

Антиоксидантные свойства функциональных пищевых ингредиентов, используемых при производстве хлебобулочных и молочных продуктов, их влияние на качество и сохраняемость продукции

Ирина Ю. Потороко	¹	irina_potoroko@mail.ru
Анастасия В. Паймулина	¹	aaaminaaa@mail.ru
Дарья Г. Ускова	¹	twins.23@mail.ru
Ирина В. Калинина	¹	melekira79@inbox.ru
Наталия В. Попова	¹	
Сонавейн Шириш	²	

¹ Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия

² Национальный технологический институт, Штат Телангана, г. Варангал, 506004, Индия

Реферат. Статья посвящена изучению антиоксидантной активности (АОА) пищевых ингредиентов (ПИ), содержащих фукоидан, используемых в качестве обогаителей хлебобулочных и молочных продуктов, и оценке их влияния на качество и сохраняемость изделий. Применение ПИ, обладающих АОА, в производстве продуктов питания позволит обеспечить их функциональность с точки зрения повышения устойчивости организма к неинфекционным заболеваниям. Объектами исследований являлся фукоидан различной чистоты от разных производителей, а также опытные образцы хлеба пшеничного и йогуртовых продуктов на основе восстановленного сухого молока. Оценка АОА ПИ на основе фукоидана показала, что суммарная концентрация антиоксидантов изменяется в значительном диапазоне от $(43,32 \pm 0,2)$ до $(69,17 \pm 0,2)$ мг аскорбиновой кислоты на 100 г. Также был определен эффект от внесения ПИ на органолептические и физико-химические показатели качества хлеба и йогуртового продукта в хранении. Использование ПИ в технологии хлеба способствует пролонгированию сроков его хранения. При этом отклонение значения показателя влажности снижается на 1,3%, пористость – на 1,4%. Кроме этого была изучена термостабильность фукоидана после выпечки хлеба. Остаточное содержание его составило $0,196 \pm 0,0015$ мг/г при внесении 0,2 г. Изучение влияния ПИ с фукоиданом на торможение процессов плесневения хлеба подтвердило сильные бактерицидные свойства фукоиданов, обусловленные высокой АОА. При хранении йогурта в течение 120 часов наблюдалось снижение активности наращивания титруемой кислотности, что возможно, обусловлено действием ПИ.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, кулонометрическое титрование, фукоидан, специализированные продукты питания, хлебобулочные изделия, хлеб, йогуртовый напиток, адаптогены, пищевые ингредиенты

The antioxidant properties of functional food ingredients used in the production of bakery and dairy products, their impact on quality and storageability of the product

Irina Yu. Potoroko	¹	irina_potoroko@mail.ru
Anastasiya V. Paimulina	¹	aaaminaaa@mail.ru
Daria G. Uskova	¹	twins.23@mail.ru
Irina V. Kalinina	¹	melekira79@inbox.ru
Nataliya V. Popova	¹	
Shirish Sonawane	²	

¹ South Ural State University, Lenina Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia

² National Institute of Technology, Telangana State, Warangal, 506004, India

Summary. The article is devoted to the study of antioxidant activity (AOA) food ingredients (FI) containing fucoidan used as dressers bakery and dairy products, and evaluate their impact on the quality and persistence of the products. The use of FI possessing AOA in food production will ensure their functionality from the point of view of increasing the resistance of the body to noninfectious diseases. Objects of research were fucoidan from different manufacturers, as well as experimental samples of bread wheat and yoghurt-based products restored dry milk. Evaluation of antioxidant activity of FI based on fucoidan showed that the total concentration of antioxidants varies in significant range from $(43,32 \pm 0,2)$ to $(69,17 \pm 0,2)$ mg of ascorbic acid per 100 g was Also determined the effect of any FI on the organoleptic and physico-chemical quality parameters of bread and yogurt product in storage. The use of FI in the technology of bread contributes to the prolongation of periods of storage. Thus the deviation values increased humidity decreases by 1.3%, porosity – by 1.4%. In addition, we studied the temperature stability of fucoidan after baking bread. The residual content of his made up $0,196 \pm 0.0015$ mg/g when introducing 0.2 g. study of the effect of FI with fucoidan on the inhibition of the processes of molding bread confirmed the strong bactericidal properties of fucoidans, due to the high AOA. During storage of yoghurt for 120 hours was observed decrease in the activity of capacity operated of acidity that may be due to the action of FI.

Keywords: antioxidant activity, coulometric titration, fucoidan, specialized food products, bakery, bread, yogurt drink, adaptogens, food ingredients

Для цитирования

Потороко И.Ю., Паймулина А.В., Ускова Д.Г., Калинина И.В., Попова Н.В., Шириш Сонавейн Антиоксидантные свойства функциональных пищевых ингредиентов, используемых при производстве хлебобулочных и молочных продуктов, их влияние на качество и сохраняемость продукции //Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 4. С. 143–151. doi:10.20914/2310-1202-2017-4-143-151

For citation

Potoroko I.Ju., Pajmulina A.V., Uskova D.G., Kalinina I.V., Popova N.V., Shirish Sonavejn The antioxidant properties of functional food ingredients used in the production of bakery and dairy products, their impact on quality and storageability of the product. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 4. pp. 143–151. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-4-143-151

Введение

Вопросы антиоксидантной активности (АОА) пищевых ингредиентов (ПИ), их количество и качество в продуктах питания в настоящее время приобретают новый этап интереса производителей. Раскрытие механизмов антиоксидантного действия на клеточные системы позволяет регулировать общий антиоксидантный статус организма человека, минимизировать негативное действие свободных радикалов. Доказано, что триггерным фактором развития неинфекционных заболеваний (НИЗ) человека является окислительный стресс (Европейское региональное бюро ВОЗ, Копенгаген, 2012), сопровождающийся повреждением белков, липидов и ДНК. Разработанный Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) документ «Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг.», указывает, что одним из рычагов в решении проблемы является рационализация питания, направленная на повышение устойчивости организма человека к действию стрессоров [2].

Среди свойств биологически активных ПИ выделенных из растений особое место отводится изучению АОА их экстрактов, так как предполагается, что высокая АОА вносит существенный вклад в их функциональные свойства. Антиоксиданты блокируют процесс окисления путем нейтрализации свободных радикалов, но при этом сами начинают подвергаться процессам окисления, а значит, существует необходимость восполнения окислительных ресурсов организма. В связи с чем, применение пищевых ингредиентов, обладающих антиоксидантными свойствами, в производстве хлебобулочных и молочных продуктов позволит обеспечить их функциональность с точки зрения повышения устойчивости организма к НИЗ. На наш взгляд, особый интерес представляет изучение возможности участия растворимых углеводов в нейтрализации окислительного стресса в качестве низкомолекулярных перехватчиков активных форм кислорода (АФК).

Выбор фукоидана в качестве функционального пищевого ингредиента обусловлен комплексностью его свойств и значительной доказательной базой в части исследований в этом направлении. Фукоиданы – это сульфатированные полисахариды, привлекающие внимание ученых из-за их антираковых, антитромбических, антикоагулянтных и антивирусных свойств. Установлено, что фукоиданы предохраняют растения, произрастающие на литорали, от высыхания и обеспечивают стабильность клеточных стенок. Благодаря своим антиоксидантным свойствам фукоиданы могут защищать растения в естественных условиях от стресса, вызванного флуктуациями температуры, света, солености воды и других факторов. Сульфатированные полисахариды являются пищевыми волокнами, поэтому их можно применять практически без ограничений, не вызывая заметных нежелательных реакций [7, 8, 14].

Непременным и часто главным компонентом молекул фукоидана служат остатки сульфатированной α -L-фукозы. В их составе обнаружены и другие моносахариды: галактоза, манноза, ксилоза, уроновые кислоты, а также ацетильные группы. Родственные биополимеры обнаружены в некоторых морских беспозвоночных (морских ежах и голотуриях), принадлежащих к типу иглокожих. Полисахариды животного происхождения содержат только фукозу и сульфатные группы, и, соответственно, представляют собой сульфатированные α -L-фуканы, построенные из повторяющихся тетрасахаридных блоков. В наземных организмах полисахариды, подобные фукоиданам, до сих пор не обнаружены [12, 13, 16]. Структурные характеристики и количество сульфатов (таблица 1) некоторых фукоиданов, выделенных из разных видов бурых водорослей, значительно различаются и, следовательно, могут обладать разной функциональностью.

Таблица 1.

Структурные характеристики некоторых фукоиданов бурых водорослей

Table 1.

Structural characteristics of some fucoidans of brown algae

Бурая водоросль Kelp	Моносахаридный состав / Monosaccharide composition Fuc: Glc: Gal: Man: Xyl: Ram: Glc A	Количество сульфатов Sulfur content	Источник Reference
Laminaria japonica	*1,0:0,07:0,37:0,09:0,14:0,02:0,21	*1,66	[11]
Undaria pinnatifida	*a) 1,0:0:0,77:0,04:0,03:0:0,33 *б) 1,0:0:0,87:0,03:0,04:0:0,12 *в) 1,0:0:1,76:0,04:0,08:0:0,17	*0,32 *1,12 *3,37	[17]
Undaria pinnatifida	*1,0:0:1,1:0:0:0:0	*0,72	[13]
Fucus evanescens	**a) 58,7:0:1,6:0:1,6:0:0 **б) 35,4:4:0:0,8:6,1:0:н.о **в) 10,7:1,1:3:3,7:17,4:0:15,6 **г) 33,2:0:4,5:3,5:8,1:0:28,9 **д) 34,0:5,4:0:3,8:0:32,5	**46,5 н.о **19,6 **28,9 **32,5	[9]

* – мольные отношения; ** – процентное содержание; н.о – не определено; *** – для этой фракции получен ЯМР-спектр [* – molar ratio; ** – percentage; n.d – not determined; *** – for this fraction of the received NMR]

Учеными доказана способность фукоидана бороться с агрессивными окислителями. Так в 2016 году корейские медики обнаружили, что это вещество при нанесении на кожу ускоряет производство кератиноцитов (клетки, составляющие наружный покров организма) и укрепляет эпидермис, снижая негативное воздействие ультрафиолетового излучения. В процессе перорального приема наблюдается положительная динамика выработки гемоксигеназы и супероксиддисмутазы, которые защищают внутриклеточное пространство от проникновения свободных радикалов, превращая их в обычные молекулы кислорода [15, 19–22].

Важную роль в антиоксидантной активности полисахаридов играет их молекулярная масса, причем способность блокировать свободные радикалы увеличивается с уменьшением молекулярной массы [18, 20]. Установлено, что АОА фукоиданов водоросли *Laminaria japonica* обусловлена комплексом факторов – величиной молекулярной массы, типом доминирующего сахара, степенью разветвления и общим содержанием сульфатных групп, а также содержанием глюкуроновой кислоты, фукозы и нейтральных сахаров [10, 18].

Следует отметить, что при обогащении продуктов питания, как правило, осуществляют модификацию традиционных рецептур за счет внесения пищевых ингредиентов. Таким образом, регулируется химический состав готовых изделий, а также их функциональные свойства. Применение гидробионтов, в частности водорослей, и извлеченных из них ингредиентов, становится весьма актуальным, особенно для регионов, удаленных от приморских и океанических акваторий.

Целью данного исследования являлось установление антиоксидантной активности ПИ, содержащих фукоидан, используемых в качестве обогатителей хлебобулочных и молочных продуктов, и оценка их влияния на качество и сохраняемость изделий.

Материалы и методы

Выбор объектов и методов эксперимента определен целью исследований.

На первом этапе исследований в качестве объектов использовали ПИ, содержащие фукоидан различной чистоты от разных производителей:

- ПИ № 1 – БАД к пище «Фуколам-С-сырье» (ТУ 9284–067–02698170–2010), разработанная учеными лаборатории химии ферментов Тихоокеанского института биоорганической химии (ТИБОХ) ДВО РАН по оригинальной технологии, защищенной патентом (Пат. № 2315487). Сырьем для получения БАД являются бурые

водоросли – фукус исчезающий (*Fucus evanescens*) с содержанием фукоидана не менее 60% и альгинаты, как адсорбенты и дополнительный источник йода;

- ПИ № 2 – БАД «FUCOID POWER-U», содержащая фукоидан морских бурых водорослей *Undaria pinnatifida* (мекабу) и *Laminaria japonica* (комбу) не менее 66%, разработанная компанией HAEWON BIOTECH, INC (Южная Корея);

- ПИ № 3 – опытные образцы фукоидана бурых водорослей, произведенные в лаборатории Далянского технологического университета.

На втором этапе исследований в производственной и исследовательской лабораториях кафедры «Пищевые и биотехнологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ) были получены опытные образцы:

Образец 1 – хлеб пшеничный из муки высшего сорта;

Образец 2 – йогуртовые продукты на основе восстановленного сухого молока и заквасок прямого внесения LYOBACYOYO (*Streptococcus salivarius* ssp. *Thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*).

При формировании рецептур хлеба и кисломолочных продуктов учитывались два аспекта:

- 1) рекомендуемая доза фукоидана для человека составляет 100 мг в сутки (Т.К. Каленик, Л.Н. Федянина, Е.С. Смертина, 2011) при суточной норме потребления хлеба 325–345 г., а молочных продуктов 500мл;

- 2) сохранение направленного биологического действия в отношении блокирования оксидативного стресса и улучшение потребительских достоинств полученных изделий [3, 6].

Для установления влияния фукоидана на сохраняемость обогащенных хлебобулочных и молочных продуктов в течение гарантированных сроков хранения (по МУК 4.2.1847-04) опытные образцы были заложены на хранение [5]. Условия хранения: для йогуртового продукта при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$, для хлеба при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не более 85%. Показатели качества йогурта контролировали через каждые 24 часа в течение всего регламентированного срока хранения. Оценку свежести хлеба проводили через 3, 24, 48 и 72 часа после выпечки. Качество контрольных и опытных образцов оценивали по регламентированным для хлебобулочных и кисломолочных продуктов показателям качества.

Для определения АОА фукоиданов был использован электрохимический метод кулонометрического титрования. В основе кулонометрических методов лежит закон Фарадея, устанавливающий

связь между массой электропревращенного вещества и количеством затраченного электричества [4]. В своей работе мы использовали универсальный прецизионный кулонометр «Эксперт-006-анти-оксиданты», разработанный и серийно выпускаемый НПК ООО «Эконикс-Эксперт», г. Москва, № 23192–02 в Госреестре СИ РФ средств измерений РФ [1].

Определение АОА пищевого ингредиента осуществляли по следующей методике.

1) Перед началом работы платиновые электроды выдерживали в 96% этаноле 30 мин., затем промывали дистиллированной водой. Рабочую поверхность стеклоуглеродного электрода зачищали механически.

Стандартный раствор аскорбиновой кислоты квалификации х.ч. готовили по точной навеске (0,05–0,1 г) и растворяли в 100 мл 96% этанола.

2) Подготовка образцов фукоидана – навеску 0,1 г образца растворяли в 10 мл дистиллированной воды, нагревали на водяной бане до 50°C, центрифугировали при 2000 об/мин в течение 10 мин. Для исследования брали надосадочную жидкость.

3) Электрогенерацию брома осуществляли при постоянной силе тока 50.0 мА или 5.0 мА из водных 0,2 М растворов калия бромистого в 0,1 М растворе серной кислоты. Конечную точку кулонометрического титрования определяли бипотенциометрически с двумя поляризованными игольчатыми платиновыми электродами ($\Delta E = 300$ мВ).

В ячейку объемом 50 см³ вводили 25,0 см³ фонового раствора, опускали электроды и включали генераторную цепь. По достижении определенного значения индикаторного тока в ячейку вносили аликвоту жидкого исследуемого образца (0,1 – 1,0 см³). Для титрования брали аликвоты с таким расчетом, чтобы время титрования не превышало 5 мин. Конечную точку титрования

фиксируют по достижению первоначального значения индикаторного потенциала.

Массу вещества рассчитывали по формуле:

$$m = \frac{QM}{nF}, \quad (1)$$

Где Q – количество электричества, Кл; M – молярная масса вещества, г/моль; n – число электронов, участвующих в реакции; F – постоянная Фарадея (96485,3415 Кл/моль).

Массовую долю влаги в хлебе определяли высушиванием навески изделий при температуре 130 °С в течение 40 минут; набухаемость мякиша (мл 1 г сухого вещества (СВ), определяли по количеству воды, поглощаемой мякишем хлебобулочных изделий за 5 минут; крошковатость, в%, по количеству крошки, образованной за 15 минут при встряхивании навески мякиша при скорости 190–250 оборотов/мин; пористость, в%, по средней массе пяти выемок прибором Журавлева.

Титруемую кислотность для образцов йогуртовых продуктов определяли по стандартным методам, активную кислотность потенциометрическим методом с помощью лабораторного иономера Анион-4101.

Исследования проводились в трехкратной повторности. Достоверность экспериментальных данных оценивали методами математической статистики с помощью приложения MSeXcel. Полученные данные приведены с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты и обсуждение

Оценка АОА пищевых ингредиентов на основе фукоидана (таблица 2) показала, что суммарная концентрация антиоксидантов изменяется в значительном диапазоне от (43,32 ± 0,2) до (69,17 ± 0,2) аскорбиновой кислоты на 100 г.

Таблица 2.

Показатели АОА пищевых ингредиентов, полученных на основе водорослей (n = 3, P = 0,95)

Table 2.

Indicators of antioxidant activity of food ingredients derived from algae (n = 3, P = 0,95)

№ п/п	Характеристика образцов функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ) Characterization of functional food ingredients	АОА, мг аскорбиновой кислоты на 100 г.
1	БАД «Фуколам-С-сырье» (<i>Fucus evanescens</i>), (доля фукоидана 60%), Россия, г. Владивосток	69,17
2	БАД «FUCOID POWER-U» (<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Laminaria japonica</i>), (доля фукоидана 66%), Южная Корея	59,59
3	Опытный образец фукоидана бурых водорослей, (доля фукоидана 90 ± 10%), КНР	43,32

Различия АОО пищевых ингредиентов, полученных на основе фукоидана, по-видимому, обусловлены чистотой добавки, а также структурными характеристиками водоросли-сырья. Как известно, альгинаты, входящие в состав БАД «Фуколам-С-сырье» и «FUCOIDPOWER-U», так же способны проявлять антиоксидантные свойства. Альгинаты в условиях *in vivo* способствуют нормализации биохимических показателей прооксидантных и антиоксидантных систем. На модели Fe^{2+} аскорбатиндуцированного перекисного окисления липидов мембран гепатоцитов было показано, что перечисленные полисахариды при энтеральном введении животным оказывают антиокислительное действие (Р.Ю. Хотимченко, 2015). Поэтому необходимы дополнительные исследования в части количественного содержания фукоидана в составе ПИ, на которые и будут обращены последующие работы.

В рамках исследования влияния фукоидана, входящего в состав ПИ, на качество и сохранность хлебоулочных и кисломолочных продуктов в данной работе применялся ПИ с фукоиданом бурых водорослей – страна производитель Китай (образец № 3), т. к. в соответствии с маркировочными данными он является наиболее чистым.

Образцы хлеба, выпеченные с применением ПИ на основе фукоидана, имели хорошие органолептические характеристики (рисунок 1): повышенный объем, развитую тонкостенную пористость, эластичный мякиш, быстро восстанавливающий первоначальную форму. Вкус и запах были выраженными, приятными, указывающими на интенсивное накопление вкусоароматических веществ.

В процессе хранения контрольных и опытных образцов (таблица 3) наибольшие изменения наблюдались в части показателей, характеризующих процессы черствения (потеря влаги, изменение пористости и состояние мякиша).

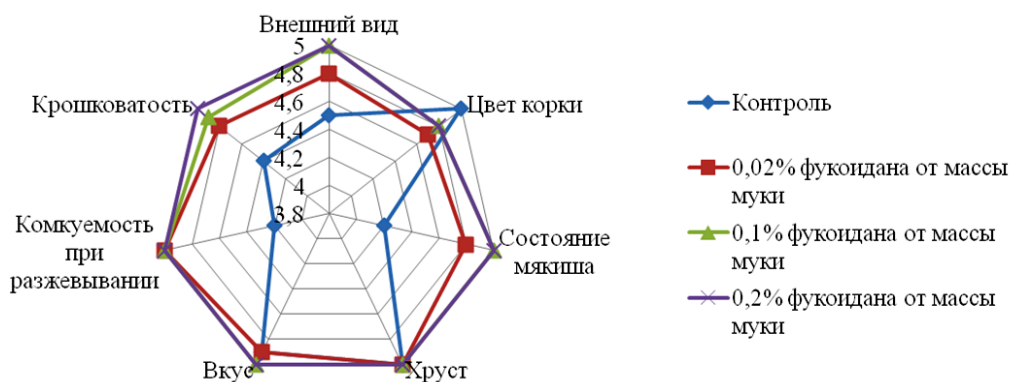


Рисунок 1. Профилограмма органолептических показателей опытных образцов хлеба с ПИ различной дозировки на основе фукоидана

Figure 1. Profilogram organoleptic properties of experimental samples of bread with different FI dosage based on fucoidan

Физико-химические показатели опытных образцов хлеба

Таблица 3.

Table 3.

Physico-chemical characteristics of experimental samples of bread

Наименование показателя Index	Норма согласно требованиям ГОСТ 31805–2012 Norm	3 часа хранения 3 h storage	24 часа хранения 24 h storage	48 часов хранения 48 h storage	72 часа хранения 72 h storage	Δ, %
<i>Контрольный образец</i> <i>Control</i>						
Влажность мякиша, % The moisture content of the crumb, %	19,0–48,0	39,9	39,2	37,4	35,1	-12,03
Кислотность мякиша, град. The acidity of the crumb, grad.	не более 4,0	1,1	1,1	1,1	1,1	–
Пористость мякиша, % The porosity of the crumb, %	не менее 65	75,9	74,8	73,6	73,0	-3,82
Крошковатость, % Friability, %	–	5,6	6,0	6,5	7,3	+23,29
Коэффициент набухаемости The coefficient of swelling	–	6,8	6,8	6,6	6,4	-5,88
<i>Образец хлеба с ПИ на основе фукоидана</i> <i>The sample of bread with FI on the basis of fucoidan</i>						
Влажность мякиша, % The moisture content of the crumb, %	19,0–48,0	41,9	41,4	40,1	37,4	-10,74
Кислотность мякиша, град. The acidity of the crumb, grad.	≤4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	–
Пористость мякиша, % The porosity of the crumb, %	≥65	79,7	78,6	77,8	77,8	-2,38
Крошковатость, % Friability, %	–	3,7	4,1	4,9	5,5	+32,73
Коэффициент набухаемости The coefficient of swelling	–	8,7	8,6	8,4	8,0	-8,05

Для оценки сохраняемости фукоидана после выпечки, была исследована его термостабильность. Для опыта были взяты образец хлеба с содержанием добавки в количестве 0,2%, от массы муки, так как по органолептическим и физико-химическим показателям качества данный образец имел наилучшие результаты.

Количественное определение остаточного количества фукоидана в хлебе определяли спектрофотометрическим методом в модификации (Z. Dische, А.И. Усов).

Для этого готовили вытяжку из хлеба: 0,2 г образца перемешивали на магнитной мешалке в течение 1 часа при температуре 70 °С с 25 мл 0,1 М HCl. Экстракт отделяли центрифугированием (6000 об/мин, 20 мин). Осадок экстрагировали 0,1 М HCl еще раз. Надосадочные жидкости объединяли и диализовали в течение 24 ч против бидистиллированной воды. Диализат в количестве 2,5 мл переносили в колбу объемом 50 мл, доводили до метки бидистиллированной водой. Отбирали аликвоту объемом 0,5 мл, приливали 4 мл раствора серной кислоты (5:2), перемешивали и добавляли 1 мл концентрированной серной кислоты. Полученную смесь перемешивали и нагревали на водяной бане при 70 °С в течение 10 минут. Затем смесь охлаждали до комнатной температуры и приливали 0,1 мл 3% раствора хлоргидрата L-цистеина. Смесь выдерживали при комнатной температуре 30 минут. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре СФ-56 при $\lambda = 396$ нм, $\lambda = 430$ нм, длина оптического пути 10 мм.

Содержание фукоидана в пересчете на сухое вещество (%) вычисляли по формуле:

$$X_{\phi} = 5m_0 (D_0^{396} - D_0^{430}) m_{\phi} (100 - W) \quad (2)$$

где D_0^{396} , D_0^{430} – оптическая плотность испытуемых растворов при длинах волн 396 и 430 нм;

D_{ϕ}^{396} , D_{ϕ}^{430} – оптическая плотность раствора фукоидана при длинах волн 396 и 430 нм; m_{ϕ} – навеска сырья, г; m_0 – навеска фукоидана, г; W – потеря в массе сырья при высушивании, %;

Остаточное содержание фукоидана в готовом изделии составило $0,196 \pm 0,0015$ мг/г. Полученные данные свидетельствуют о термостабильности фукоидана в составе хлеба, что, в свою очередь, указывает на эффективность внесения данного пищевого ингредиента в состав рецептуры хлеба.

Интересным на наш взгляд является изучение влияния ПИ с фукоиданом на торможение процессов плесневения хлеба. Для оценки ингибирования споровой микрофлоры микромицетов были проведены исследования на основе выдержки образцов хлеба в провокационных условиях (25 ± 1 °С, относительная влажность воздуха $75 \pm 5\%$). При визуализации образцов хлеба с ПИ роста мицелия не наблюдается (рисунок 2) даже на 10 суток хранения, тогда как в контрольном образце они визуализируются. При микроскопии мицелия идентифицированы плесневые грибы рода *Mucor*. Данный факт подтверждает сильные бактерицидные свойства фукоиданов, обусловленные высокой АОА.

При исследовании влияния ПИ на основе фукоидана на качество йогуртовых продуктов были получены данные его благоприятного воздействия на весь комплекс потребительских свойств. По окончании процесса ферментирования (рисунок 3) сгустки йогуртовых продуктов с ПИ имели устойчивость, были однородны в отличие от контрольного образца. В опытных образцах после вымешивания не наблюдалось активного отделения сыворотки, вкус и запах были приятными слегка кисловатыми.



(a)



(b)

Рисунок 2. Оценка устойчивости опытных образцов хлеба к плесневению (результаты на 10 суток хранения): (a) контроль; (b) хлеб с ПИ на основе фукоидана

Figure 2. Evaluation of stability samples of bread mold (results in 10 days of storage): (a) control; (b) bread with FI on the basis of fucoidan



(a)

Консистенция достаточно однородная,
незначительное отделение сыворотки
The consistency is relatively smooth,
a slight separation of the serum



(b)

Сгусток плотный, однородный по всей массе,
без отделения сыворотки
Clot dense, homogeneous throughout the mass,
noseparation of whey

Рисунок 3. Характеристика сгустков йогуртовых продуктов после ферментации: (a) контроль; (b) йогуртовый продукт с ПИ на основе фукоидана

Figure3. Characteristics of blobs of yoghurt products after fermentation: (a) control; (b) yogurt product with FI on the basis of fucoidan

В процессе хранения йогуртовых продуктов были получены данные, свидетельствующие о том, что использование ПИ на основе фукоидана положительно влияет на сохранение потребительских характеристик в течение длительного срока (рисунок 4). Процесс кислотообразования наиболее интенсивен в первые 24–48 часов

хранения, причем через сутки после ферментации образцы с ПИ имели наиболее выраженные характеристики приемлемые для классических йогуртов. Однако на пятые сутки хранения (120 часов) наблюдалось некоторое снижение активности наращивания титруемой кислотности, что возможно обусловлено действием ПИ.

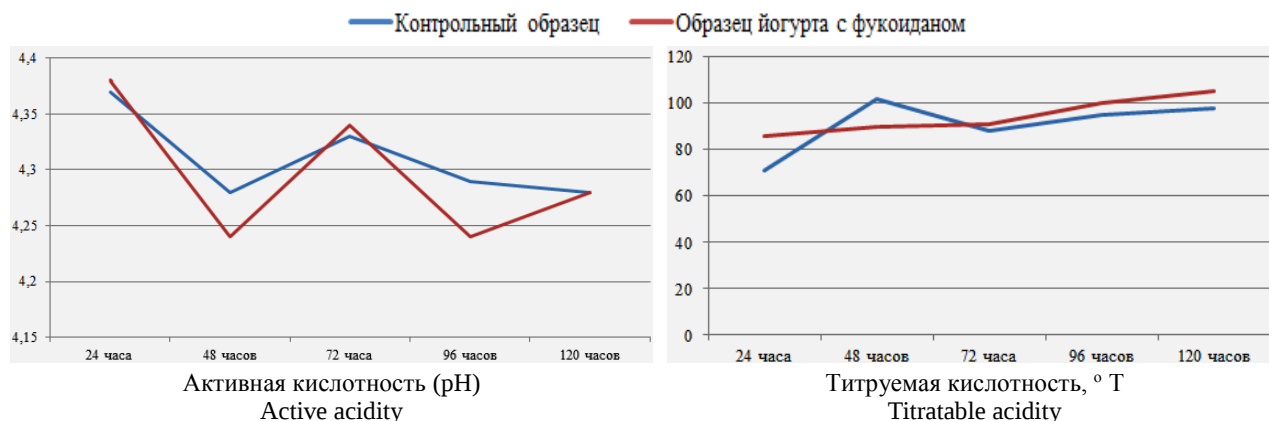
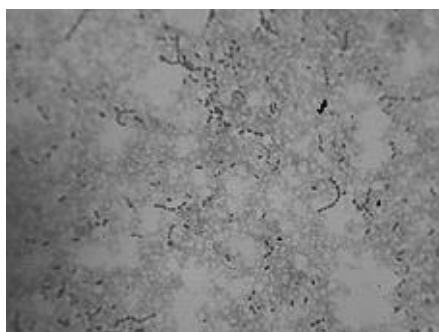
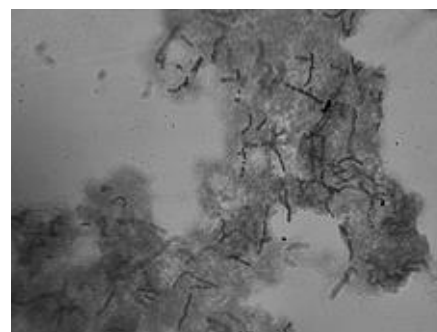


Рисунок 4. Физико-химические показатели качества ферментированных сгустков йогуртов при хранении

Figure 4. Physico-chemical quality parameters of the fermented clumps of yogurt during storage



(a)



(b)

Рисунок 5. Характеристика микрофлоры йогуртовых продуктов после 120 часов хранения: (a) контроль; (b) йогуртовый продукт с ПИ

Figure 5. Characterization of microflora of yoghurt products after 120 hours of storage: (a) control; (b) yogurt product with FI

Основной процесс сквашивания в йогуртах обусловлен активностью *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus*, которые дают высокую вязкость продукту. Наличие *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* улучшает и ускоряет процесс сквашивания, уменьшая вероятность развития посторонней микрофлоры (рисунок 5). *Streptococcus thermophilus* вырабатывает молочную кислоту, при этом создавая оптимальную pH среды для роста *Lactobacillus bulgaricus*.

ЛИТЕРАТУРА

1 ТУ 4215-003-41541647-98. Аналитический кулонометр «Эксперт-006». Технические условия.

2 Доклады о состоянии здравоохранения, 2013–2015 год // Всемирная организация здравоохранения. URL: <http://www.who.int/ru>

3 Козочкин Д.А., Потороко И.Ю., Паймулина А.В. Применение функциональных пищевых ингредиентов в технологии хлеба, повышающего резистентность организма к действию стрессоров // Кондитерская и хлебопекарная промышленность. 2017. № 2 (69). С. 44–47.

4 Лапин А.А., Горбунова Е.В., Зеленков В.Н., Герасимов М.К. Определение антиоксидантной активности вин кулонометрическим методом (научно-методическое пособие). М.: РАЕН, 2009. 64 с.

5 Паймулина А.В., Потороко И.Ю. Влияние кавитированной воды и природного адаптогена на качество хлеба в процессе хранения // Инновационные пути в разработке ресурсосберегающих технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2017. С. 133–138.

6 Ускова Д.Г., Потороко И.Ю., Попова Н.В. Формирование улучшенных потребительских свойств йогуртов на основе ультразвукового воздействия и использования полисахарида фукоидана // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2016. Т. 4. № 3. С. 80–88.

7 Усов А.И., Смирнова Г.П., Клочкова Н.Г. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки // Биоорган. химия. 2001. Т. 27. № 6. С. 444–448.

8 Berteau O., Mulloy B. Sulfated fucans, fresh perspectives: structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharide // Glycobiology. 2003. V. 13. № 6. P. 29–40.

9 Bilan M.I., Grachev A.A., Ustuzhanina N.E. et al. Structure of a fucoidan from the brown seaweed *Fucus vesiculosus* C. Ag. // Carbohydr. Res. 2002. V. 337. № 8. P. 719–730.

10 Camara R.B.G., Costa L.S., Fidelis G.P., Nobre L.T. et al. Heterofucans from the brown seaweed *Canistrocarpus cervicornis* with anticoagulant and antioxidant activities // Mar. Drugs. 2011. № 9 (1). P. 124–138.

11 Honya M., Mori H., Anzai M. et al. Monthly changes in the content of fucans, their constituent sugars and sulfate in cultured *Laminaria japonica* // Hydrobiologia. 1999. V. 399, № 4. P. 411–416.

12 Hu J.F., Geng M.Y., Zhang J.T. et al. An in vivo study of the structure-activity relationship of sulfated polysaccharide from brown algae to its antioxidant effect // J. Asian Nat. Prod. Res. 2001. V. 3. № 4. P. 353–358.

13 Hu T., Liu L., Chen Y. et al. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fraction extracted from *Undaria pinnatifida* in vitro // Int. J. Biol. Macromol. 2010. V. 46. № 2. P. 193–198.

14 Lee N.Y., Ermakova S.P., Zvyagintseva T.N. et al. Inhibitory effect of fucoidan on activation of epidermal growth factor receptor and cell transformation in JB6 C141 cells // Food Chem. Toxicol. 2008. V. 46. № 5. P. 1793–1800.

Заключение

Результаты проведенных исследований показали эффективность использования ПИ на основе фукоидана, как биологически активного вещества с антиоксидантными свойствами, в технологиях производства хлеба и кисломолочных напитков.

15 Ryu M., Chung H. Fucoidan reduces oxidative stress by regulating the gene expression of HO-1 and SOD-1 through the Nrf2/ERK signaling pathway in HaCaT cells // Mol Med Rep. 2016.

16 Mabeau S., Kloareg B. Isolation and analysis of the cell walls of brown algae: *Fucus spiralis*, *F. ceranoides*, *F. vesiculosus*, *F. serratus*, *bifurcariabifurcata* and *laminariadigitata* // Journal of Experimental Botany. 1987. V. 38. № 9. P. 1573.

17 Mori H., Kamei H., Nishide E. et al. Sugar constituents of some sulfated polysaccharides from the sporophylls of wakame (*Undaria pinnatifida*) and their biological activities // Mar. Algae Pharm. Sci. 1982. V. 2. P. 109–121.

18 Ruperez P., Ahrazem O., Leal J.A. Potential antioxidant capacity of sulfated polysaccharides from the edible seaweed *Fucus vesiculosus* // J. Agric. Food Chem. 2002. № 50. P. 840–845.

19 Бадретдинова З.А., Канарский А.В., Шуваева Г.П. Сравнительная оценка антиоксидантной активности продуктов из цикория // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 1. P. 203–206. doi:10.20914/2310-1202-2016-1-203-206

20 Liang Z., Liang Y., Zheng J., Wang J. et al. Low molecular weight fucoidan ameliorates streptozotocin-induced hyperresponsiveness of aortic smooth muscles in type 1 diabetes rats // J. Ethnopharmacol. 2016.

21 Голубева Л.В., Титов С.А., Губанова А.А., Голубева Л.Н. Хранимоспособность молоко-содержащих консервов с добавкой мальтодекстрина // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 1. P. 101–105. doi: 10.20914/2310-1202-2016-1-101-105

22 Zhou J., Hu N., Pan Y. Preliminary studies on the chemical characterization and antioxidant properties of acid polysaccharides from *Sargassum fusiforme* // J. Zhejiang Univ. Science B. 2008. № 9(9). P. 721–727.

REFERENCES

1 ТУ 4215-003-41541647-98 Аналитический кулонометр «Эксперт-006» [Analytical coulometer "Expert 006". Technical conditions]. (in Russian)

2 Reports on the state of health, 2013-2015. VOZ [World Health Organization] Available at: <http://www.who.int/en> (in Russian)

3 Kozochkin DA, Potoroiko I.Yu., Paymulina A.V. Application of functional food ingredients in bread technology that increases the resistance of the organism to stressors. *Konditerskaya I khlebopekarnaya promyshlennost'* [Confectionery and bakery industry] 2017.no. 2 (69). pp. 44-47. (in Russian)

4 Lapin A.A., Gorbunova E.V., Zelenkov V.N., Gerasimov M.K. Opredelenie antioksidantnoi vin kulonometricheskim metodom [Determination of antioxidant activity of wines by coulometric method (scientific and methodical manual)] Moscow, RAEN, 2009. 64 p. (in Russian)

5 Paimulina A.V., Potoroiko I.Yu. Influence of cavitated water and natural adaptogen on the quality of bread during storage. *Innovatsionnye puti v razrabotke resursosberegayushchikh tekhnologii* [Innovative ways in developing resource-saving technologies for storage and processing of agricultural products: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Confer-

ence. Conf.] Kurgan, Publishing House of the Kurgan State Agricultural Academy, 2017. pp. 133-138. (in Russian)

6 Uskova D.G., Potoroko I.Yu., Popova N.V. Formation of improved consumer properties of yoghurts based on ultrasound and the use of fucoidan polysaccharide. *Vestnik YuUrGU* [Proceedings of SUSU. A series of "Food and biotechnologies"] 2016. vol. 4. no. 3. pp. 80-88. (in Russian)

7 Usov A.I., Smirnova G.P., Klochkova N.G. Polysaccharide composition of some brown seaweed of Kamchatka. *Bioorganicheskaya khimiya* [Bioorgan. chemistry] 2001. vol. 27. no. 6. pp. 444-448. (in Russian)

8 Berteau O., Mulloy B. Sulfated fucans, fresh perspectives: structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharide. *Glycobiology*. 2003. vol. 13. no. 6. pp. 29-40.

9 Bilan M.I., Grachev A.A., Ustuzhanina N.E. et al. Structure of a fucoidan from the brown seaweed *Fucosevanescens* C. Ag. *Carbohydr. Res.* 2002. vol. 337, no. 8. pp. 719-730.

10 Camara R.B.G., Costa L.S., Fidelis G.P., Nobre L.T. et al. Heterofucans from the brown seaweed *Canistrocarpus cervicornis* with anticoagulant and antioxidant activities. *Mar. Drugs*. 2011. no. 9 (1). pp. 124-138.

11 Honya M., Mori H., Anzai M. et al. Monthly changes in the content of fucans, their constituent sugars and sulfate in cultured *Laminaria japonica*. *Hydrobiologia*. 1999. vol. 399. no. 4. pp. 411-416.

12 Hu J.F., Geng M.Y., Zhang J.T. et al. An in vivo study of the structure-activity relationship of sulfated polysaccharide from brown algae to its antioxidant effect. *J. Asian Nat. Prod. Res.* 2001. vol. 3. no. 4. pp. 353-358.

13 Hu T., Liu L., Chen Y. et al. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fraction extracted from *Undaria pinnatifida* in vitro. *Int. J. Biol. Macromol.* 2010. vol. 46. no. 2. pp. 193-198.

14 Lee N.Y., Ermakova S.P., Zvyagintseva T.N. et al. Inhibitory effect of fucoidan on activation of epidermal growth

factor receptor and cell transformation in JB6 C141 cells. *Food Chem. Toxicol.* 2008. vol. 46. no. 5. pp. 1793-1800.

15 Ryu M., Chung H. Fucoidan reduces oxidative stress by regulating the gene expression of HO-1 and SOD-1 through the Nrf2/ERK signaling pathway in HaCaT cells. *Mol Med Rep.* 2016.

16 Mabeau S., Kloareg B. Isolation and analysis of the cell walls of brown algae: *Fucus spiralis*, *F. ceranoides*, *F. vesiculosus*, *F. serratus*, *bifurcariabifurcata* and *laminariadigitata*. *Journal of Experimental Botany*. 1987. vol. 38. no. 9. pp. 1573.

17 Mori H., Kamei H., Nishide E. et al. Sugar constituents of some sulfated polysaccharides from the sporophylls of wakame (*Undaria pinnatifida*) and their biological activities. *Mar. Algae Pharm. Sci.* 1982. vol. 2. pp. 109-121.

18 Ruperez P., Ahrazem O., Leal J.A. Potential antioxidant capacity of sulfated polysaccharides from the edible seaweed *Fucus vesiculosus*. *J. Agric. Food Chem.* 2002. no. 50. pp. 840-845.

19 Badretdinova Z.A., Kanarskii A.V., Shuvaeva G.P. Comparative evaluation of antioxidant activity of products from chicory. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies] 2016. no. 1. pp. 203-206. doi: 10.20914 / 2310-1202-2016-1-203-206

20 Liang Z., Liang Y., Zheng J., Wang J. et al. Low molecular weight fucoidan ameliorates streptozocin-induced hyperresponsiveness of aortic smooth muscles in type 1 diabetes rats. *J. Ethnopharmacol.* 2016.

21 Golubeva L.V., Titov S.A., Gubanova A.A., Golubeva L.N. The storage capacity of milk-containing canned foods with the addition of maltodextrin. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technology] 2016. no. 1. pp. 101-105. doi: 10.20914 / 2310-1202-2016-1-101-105

22 Zhou J., Hu N., Pan Y. Preliminary studies on the chemical characterization and antioxidant properties of acid polysaccharides from *Sargassum fusiforme*. *J. Zhejiang Univ. Science B.* 2008. no. 9(9). pp. 721-727.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина Ю. Потороко д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, irina_potoroko@mail.ru

Анастасия В. Паймулина аспирант, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, aaminana@mail.ru

Дарья Г. Ускова аспирант, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, twins.23@mail.ru

Ирина В. Калинина к.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, melekira79@inbox.ru

Наталья В. Попова к.т.н., доцент, кафедра пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия

Сонавайи Ширишд.ф.н., профессор, кафедра химической инженерии, Национальный технологический институт, Штат Телангана, г. Варангал, 506004, Индия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.11.2017

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Irina Yu. Potoroko Dr. Sci. (Engin.), professor, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, irina_potoroko@mail.ru

Anastasiya V. Paimulina graduate student, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, aaminana@mail.ru

Daria G. Uskova graduate student, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, twins.23@mail.ru

Irina V. Kalinina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, melekira79@inbox.ru

Natalia V. Popova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and biotechnology department, South Ural State University, Lenina Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia

Shirish Sonawane Dr. Sci. (Philos.), professor, chemical engineering department, National Institute of Technology, Telangana State, Warangal, 506004, India

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2017

ACCEPTED 11.20.2017