Использование микроводоросли спирулина в технологии зернового хлеба

Е.В. Хмелёва, *канд. техн. наук*,
Н.А. Березина, *канд. техн. наук*,
В.В. Румянцева, *доктор техн. наук*,
Г.А. Осипова, *доктор техн. наук*,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

Аннотация. Приведён анализ химического состава и функциональных свойств микроводоросли спирулина (Spirulina platensis). Представлены результаты исследований влияния спирулины на свойства теста, качество и содержание β-каротина в хлебе из цельного зерна пшеницы. Разработана технология производства зернового хлеба со спирулиной.

Abstract. The chemical composition and functional properties of spirulina microalgae (Spirulina platensis) are analyzed. The results of studies of the effect of spirulina on the properties of the test, the quality and content of β-carotene in bread from whole wheat are presented. The technology of production of grain bread with spirulina is developed.

Ключевые слова: спирулина, зерно, хлеб, β-каротин.

Keywords: Spirulina, grain, bread, β-carotene.

Одной из задач Государственной политики в области здорового питания, направленной на формирование и сохранение здоровья человека, снижение риска возникновения алиментарно-зависимых заболеваний, является создание пищевых продуктов, обогащённых незаменимыми компонентами, продуктов функционального назначения, а также диетических (лечебных и профилактических) продуктов питания. Активное внедрение в структуру питания продуктов, содержащих физиологически значимые количества микронутриентов, позволит эффективно корректировать пищевой статус населения.

Перспективной добавкой, обладающей высокой пищевой ценностью и проявляющей антиоксидантные, иммуномодулирующие и онкопротекторные свойства, является микроводоросль спирулина

[2, 3, 7]. Спирулина (Spirulina platensis) – это многоклеточная спиральная нитчатая микроводоросль сине-зелёного цвета, широко культивируемая во многих странах. В природе она произрастает в озерах тропического и субтропического регионов Африки и Азии, адаптирована к высокой щёлочности воды. В искусственных условиях для выращивания спирулины необходимы освещение, обильное питание и температура 35–38°С.

Спирулина – единственный живой организм, проживший на Земле без изменений сотни миллионов лет именно благодаря своему уникальному биохимическому составу. Согласно литературным данным [3], химический состав спирулины варьируется в зависимости от применяемых методов количественного анализа, условий культивирования и характеризуется высоким содержанием белков, витаминов, минеральных веществ (кальций, магний, железо, селен, йод, хром) и пигментов (фикоцианин, хлорофилл и каротиноиды).

Содержание сбалансированных по аминокислотному составу белков в спирулине, в зависимости от условий культивирования биомассы, возраста и штамма культуры, колеблется от 50 до 70% [2]. Белки спирулины отличаются невысокой молекулярной массой и легко усваиваются организмом человека. Они содержат глютаминовую кислоту, которая стабилизирует умственные способности человека, являясь основной пищей для клеток мозга; тирозин – замедляет старение организма; цистин – обеспечивает работу поджелудочной железы; аргинин – способствует очищению крови от токсинов и шлаков. Углеводы спирулины (10–20%) представлены в основном такими полисахаридами, как пектиновые вещества и гемицеллюлозы. Среди полисахаридов спирулины наибольшее значение имеют спирулан кальция, представляющий собой кальциевые соли сульфополисахаридов, в составе которых обнаружены рамноза, рибоза, манноза, фруктоза, галактоза, глюкоза, глюкуроновая и галактуроновая кислоты и их соли. Доказано, что спирулан кальция проявляет иммуномодуляторную и противовирусную активность.

Среди полиненасыщенных жирных кислот следует отметить высокое содержание в спирулине линолевой (до 14000 мг/кг) и линоленовой – (до 12000 мг/кг) кислот.

Спирулина содержит значительное количество β-каротина (до 1700 мг/кг), который является мощным антиоксидантом. В отличие от других растений и бактерий спирулина содержит водорастворимый фикобилиновый пигмент (фикоцианин) – единственное известное вещество, способное останавливать рост раковых клеток. Ни в каких других продуктах фикоцианин не найден.

Спирулина – отличный источник витаминов группы В и Е. В процессе культивирования спирулина поглощает многие важные микроэлементы, содержание которых варьирует в зависимости от места произрастания и наличия тех или иных минеральных веществ в среде выращивания. В отношении содержания минеральных веществ спирулина – безусловный рекордсмен. Она содержит такие необходимые человеку элементы, как: кальций, железо, магний, калий, селен, цинк, медь, фосфор, марганец, хром, молибден, германий и бор. Вместе они составляют группу микроэлементов, действующих на всех уровнях жизнедеятельности организма. Согласно литературным данным [1, 2], содержание фосфора, кальция и магния в спирулине в 2–3 раза выше, чем в растительных и животных продуктах. В спирулине высокое содержание железа, которое хорошо усваивается организмом благодаря фикоцианину, входящему с ним в комплекс. Кроме этого, спирулина содержит селен, который, наряду с витамином Е, является антиоксидантом.

Таким образом, анализируя богатый химический состав биомассы спирулины, функциональные свойства её биологически активных соединений, перспективными представляются исследования, направленные на разработку технологий хлебобулочных изделий функциональной направленности со спирулиной.

В настоящее время в отечественных литературных источниках информации об использовании спирулины в пищевой промышленности крайне мало. Ряд авторов [1, 4] предлагает использование спирулины в дозировке 0,25–1% к массе муки для увеличения пищевой ценности, сроков хранения и антиоксидантной ёмкости хлеба из пшеничной, ржаной, ячменной муки и их смеси [1, 4].

В публикациях учёных Японии, Вьетнама, Китая, Бразилии, Алжира, Турции [5–7] представлены исследования возможности использования повышенных дозировок спирулины (1–10%) при производстве пшеничного, безглютенового (рисового) хлеба и макаронных изделий.

Цель исследований – изучение возможности использования спирулины в технологии цельнозернового хлеба.

Для проведения исследований использовали зерно пшеницы влажностью 11% с содержанием сырой клейковины – 23%, сорной и зерновой примеси – 1 и 3% соответственно с качеством клейковины – 75 ед. приб. ИДК, с числом падения – 275 с, стекловидностью – 40%, натурой – 745 г/л; пшеничную хлебопекарную муку высшего сорта; сухую биомассу спирулины в виде порошка (ТУ 9284-004-17230230–03), предоставленную НПО «Биосоляр МГУ»; прессованные хлебопекарные дрожжи; поваренную пищевую соль; белый сахар; растительное масло и сухую пшеничную клейковину.

Приготовление зернового хлеба осуществляли следующим образом. Зерно пшеницы, предварительно

1. Структурно-механические свойства теста

Образец	Предельное напряжение сдвига, кПа	
	в начале брожения	в конце брожения
Контроль (без добавок)	12,7	9,5
Образец с добавлением спирулины, %:		
0,5	12,9	10,3
1	13,4	10,4
2	13,8	10,8
3	14,3	11,5

очищенное от примесей и дважды промытое, замачивали в воде при температуре 20±2°С в течение 22–24 ч до достижения им влажности 42–45%, после чего его промывали проточной водой и измельчали на диспергаторе. На основе диспергированной зерновой массы замешивали тесто. Спирулину вносили при замесе теста в следующих дозировках: 0,5; 1; 2 и 3% к массе зерна. Контролем служило тесто, замешанное без добавления спирулины. Брожение, разделку, расстойку теста и выпечку хлеба осуществляли общепринятыми способами.

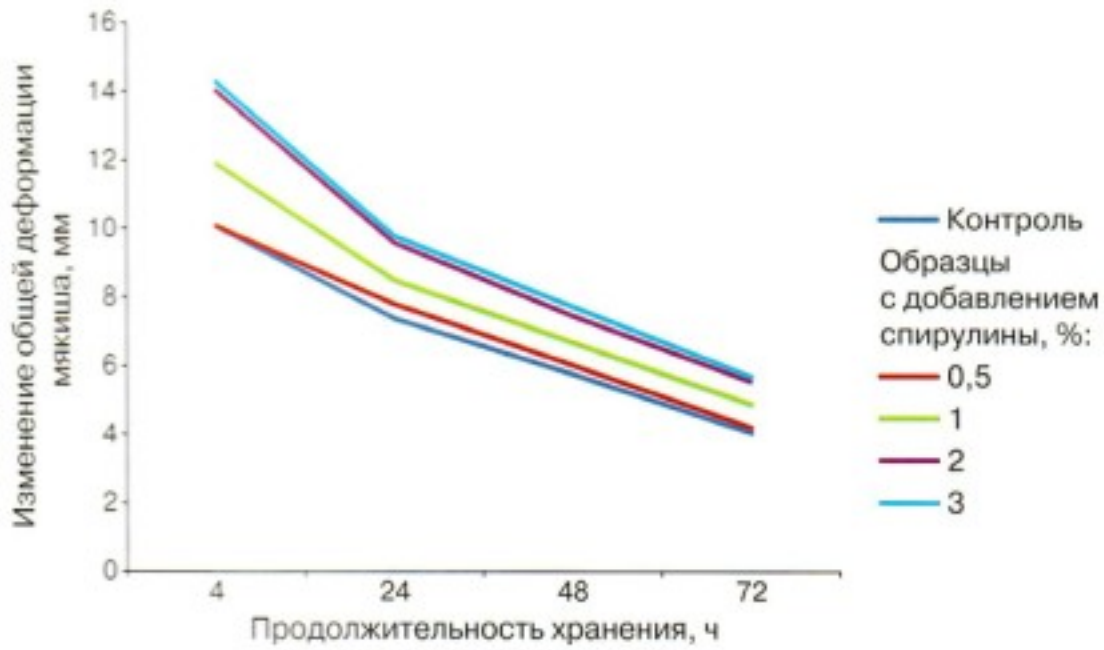
Учитывая богатый химический состав спирулины, характеризующийся высоким содержанием широкого спектра витаминов и минеральных веществ, способствующих повышению бродильной активности дрожжевых клеток, предположили, что её использование позволит интенсифицировать процесс брожения теста. В связи с этим исследовали влияние различных дозировок спирулины на газообразующую способность теста, продолжительность брожения и расстойку тестозаготовок.

Полученные результаты показали, что внесение спирулины при замесе теста способствует значительному увеличению интенсивности газообразования. Так, при добавлении 0,5% спирулины к массе зерна количество выделившегося за 5 ч брожения диоксида углерода (CO_2) увеличилось на 30%, 1% спирулины – на 44%, 2% спирулины – на 75%, а 3% спирулины – в 2 раза, по сравнению с контролем. Продолжительность брожения устанавливали по достижению тестом конечной кислотности 4–5 град., а продолжительность расстойки – по органолептическим показателям. Необходимо отметить, что начальная кислотность теста с добавлением спирулины была выше, чем у контроля (в среднем на 0,5–1 град.), что объясняется кислотностью самой спирулины. В ходе брожения кислотность у опытных образцов теста увеличивалась быстрее, продолжительность брожения теста сократилась в среднем на 30–60 мин, по сравнению с контролем, в зависимости от дозировки спирулины. Продолжительность расстойки тестозаготовок в образцах с добавлением спирулины также сократилась, по сравнению с контролем, в среднем на 10–15 мин.

Такая интенсификация технологического процесса связана с тем, что со спирулиной в тесто поступают дополнительные питательные вещества, в результате чего создаются благоприятные условия для развития бродильной микрофлоры и интенсификации биохимических процессов, в результате чего сокращается продолжительность брожения полуфабрикатов и уменьшается период расстойки.

Определённый интерес представляют исследования влияния спирулины на структурно-механические свойства теста, которые определяли после замеса и в конце брожения на Структурометре СТ-1М по общепринятой методике с последующим расчётом предельного напряжения сдвига теста.

Анализ полученных результатов (табл. 1) показал, что использование спирулины приводит в начале брожения к небольшому повышению показателя предельного напряжения сдвига диспергированной зерновой массы, по сравнению с контролем. Вероятно, это связано со способностью спирулины к гелеобразованию, обусловленной её химическим составом. В процессе брожения вязкость теста, а также контрольных и опытных образцов готовых изделий закономерно уменьшается, происходят коллоидные изменения белков, возрастает активность протеолитических и амилолитических ферментов. Тем не менее, предельное напряжение сдвига теста в конце брожения с добавлением спирулины выше, чем у контроля. Таким образом, добавление спирулины положительно сказывается на структурно-механических свойствах теста.



Изменение общей деформации мякиша неупакованного хлеба из цельного зерна пшеницы в процессе хранения

2. Физико-химические показатели качества зернового хлеба

Показатель	Контроль (без добавления)	Хлеб с добавлением спирулины, % к массе зерна			
		0,5	1	2	3
Влажность, %	39	39	40	41	42
Кислотность, град.	4	4,4	4,4	5	5
Удельный объём, см³/ г	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3
Пористость, %	62	64	66	66	66

3. Содержание β-каротина в зерновом хлебе со спирулиной

Образец хлеба	Содержание β-каротина, мг/кг
Контроль (без добавок)	0,1
Образец с добавлением спирулины, %:	
0,5	7,8
1	10,2
2	15,3
3	27,4

Для исследования влияния спирулины на показатели качества зернового хлеба проводили лабораторные выпечки образцов хлеба. Органолептическая оценка показала, что контрольный образец зернового хлеба (без добавления спирулины) обладает правильной формой, имеет равномерно окрашенную светло-коричневую корку; среднеразвитую пористость, характерную для изделий, приготовленных из зерна; малоэластичный, слегка влажный мякиш; вкус и аромат, свойственные данному виду изделия. Опытные образцы хлеба по состоянию поверхности корки, форме, пропечённости и пористости мякиша не отличались от контрольного образца. Однако, добавление спирулины в исследуемых дозировках в рецептуру зернового хлеба приводило к окрашиванию изделий в зелёный цвет. Причём наблюдалась прямая зависимость интенсивности окрашивания от дозировки спирулины. Так, при внесении 0,5% спирулины изменения окраски почти не наблюдалось; при внесении 1% спирулины изделия приобретали лёгкий зеленоватый оттенок; хлеб с добавлением 2% спирулины имел уже выраженный зелёный цвет, не совсем привычный для хлебобулочной продукции. Хлеб с 3% спирулины был тёмной зелёной окраски. Кроме того, в хлебе с внесением спирулины в дозировках 2 и особенно 3% к массе зерна присутствовали характерные для водоросли вкус и запах.

В табл. 2 приведены физико-химические показатели качества зернового хлеба с добавлением спирулины.

Как показали результаты лабораторных выпечек, образцы хлеба со спирулиной по физико-химическим показателям немного отличались от контрольного образца. При увеличении дозировки спирулины наблюдалось некоторое повышение влажности и кислотности мякиша зернового хлеба, что связано с водопоглотительной способностью и кислотностью самой спирулины. Удельный объём и пористость зернового хлеба при использовании спирулины увеличивались незначительно. При хранении структурно-механические характеристики мякиша выпеченного хлеба с добавлением спирулины были несколько выше, чем у контрольного образца. Кроме этого, эти изделия дольше сохраняли свежесть (рисунок).

Мякиш изделий опытных образцов хлеба из зерна пшеницы имел более высокие значения показателей сжимаемости, чем контроль в течение всего периода хранения. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что использование спирулины в технологии зернового хлеба несколько замедляет черствение хлеба.

Согласно литературным источникам [2], спирулина содержит значительное количество такого функционального ингредиента, как β-каротин (1700 мг/кг), что позволяет использовать её для обогащения хлебобулочных изделий и придания им функциональной направленности. β-каротин является провитамином А и обладает антиоксидантными свойствами. В зерновом хлебе со спирулиной содержание β-каротина определяли по методике, приведённой в ГОСТ Р 54058–2010 «Продукты пищевые функциональные. Метод определения каротиноидов». Экстрагирование каротиноидов проводили с помощью ацетона с последующим определением оптической плотности экстракта на спектрофотометре при длине волны 450 нм и расчётом количественного содержания каротиноидов. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Анализ полученных результатов показал, что добавление спирулины позволяет повысить содержание β-каротина в готовом зерновом хлебе. Согласно Нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах в России, рекомендуемая норма β-каротина для взрослых составляет 5 мг/сут. При употреблении 150 г зернового хлеба со спирулиной суточная потребность в β-каротине покрывается на 24–82% (в зависимости от дозировки спирулины).

Таким образом, использование спирулины при производстве зернового хлеба не только оказывает влияние на показатели качества хлеба и ход технологического процесса производства, но и существенно повышает содержание в нём β-каротина, что позволяет позиционировать хлеб из цельного зерна пшеницы с добавлением спирулины как функциональный продукт. На основании проведённых исследований влияния спирулины на свойства теста и качество зернового хлеба для его производства можно рекомендовать использование дозировки спирулины 1–2% к массе зерна.

Литература

1. *Гришина, Л.Н.* Разработка технологии хлебобулочных изделий с применением микроводоросли спирулины: автореф. дисс.... канд. техн. наук: 05.18.01 / Гришина Лариса Николаевна. – М., 2012. – 22 с.

2. *Кедик, С.А.* Спирулина – пища 21 века / Под ред. С.А. Кедика. – М.: Фарма-центр, 2010. – 166 с.

3. *Пурыгин, П.П.* Определение токсичности и антиоксидантной активности биомассы спирулины платенсис и лекарственных форм на её основе / П.П. Пурыгин [и др.] // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2007. – №6. – С. 393–400.

4. *Тхазеплова, Ф.Х.* Влияние внесения спирулины на процесс черствения хлебобулочных изделий из пшенично-ячменной муки / Ф.Х. Тхазеплова, З.А. Иванова // Успехи современной науки и образования. – 2016. – №10. – С. 41–43.

5. *Effect* of Saccharomyces cerevisiae, Spirulina and preservative supplementation to sweet bread quality in bakery // International Journal of Mult idisciplinary Research and development. – 2014. – №1. – P. 36–44.

6. *Felipe da Silva Figueira, Tainara de Morais Crizel, Camila Rubira Silva, Myriam de las Mercedes Salas-Mellado* Elaboration of gluten-free bread enriched with the microalgae Spirulina platensis // Brazilian Journal of Food Technology. – 2011. – Vol. 14. – № 4 Campinas Oct./Dec.

7. *Saharan* Vatsalaand Jood Sudesh Vitamins, Minerals, Protein Digestibility and Antioxidant Activity of Bread Enriched with Spirulina platensis Powder // International Journal of Agriculture Sciences. – 2017. – Vol. 9. – P. 3917–3919.