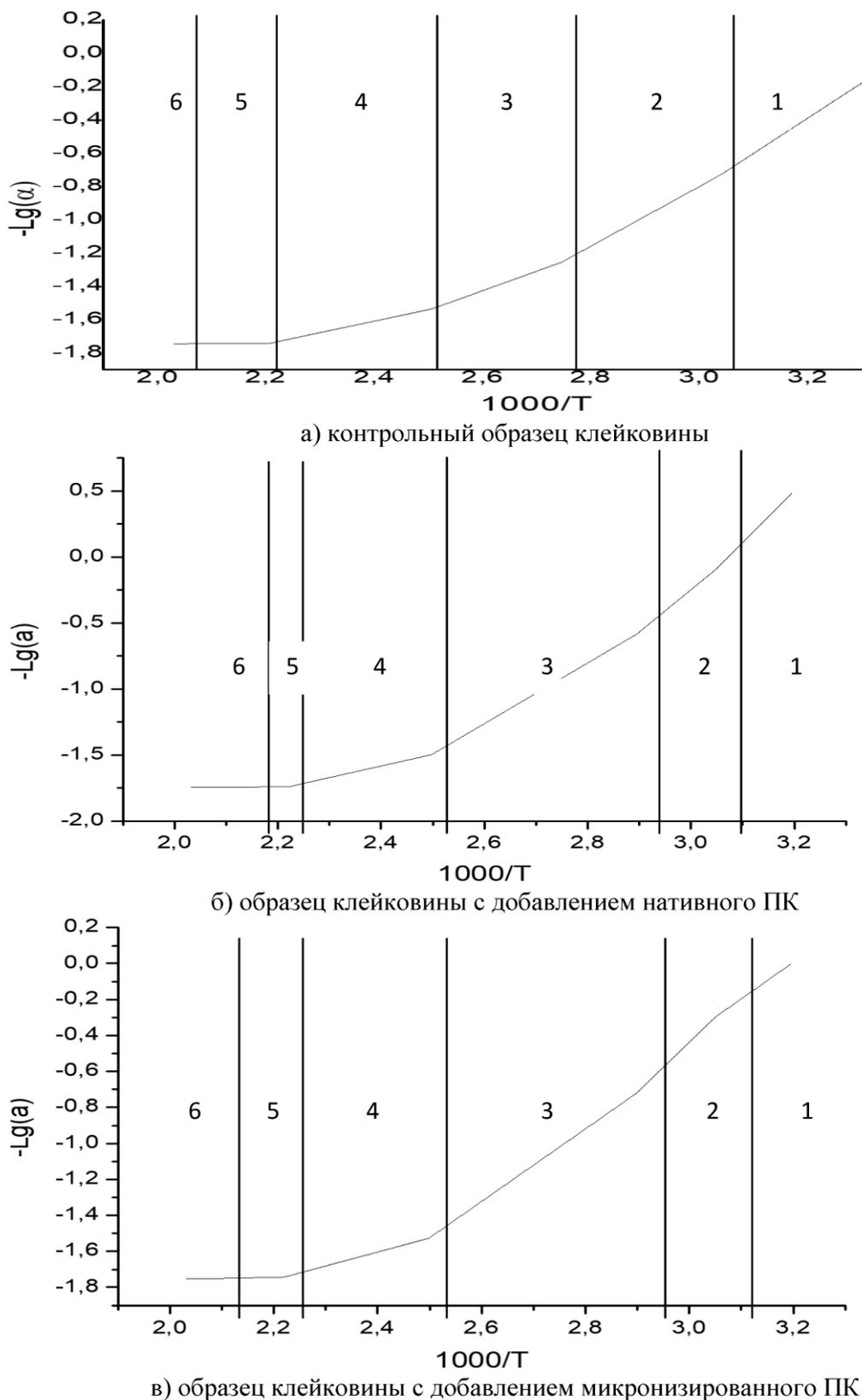


Рис. 5. Модель кусочно-линейной функции зависимости $-\lg a$ от величины $103/T$ при нагревании со скоростью $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$

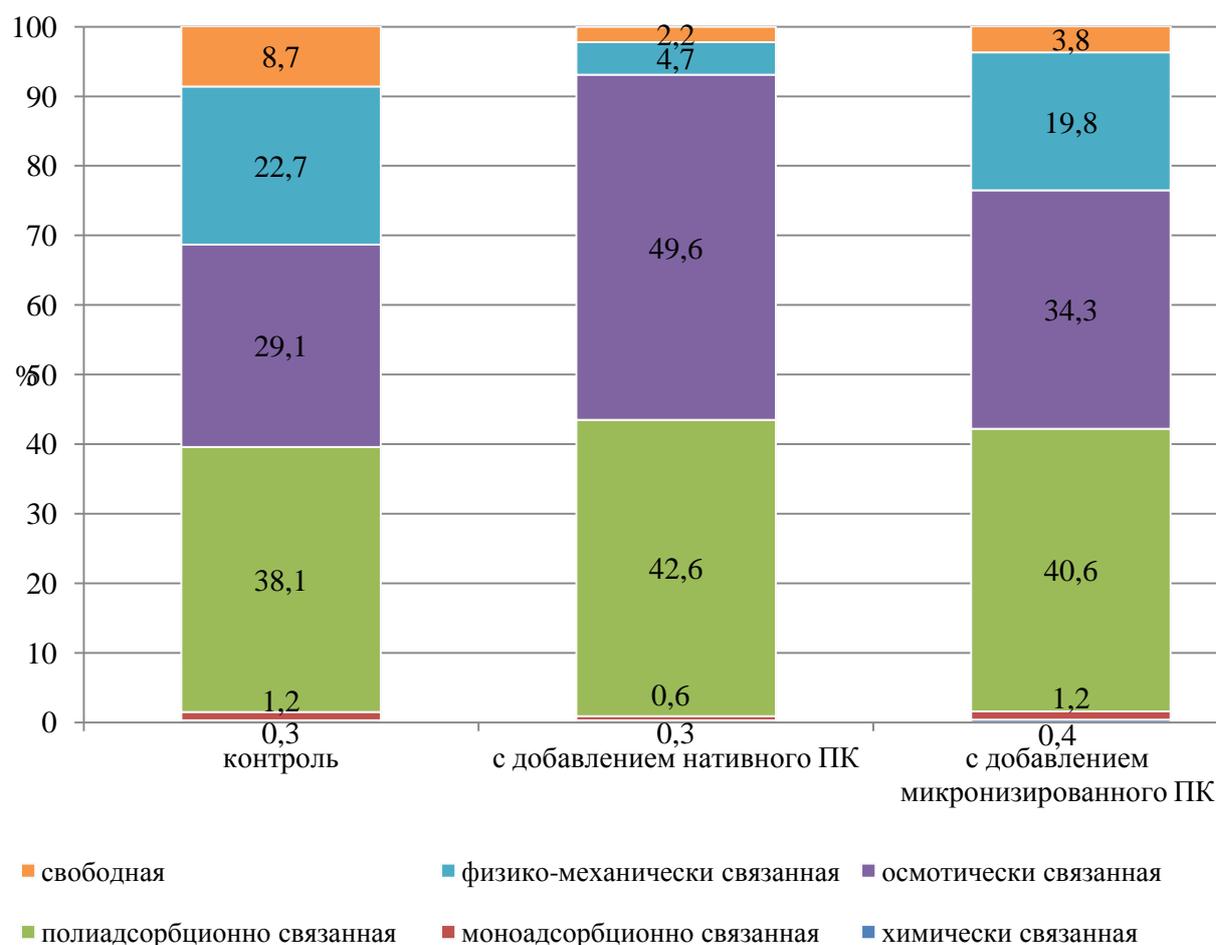


Рис. 6. Изменение форм связи влаги в исследуемых образцах клейковины

дополнительную способность муки и выход хлеба. Полисахариды связывают воду быстрее, чем белок, и в основном адсорбционно, а также микрокапиллярами. Они поглощают воду и внутримицеллярно, при этом осмотическое связывание влаги невелико.

Прирост адсорбционной влаги в образцах клейковины с полисахаридным комплексом может быть обусловлен увеличением общей водопоглотительной способности при внесении добавки, в результате чего гидратация фукоидана, на 3/4 поглощающего воду адсорбционно, как полисахарида, прошла более глубоко.

Количество полиадсорбционно связанной влаги увеличивается на 12 % для образца, полученного с использованием нативного полисахаридного комплекса, и на 6 % для образца, полученного с использованием микронизиро-

ванного. Количество адсорбционной влаги мономолекулярных слоев снизилось в 2 раза в образце клейковины с добавлением нативного полисахаридного комплекса.

За счет более быстрого проникновения воды в структуру белка и полисахаридного комплекса частично снизилось количество физико-механически связанной влаги в экспериментальных образцах (на 79 % при использовании нативной формы и на 13 % при использовании микронизированной формы).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что увеличение выхода сырой клейковины связано с тем, что фукоидан, являясь гетерополисахаридом, быстро связывает воду (в основном адсорбционно) и встраивается в белковую матрицу теста, задерживаясь в ее каркасе.

Литература

1. Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. – <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-action-plan/ru>.
2. Имбс, Т.Н. «Фуколам» – первая в России биологически активная добавка на основе фукоидана / Т.Н. Имбс, Т.Н. Звягинцева, С.П. Ермакова // Вестник ДВО РАН. – 2015. – № 6. – С. 145–149.
3. Калинина, И.В. Влияние добавки кедровой муки на формирование качества, сохранность и пищевую ценность хлебобулочных изделий: дис. ... канд. тех. наук / И.В. Калинина. – СПб, 2006. – 195 с.
4. Исследование форм связи влаги в хлебопекарных дрожжах методом термogravиметрического анализа / С.В. Лавров, Д.С. Кононов, И.А. Саранов, Н.Н. Лобачева // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 31–35. DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-31-35.
5. Науменко, Н.В. Влияние активированной воды на формирование качества и сохранность хлеба из пшеничной муки: дис. ... канд. тех. наук / Н.В. Науменко. – СПб, 2007. – 172 с.
6. Облучинская, Е.Д. Комплексное использование бурых водорослей / Е.Д. Облучинская // Рос. хим. ж. (Ж. рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2004. – Т. XLVIII, № 3. – С. 136–142.
7. Остриков, А.Н. Исследование форм связи влаги в растительно-мясной смеси на основе люпина, чечевицы и сублимированного мяса методом дифференциально-термического анализа / А.Н. Остриков, М.С. Напольских // Вопросы современной науки и практики. – Университет им. В.И. Вернадского, 2012. – №4 (42). – С. 335–339.
8. Потороко, И.Ю. Разработка технологии хлеба с лечебно-профилактическими свойствами на основе применения комплексной растительной добавки / И.Ю. Потороко, А.В. Паймулина, Д.Г. Ускова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 3. – С. 39–46. DOI: 10.14529/food160305.
9. Федянина, Л.Н. Разработка рецептуры хлеба функционального назначения с применением альгината натрия / Л.Н. Федянина, Е.С. Смертина, В.А. Лях // Хлебопродукты. – 8/2015. – С. 60–62.
10. Исследование форм связи влаги в рансе методом термogravиметрического анализа / С.В. Шахов, И.А. Саранов, А.К. Садибаев, и др. // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т. 81, № 1. – С. 27–31. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-27-31.
11. Юрчак, В.Г. Роль связанной воды при производстве и хранении хлеба / В.Г. Юрчак, Н.И. Берзина, И.М. Ройтер // ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта СССР. – 1988. – 24 с.
12. Haroun-Bouhedja, F. Relationship between sulfate groups and biological activities of fucans / F. Haroun-Bouhedja, M. Ellouali, C. Sinquin, C. Boisson-Vidal // Thrombosis Research. – 2000. – Vol. 100. – P. 453–459.
13. Huang, Y.C. Preparation and characterization of antioxidant nanoparticles composed of chitosan and fucoidan for antibiotics delivery / Y.C. Huang, R.Y. Li // Mar. Drugs. – 2014. – Vol. 12. – P. 4379–4398.
14. Jiao, G. Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae / G. Jiao, G. Yu, J. Zhang, H. Ewart // Mar. Drugs. – 2011. – Vol. 9. – P. 196–223.
15. Katayama, S. Immunomodulatory properties of highly viscous polysaccharide extract from the Gagome alga (*Kjellmaniella crassifolia*) / S. Katayama, T. Nishio, H. Kishimura // Plant Foods Hum. Nutr. – 2012. – Vol. 67, № 1. – P. 76–81.
16. Kumar, S. Thermogravimetry studies on ilmenite nitridation / S. Kumar, N. Krishnamurthy // Processing and Application of Ceramics. – 2014. – № 8(4). – P.179–183.

Паймулина Анастасия Валерияновна, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), aaaminaaa@mail.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Иванишова Ева, PhD, кафедра технологии и качества продукции, факультет биотехнологий и пищевых наук, Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре (г. Нитра, Словацкая Республика), eva.ivanisova@uniag.sk

Поступила в редакцию 7 августа 2019 г.

INFLUENCE OF BROWN ALGAE POLYSACCHARIDES ON THE BAKERY PROPERTIES OF WHEAT FLOUR

A.V. Paymulina¹, I.Yu. Potoroko¹, E. Ivanishova²

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia

The article considers the possibility of using a complex of brown algae polysaccharides, consisting of fucoidan of at least 60 % and sodium alginate – 40 %. In order to reduce the long polysaccharide chains of fucoidan, the method of ultrasonic micronization was used (630 W/l, exposure time 30 minutes). The aim of the work was to study the effect of the polysaccharide complex (PC) in native and micronized form on the baking properties of wheat flour. The use of PCs, both in native and in micronized form, leads to an increase in swelling and strengthening of raw gluten. The maximum mass fraction of gluten when using a native PC is 38.6 %, which is 7.2 % more than the mass fraction of gluten of the control sample. The introduction of fucoidan and sodium alginate significantly strengthened gluten, as can be seen from the obtained IDC data (by 5 units). To study the forms of moisture bonding in gluten samples, differential scanning calorimetry and thermogravimetry studies were performed on a STA 449 F1 Jupiter synchronous thermal analysis device (NETZSCH, Germany). The rate of change of the heating temperature was 10 °C/min, the maximum heating temperature was 493 K. Using a PC had an effect on the amount of osmotically bound moisture, so when using a native complex, its amount increased by 70 %, and micronized – by 18 %. The amount of polyadsorption bound moisture is increased by 12 % for the sample obtained using native PC, and by 6 % for the sample obtained using micronized. The amount of adsorption moisture of the monomolecular layers decreased by 2 times in the gluten sample with the addition of native PC. Due to the faster penetration of water into the structure of the protein and polysaccharide complex, the amount of physically-mechanically bound moisture in experimental samples partially decreased (by 79 % when using the native form and by 13 % when using the micronized form).

Keywords: fucoidan, sodium alginate, polysaccharide complex, micronization, ultrasound.

References

1. *Global'nyy plan deystviy po profilaktike neinfektsionnykh zabolevaniy i bor'be s nimi na 2013–2020 gg.* [Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–20]. Available at: <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-action-plan/ru>.
2. Imbs T.N., Zvyagintseva T.N., Ermakova S.P. [«Fukolam» – the first food supplement based on fucoidan in Russia]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Vestnik of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences], 2015, no. 6, pp. 145–149. (in Russ.)
3. Kalinina I.V. *Vliyanie dobavki kedrovoy muki na formirovanie kachestva, sokhranyaemost' i pishchevuyu tsennost' khlebobulochnykh izdeliy* [The influence of cedar flour additives on the formation of quality, shelf life and nutritional value of bakery products]. St. Petersburg, 2006. 195 p.
4. Lavrov S.V., Kononov D.S., Saranov I.A., Lobacheva N.N. The research of moisture forms in the baking yeast by the thermogravimetric analysis method. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2016, no. 4, pp. 31–35. (in Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-31-35.
5. Naumenko N.V. *Vliyanie aktivirovannoy vody na formirovanie kachestva i sokhranyaemost' khleba iz pshenichnoy muki* [The influence of activated water on the formation of quality and shelf life of wheat flour bread]. St. Petersburg, 2007. 172 p.
6. Obluchinskaya E.D. Integrated use of brown algae]. *Rossiyskiy Himicheskij Zhurnal. Zhurnal rossijskogo himicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva* [Russian Chemical Journal. Journal of the Russian Chemical Society D.I. Mendeleev], 2004, vol. XLVIII, no. 3, pp. 136–142. (in Russ.)

7. Ostrikov A.N., Napol'skikh M.S. [Differential Thermal Analysis for the Study of Bonds between Moisture of Vegetable-Meat Mixture Containing Lupin, Lentil and Sublimated Meat]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2012, no. 4 (42), pp. 335–339. (in Russ.)
8. Potoroko I.Yu., Paymulina A.V., Uskova D.G. The Technology of Bread with Health-Promoting Properties Based on the Use of a Complex Herbal Supplement. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 3, pp. 39–46. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160305
9. Fedyanina L.N., Smertina E.S., Lyakh V.A. [Functional bread formulation using sodium alginate]. *Khleboprodukty* [Khleboprodukty Publ.], 2015, no. 8, pp. 60–62. (in Russ.)
10. Shakhov S.V., Saranov I.A., Sadibaev A.K., Malibekov A.A., Litvinov E.V., Gruzdov P.V. The research of moisture forms in the rape by the thermogravimetric analysis method. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2019, vol. 81, no. 1, pp. 27–31. (in Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-27-31.
11. Yurchak V.G., Berzina N.I., Royter I.M. *Rol' svyazannoy vody pri proizvodstve i khraneni khleba* [Role of Bound Water in Bread Production and its Storage. Background Information]. 1988. 24 p.
12. Haroun-Bouhedja F., Ellouali M., Siquin C., Boisson-Vidal C. Relationship between sulfate groups and biological activities of fucans. *Thrombosis Research*, 2000, vol. 100, pp. 453–459. DOI: 10.1016/S0049-3848(00)00338-8
13. Huang Y.C., Li R.Y. Preparation and characterization of antioxidant nanoparticles composed of chitosan and fucoidan for antibiotics delivery. *Mar. Drugs*, 2014, vol. 12, pp. 4379–4398. DOI: 10.3390/md12084379
14. Jiao G., Yu G., Zhang J., Ewart H. Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae. *Mar. Drugs*, 2011, vol. 9, pp. 196–223. DOI: 10.3390/md9020196
15. Katayama S., Nishio T., Kishimura H. Immunomodulatory properties of highly viscous polysaccharide extract from the Gagome alga (*Kjellmaniella crassifolia*). *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2012, vol. 67, no. 1, pp. 76–81. DOI: 10.1007/s11130-011-0271-z
16. Kumar S., Krishnamurthy N. Thermogravimetry studies on ilmenite nitridation / S. Kumar. *Processing and Application of Ceramics*, 2014, no. 8(4), pp. 179–183. DOI: 10.2298/pac1404179k

Anastasia V. Paymulina, Master's Degree Student of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University (Chelyabinsk), aaaminaa@mail.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Eva Ivanishova, PhD, Department of Technology and Product Quality, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Slovak University of Agriculture in Nitra (Nitra, Slovakia), eva.ivanisova@uniag.sk

Received August 7, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Паймулина, А.В. Влияние полисахаридов бурых водорослей на хлебопекарные свойства пшеничной муки / А.В. Паймулина, И.Ю. Потороко, Е. Иванишова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 22–31. DOI: 10.14529/food190403

FOR CITATION

Paymulina A.V., Potoroko I.Yu., Ivanishova E. Influence of Brown Algae Polysaccharides on the Bakery Properties of Wheat Flour. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 22–31. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190403