

Питание и здоровье Nutrition and health

Научная статья
УДК 637.146.1
DOI: 10.14529/food230210

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЙОГУРТА, ОБОГАЩЕННОГО ЙОДОМ В БИОДОСТУПНОЙ ФОРМЕ

Ю.О. Савлукова^{1,2}, yu.savlucova@yandex.ru
Е.Г. Ковалева², e.g.kovaleva@urfu.ru

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Преобладающее количество людей испытывают дефицит тех или иных макро- и микроэлементов. К дефицитным микроэлементам, в частности, относится йод, необходимый для синтеза гормонов щитовидной железы, которая регулирует работу всего организма. Тиреоидные гормоны влияют на рост, размножение и метаболические процессы. Эндемический зоб или патологическое увеличение щитовидной железы, возникающее на фоне недостаточного употребления йода, называют самым распространённым неинфекционным заболеванием в мире. Создание функциональных продуктов питания и их включение в ежедневный рацион способно значительно снизить возникновение алиментарных заболеваний. Целью исследования являлось получение функционального йогурта, обогащенного йодом в органической биологически доступной форме. В работе исследовалась возможность применения йодированного белка молочной сыворотки «Биойод» для обогащения йогурта органической формой йода. Подобрана рациональная доза – 10 мг на 1 кг молока, что соответствует 25 мкг йода на порцию готового продукта массой 100 г, составляющее 17 % от суточной нормы потребления. Исследовано влияние йодсодержащей добавки «Биойод» на кислотность и количество жизнеспособных молочнокислых бактерий. Установлено, что применение препарата «Биойод» оказывает стимулирующее воздействие на рост молочнокислых микроорганизмов. Получен функциональный йогурт, обогащенный йодом в биодоступной форме с помощью препарата «Биойод».

Ключевые слова: органическая форма йода, йодированный молочный белок, «Йодказеин», «Биойод», йогурт, активная кислотность, титруемая кислотность, йогуртовая закваска, молочнокислые микроорганизмы, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

Благодарности. Выражаем благодарность Д. Е. Лукину, директору ООО «Инновационные биохимические технологии» за предоставление препарата «Биойод» для исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 20-66-47017.

Для цитирования: Савлукова Ю.О., Ковалева Е.Г. Получение функционального йогурта, обогащенного йодом в биодоступной форме // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 2. С. 83–92. DOI: 10.14529/food230210

Original article
DOI: 10.14529/food230210

PRODUCTION OF FUNCTIONAL YOGURT ENRICHED WITH IODINE IN A BIOAVAILABLE FORM

Yu.O. Savlukova^{1,2}, yu.savlucova@yandex.ru
E.G. Kovaleva², e.g.kovaleva@urfu.ru

¹ Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Abstract. Majority of people over the world suffer from the deficiency in certain macro- and microelements. Deficient trace elements including iodine, which is necessary for the synthesis of thyroid hormones, regulates the whole life activities of human organism. Thyroid hormones affect growth, reproduction and metabolic processes. Endemic goiter or pathological enlargement of the thyroid gland, which occurs against the background of insufficient iodine intake, is named as the most common non-infectious disease over the world. The design of functional foods and their inclusion in the daily diet can significantly reduce the occurrence of alimentary diseases. The aim of the study was to produce a functional yogurt enriched with iodine in an organic bioavailable form. The possibility of using iodized whey protein «Bioiodine» for the enrichment of yogurt with an organic form of iodine was studied in this research. 10 µg per 1 kg of milk, which corresponds to 25 µg of iodine per 100 g portion of the finished product (17 % of the daily intake) was chosen as the rational dose for fortification. The effect of the iodine-containing additive «Bioiodine» on the acidity and the number of viable lactic acid bacteria was studied. It has been established that the use of the preparation «Bioiodine» has a stimulating effect on the growth of lactic acid microorganisms. The functional yogurt enriched with iodine in a bioavailable form fortified with preparation «Bioiodine» was obtained.

Keywords: iodine, organic form of iodine, iodized milk protein, Iodcasein, Bioiodine, yogurt, active acidity, titratable acidity, yogurt starter, lactic acid microorganisms, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

Acknowledgments. We express gratitude to Dmitry E. Lukin, Director of Innovative Biochemical Technologies LLC, for providing the preparation «Bioiodine» for research.

The research funding from the RSF grant 20-66-47017.

For citation: Savlukova Yu.O., Kovaleva E.G. Production of functional yogurt enriched with iodine in a bioavailable form. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 2, pp. 83–92. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230210

Введение

Важное значение для поддержания и сохранения здоровья человека имеют качество продуктов питания и состояние окружающей среды. Жизненные силы, работоспособность и психоэмоциональное состояние зависят от безопасности пищи, ее состава и физиологических характеристик. Взаимосвязанные проблемы, касающиеся питания, экологии и здоровья человека, должны решаться комплексно на основе новейших научных достижений и совместно с учеными разных направлений, в том числе специалистами в области биотехнологий и технологий пищевых производств [1].

Большая часть населения России испытывает дефицит важнейшего микроэлемента йода. По данным Эндокринологического научного центра, до 70 % населения имеют дефицит йода различной степени, который часто сопровождается развитием гипотиреоза и снижением когнитивных функций. Биогеохимические местности с недостаточностью йода в биосфере, равно как и других микроэлементов, влияющих на проявление йодной недостаточности (Se, Fe, Zn), занимают более 50 % населенной территории России [2, 3].

Основными источниками йода служат пищевые продукты, посредством которых в

организм поступает около 90 % общего его количества [4].

Несмотря на то, что в среднем потребность в йоде составляет всего лишь 150 мкг в сутки, длительный недостаток его в рационе приводит к развитию целого ряда патологических состояний, объединенных общим термином «йододефицитные заболевания» [5].

Недостаточное поступление йода в организм человека приводит к развитию эндемического зоба с гипотиреозом, характеризующимся нарушением синтеза тиреоидных гормонов и угнетением функции щитовидной железы, замедлению обмена веществ, артериальной гипотензии. Это заболевание имеет типично эндемический характер и возникает преимущественно в тех местностях, где наблюдается значительное снижение содержания йода в почве, воде и пищевых продуктах. Следует отметить, что еще задолго до начала увеличения щитовидной железы йододефицит проявляет себя в снижении интеллектуальных способностей и возможностей, хронической усталости, задержке умственного и физического развития детей [6, 7].

Преодоление йододефицита продолжает оставаться одной из серьезнейших проблем здравоохранения. Эндемический зоб, обусловленный недостаточностью йода, является наиболее распространенным среди неинфекционных заболеваний населения [8].

Повсеместно распространенным методом, используемым для массовой йодной профилактики, является йодирование поваренной соли. Однако, чтобы устранить йододефицит с помощью йодированной соли, ею должны постоянно пользоваться 90–98 % населения. В нашей стране йодированную соль в питание используют не более 35 % населения [9, 10].

Также имеются данные анализа образцов имеющейся в продаже соли, которые показали, что в 30 % образцов содержание йода было значительно ниже уровня, заявленного производителем. Это может быть связано с некачественным йодированием в процессе производства соли, отсутствием адекватных упаковочных материалов, большими потерями йода при транспортировке и хранении соли и прочими факторами [11].

Избыток йода в организме также опасен. Когда человек получает йод в количествах, превышающих предельно-допустимые, возможно возникновение тиреотоксикоза, особенно если это происходит на фоне исходно

низкого потребления йода и, в частности, при наличии узловых изменений в щитовидной железе [12].

В целом регулирование йодного обмена в организме является сложным биохимическим процессом. В организм йод может поступать в двух видах – минеральном (неорганическом) и органическом. Минеральный йод не связан с какой-либо органической молекулой (спиртовой раствор йода, йодиды калия и натрия и т. п.), а органический находится в химической связи с каким-либо органическим веществом (полисахариды, аминокислоты) [13].

Минеральный йод, являясь чрезвычайно активным веществом, легко проникает в кровь и вступает в химические реакции с органическими веществами организма, изменяя их свойства или разрушая их. Органический йод, в отличие от минерального, находится в связанном химически инертном состоянии, и по большей части не вступает в реакции с органическими веществами организма. При этом йод, поступая через пищеварительный тракт в печень, под действием ферментов отщепляется от аминокислоты (тирозин, гистидин) и используется для синтеза гормонов щитовидной железы. Механизм регулирования органического йода контролируется посредством системы гомеостаза, и расщепление органического йода идет строго индивидуально. Не востребованный щитовидной железой органический йод естественным образом выводится из организма, поэтому не наблюдается накопления йода и соответствующих негативных последствий [14, 15].

Учитывая описанные преимущества органических соединений йода перед его неорганическими формами, в последние годы, наряду с традиционным способом профилактики йододефицита – йодированием соли, в целях предотвращения йододефицитных состояний все чаще используются пищевые добавки для обогащения хлебобулочных изделий, молока и других продуктов первой необходимости, а также биологически активные добавки (БАД), содержащие органический йод [16].

На рынке представлены препараты, содержащие в своем составе органическую форму йода, самым знаменитым из которых является «Йодказеин», представляющий собой йодированный молочный белок, изготовленный на основе белка молока – казеина, произведен ООО «Медбиофарм». «Йодказеин»

ин» используется в таблетированной форме в качестве БАД к пище для групповой и индивидуальной профилактики йодной недостаточности и в форме порошка в пищевой промышленности при производстве хлебобулочных, молочных, колбасных и других изделий для массовой профилактики недостаточности йода. Разработаны методические рекомендации по применению «Йодказеина» МР 2.3.7.1916-04 [16].

«Биойод» – йодированный молочный белок нового поколения, который получают путем ферментативного йодирования аминокислотных остатков сывороточных белков коровьего молока, с последующей дополнительной очисткой от неорганического йода с помощью ультрафильтрации, а также сублимационной или распылительной сушки, изготовлен ООО «НПФ Техновита» по заказу ООО «Инновационные биохимические технологии». «Биойод» используется в качестве БАД к пище, а также в производстве продуктов питания в качестве натурального источника легкодоступного органически связанного йода для повышения биологической и пищевой ценности с целью уменьшения риска возникновения йододефицитных состояний человека [17].

Установлено, что употребление «Биойода» в дозировке 100 мкг способствует нормализации значений йодурии, не вызывает передозировки йода (по данным йодурии) даже при исходно нормальном йодном обеспечении, оказывает положительное влияние на состояние гипофизарно-тиреоидной системы [9, 18].

Благодаря ковалентной связи йода с белками, «Биойод» обладает высокой стабильностью при нагреве, устойчивостью к свету и нагреванию, способностью к длительному хранению, что исключает возможность отрицательного воздействия свободного йода на органолептические характеристики и физико-химические показатели готовой продукции и позволяет получать продукты с фиксированным содержанием связанного йода [17].

В отчете о научно-исследовательской работе, проведенной в Центре Высших Технологий «ХимРар» (под руководством С.Г. Алексеева) представлены результаты качественного и количественного анализа БАД «Йодказеин» и «Биойод». Установлено, что «Биойод» по сравнению с «Йодказеином» об-

ладает рядом преимуществ. Наиболее важным из которых является то, что более функциональной и биодоступной, а, следовательно, лучше усвояемой и перевариваемой является белковая матрица на основе сывороточных молочных белков, которая в отличие от казеиновой основы хорошо растворима в водных растворах (критерий растворимость) и отвечает более высокой усвояемости (критерий перевариваемость). Данные сравнительного анализа, описанные в отчете, обобщены и представлены в табл. 1.

Исходя из вышесказанного, эффективным способом восстановления и поддержания общественного здоровья, в том числе в качестве восполнения недостатка йода в организме, может стать создание и введение в повседневное потребление функциональных продуктов, которые способны оказывать регулирующее и нормализующее воздействие на организм в целом и на определенные его органы, в частности, на работу щитовидной железы.

Кисломолочные продукты являются традиционными и популярными продуктами питания, входят в категорию продуктов повседневного спроса, поэтому они являются источником питательных веществ, поступающих в организм человека [19].

Таким образом, **целью исследования** являлось получение функционального йогурта, обогащенного йодом в биологически доступной форме.

Объекты и методы исследования

При выборе рационального количества йодированного молочного белка «Биойод» для внесения в йогурт необходимо учитывать рекомендуемые нормы среднесуточного потребления йода. Физиологическая потребность в йоде для взрослых составляет 150 мкг/сут (согласно МР 2.3.1.0253-21). Чтобы йогурт можно было назвать функциональным, он должен содержать на одну порцию массой 100 г от 15 до 50 % функционального ингредиента, т. е. йода (ГОСТ Р 52349-2005). Известно, что 1 мг «Биойода» содержит 25 мкг йода. Так, для выбора рациональной дозы внесения были получены и проанализированы образцы йогурта с содержанием добавки «Биойод» 9, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 27 и 30 мг/кг (15, 17, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 % йода от суточной потребности для взрослого человека, соответственно).

Таблица 1

Сравнительная оценка препаратов молочного йодированного белка

«Йодказеин»	«Биойод»
Казеиновая основа	Белковая матрица на основе сывороточных белков
Плохо растворим	Хорошо растворим
Казеин способен свертываться в желудке	Лучше переваривается и усваивается
Неоднородный порошок рыжего цвета с коричневыми включениями разнородных по размеру гранул	Мелкий порошок имеющий кремовый светло-желтый оттенок
Резкий запах йода и органических растворителей	Запах молочный
Содержание йода 7–10 масс. %.	Сбалансированное содержание органически связанного йода (1,8 масс. %)
Высокое содержание неорганического молекулярного йода и йодидов (0,42 масс. % I ² и 2,0 масс. % I)	Отсутствии молекулярного йода, незначительное количество неорганического йодида (0,1 масс. %)
Низкая термическая стабильность (макс. 281 °С)	Высокая термическая стабильность (максимум разложения 307 °С)

Йогурт изготавливали термостатным способом с использованием коровьего молока жирностью 1 % и лиофилизированной йогуртовой закваски «Свой йогурт» (ФГУП «Экспериментальная биофабрика»). Бактериальный состав закваски был классическим и состоял из культур *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

Заквашивание проводили в стерильных условиях ламинарного шкафа БМБ-II-«Ламинар-С»-1,2, в подготовленное молоко температурой 40 °С добавляли закваску (0,033 г на 100 мл молока) и определенное количество «Биойода». Образцы сквашивали в термостате-инкубаторе ТС 1/80 СПУ при 40 °С в течение 8–9 ч до значения титруемой кислотности (75 ± 5) °Т. После этого образцы отправляли в холодильную камеру для созревания при 4 °С в течение 6 ч.

Контрольный и опытные образцы были исследованы по органолептическим показателям (отдельно отмечали степень отделения сыворотки) и значениям титруемой и активной кислотности. При анализе кислотности измеряли изменение кислотности в процессе ферментации и кислотность конечного продукта. Органолептические показатели качества (внешний вид, консистенцию, вкус, запах, цвет) йогурта определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 31981-2013. Титруемую кислотность определяли согласно требованиям ГОСТ 3624-92 с применением индикатора

фенолфталеина. Активную кислотность определяли с помощью рН-метра FiveEasy Plus FP20-Meter.

Для изучения и сравнения показателей контрольного образца и выбранного опытного образца с рациональным содержанием «Биойода» в процессе хранения устанавливали контрольные точки. Предполагаемый срок годности – 7 суток, точки контроля 0, 3, 5, 7, 10 суток.

Определение молочнокислых микроорганизмов проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 33951-2016 с помощью метода разведения с дальнейшим посевом на твердые питательные среды и подсчетом колоний. Чашки Петри с посевами для подсчета *L. bulgaricus* и *S. thermophilus* термостатировали в анаэробных условиях при температуре (37 ± 1) °С в течение 72 и 48 ч, соответственно. По окончании инкубации подсчитывали количество характерных колоний с помощью счетчика колоний Colony Count. Подтверждение вида микроорганизмов проводили на биологическом микроскопе ВМВ-300М. Общее количество молочнокислых бактерий в йогурте определяли путем суммирования количества *L. bulgaricus* и *S. thermophilus*.

Определение содержания йода проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии Optima 4300DV с индуктивно связанной плазмой (ES-ICP) с применением метода стандартных добавок.

Полученные результаты исследований обработаны статистически при помощи программы Microsoft Excel. Данные представляют собой средние арифметические значения трех повторностей эксперимента и их среднеквадратичное отклонение. Достоверность различий между группами данных определяли с помощью t-критерия Стьюдента ($p \leq 0,05$).

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе исследования было важно установить способность йодированного молочного белка «Биойод» растворяться в молоке. Установлено, что «Биойод» хорошо растворяется в молоке при комнатной температуре 20–24 °С, без образования осадка. Так, при производстве обогащенного йогурта добавка «Биойод» может вноситься непосредственно в молоко при получении нормализованной смеси или на стадии заквашивания, что почти не меняет классическую технологию производства.

При выборе рационального количества «Биойода» для внесения в процессе производства йогурта, установлено, что образец с концентрацией «Биойода» 10 мг/кг имеет наилучшие органолептические показатели качества и значения кислотности. Данный опытный образец имел немного более кислый вкус и большее отделение сыворотки (степень синерезиса 21 %) по сравнению с контрольным. Титруемая кислотность готового йогурта с добавлением 10 мг/кг «Биойода» имела более высокие значения ($85 \pm 0,85$ °Т) по сравнению с йогуртом без добавления «Биойода» ($75 \pm 0,79$ °Т), но данные значения находятся в пределах установленной нормы согласно требованиям ГОСТ 31981-2013.

Исходя из полученных результатов была выбрана рациональная концентрация йодиро-

ванного молочного белка «Биойод» для получения функционального йогурта – 10 мг на 1 кг молока. Порция йогурта массой 100 г, обогащенная данным количеством «Биойода», содержит 25 мкг йода – 17 % от суточной потребности. Кроме того, внесение именно такого количества «Биойода» удобно при расчетах и добавлении на производстве (1 г на 100 кг нормализованного молока).

В дальнейших исследованиях использовали опытные образцы с рациональным содержанием йодсодержащей добавки «Биойод» (1 мг на 100 г молока).

При физико-химическом анализе особое внимание было уделено таким показателям, как титруемая кислотность и значение pH, которые изменяются при хранении йогурта и по которым косвенно можно судить о качестве продукта (табл. 2).

Динамика изменения титруемой кислотности в процессе хранения йогурта представлены на рис. 1. Динамика изменения активной кислотности представлены – на рис. 2.

Так, в опытных образцах были найдены более высокие значения титруемой кислотности по сравнению с контрольными, но данные значения находятся в пределах установленной нормы. В процессе хранения происходило нарастание титруемой и снижение активной кислотности во всех образцах. Закономерности изменения кислотности в контрольных и опытных образцах йогурта идентичны.

Микробиологическому анализу придавалось особое значение. Было интересно, как добавление йодированного молочного белка «Биойод» влияет на количество жизнеспособных молочнокислых микроорганизмов. Результаты представлены в табл. 3 и рис. 3.

Таблица 2

Значения кислотности до и после сквашивания

№ п/п	Наименование образца	«Биойод», мг/100 г	Содержание йода		Титруемая кислотность, °Т		Активная кислотность, ед. pH	
			мкг/100 г	от сут. потребности, %	после заквашивания	готовый продукт	после заквашивания	готовый продукт
1	Контрольный	–	–	–	24,00 ± 0,41	75,00 ± 0,79	6,57 ± 0,10	4,42 ± 0,10
2	Опытный	1	25	17	24,00 ± 0,47	85,00 ± 0,85	6,57 ± 0,10	4,40 ± 0,10

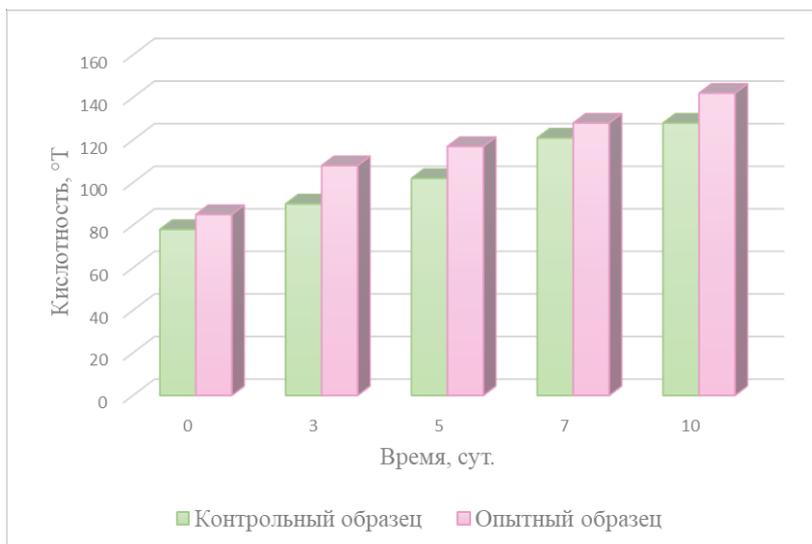


Рис. 1. Изменение титруемой кислотности в процессе хранения

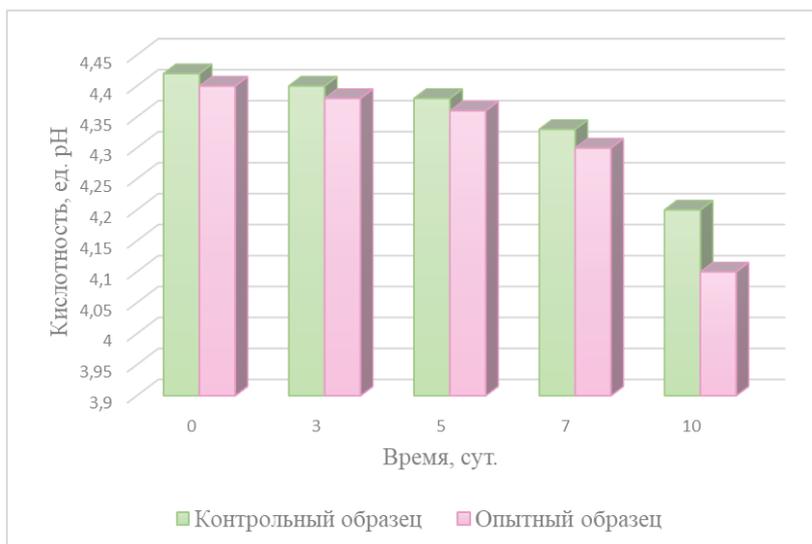


Рис. 2. Изменение активной кислотности в процессе хранения

Таблица 3
Результаты микробиологического анализа йогурта на конец срока годности (7 суток)

№ п/п	Наименование образца	Количество молочнокислых бактерий, КОЕ/см ³ , 10 ⁷
1	Контрольный	1,85
2	Опытный	2,18

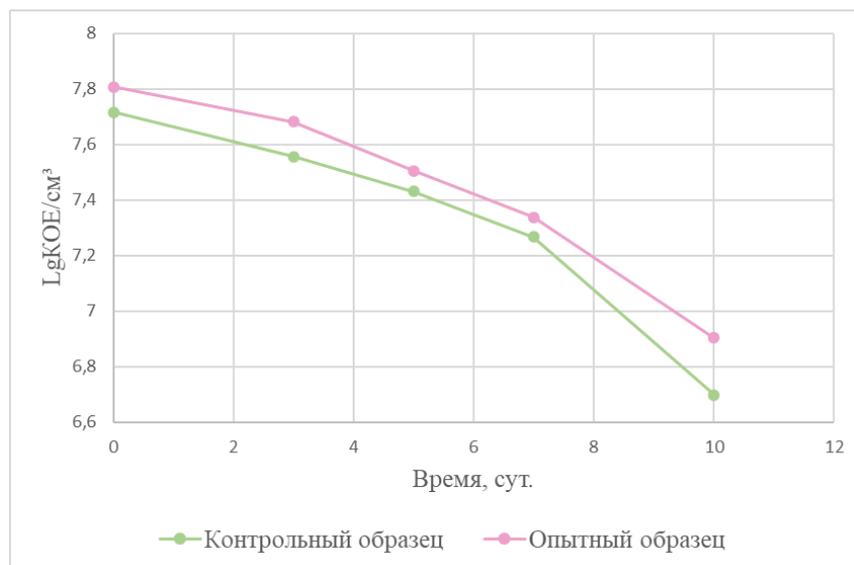


Рис. 3. Изменение количества молочнокислых микроорганизмов в процессе хранения

В результате микробиологического анализа было установлено, что добавка «Биойод» не только не оказывает негативного воздействия на молочнокислые микроорганизмы за счет высокой стабильности, а более того, стимулирует их рост, обеспечивая большую кислотность опытного образца по сравнению с контрольным. Благодаря ковалентной связи йода с белками, «Биойод» обладает высокой стабильностью, что исключает отрицательное воздействие свободного йода на заквасочные культуры йогурта.

Для подтверждения функциональности

было проведено определение содержания микроколичеств йода в йогурте на конец срока годности (7 суток) методом ES-ICP. Содержание йода составило $(0,24 \pm 0,01)$ мг/л.

Таким образом, был получен функциональный йогурт, обогащенный йодом в органической биологически доступной форме, обеспечивающий содержание йода 17 % от суточной потребности. Такой йогурт способен при систематическом потреблении поддерживать нормальное функционирование щитовидной железы, здоровье и работоспособность человека.

Список литературы

1. Лебедев Д.А. Роль йодобогащенных продуктов в решении проблемы йододефицита / Д.А. Лебедев, И.А. Кабанова, А.В. Васильева // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 294–296.
2. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат) / Г.А. Мельниченко и др. // Consilium medicum. 2019. Т. 21. № 4. С. 14–20.
3. Köhrle J. Selenium, Iodine and Iron-Essential Trace Elements for Thyroid Hormone Synthesis and Metabolism // International Journal of Molecular Sciences, 2023; vol. 24, no. 4, pp. 3393. <https://doi.org/10.3390/ijms24043393>
4. Blikra M.J., Henjum S., Aakre I. Iodine from Brown Algae in Human Nutrition, With an Emphasis on Bioaccessibility, Bioavailability, Chemistry, and Effects of Processing: A Systematic Review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022; vol. 21, no. 2, pp. 1517–1536. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12918>
5. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 4 (536). С. 6–19.

6. Hatch-McChesney A., Lieberman H.R. Iodine and Iodine Deficiency: A Comprehensive Review of a Re-Emerging Issue // *Nutrients*. 2022. Vol. 14, no. 17. P. 3474. <https://doi.org/10.3390/nu14173474>
7. Кубасова Е.Д., Кубасов Р.В. Современные представления о роли факторов внешней среды и дисбаланса биоэлементов в формировании эндемического зоба // *Успехи современной биологии*. 2009. Т. 129. № 2. С. 181–190.
8. Кравцова О.Н., Сагитова Э.Р., Аверьянов В.Н. Современное состояние заболеваемости взрослого населения патологией щитовидной железы, обусловленной дефицитом йода // *Оренбургский медицинский вестник*. 2021. Т. 9. № 2 (34). С. 56–60.
9. Исследование профилактической эффективности биологически активной добавки Биойод / Л.С. Большакова и др. // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10. С. 2401.
10. Йододефицит и проблема йодирования соли / Ф.З. Юлдашева и др. // *Центрально азиатский эндокринологический журнал*. 2022. Т. 2. № 1.10.
11. Gorstein J.L., Bagriansky J., Pearce E.N., Kupka R., Zimmermann M.B. Estimating the Health and Economic Benefits of Universal Salt Iodization Programs to Correct Iodine Deficiency Disorders // *Thyroid*, 2020. Vol. 30, no. 12. P. 1802–1809. <https://doi.org/10.1089/thy.2019.0719>
12. Farebrother J., Zimmermann M. B., Andersson M. Excess Iodine Intake: Sources, Assessment, and Effects on Thyroid Function // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2019. Vol. 1446, no. 1. P. 44–65. <https://doi.org/10.1111/nyas.14041>
13. Пасько О.В., Лисин П.А. Проектирование биопродукта, обогащенного фитойодом // *Вестник аграрной науки*. 2017. № 1 (64). С. 115–124.
14. Исследование метаболизма йодтирозинов, входящих в состав молочного йодированного белка, у крыс / Л.С. Большакова и др. // *Вопросы питания*. 2018. Т. 87. № 3. С. 12–17.
15. Galton V.A., Hernandez A. Thyroid Hormone Metabolism: A Historical Perspective // *Thyroid*. 2023. Vol. 33, no. 1. P. 24–31. <https://doi.org/10.1089/thy.2022.0161>
16. Йодказеин – устойчивый функциональный ингредиент для профилактики йодной недостаточности / К.Т. Еримбетов и др. // *Хлебопродукты*. 2020. № 10. С. 33–37.
17. Обогащение йодом пищевых продуктов / Л.С. Большакова и др. // *Здоровьесберегающие технологии в ВУЗе: состояние и перспективы*. 2018. С. 96–98.
18. Большакова Л.С., Меркулова Е.Г. Коррекция дефицита йода при помощи молочного йодированного белка Биойод // *Вестник ОрелГИЭТ*. 2015. № 1. С. 137–140.
19. Попова С.Л., Забегалова Г.Н. Способы обогащения кисломолочных продуктов йодом // *Редакционная коллегия*. 2019. С. 260.

References

1. Lebedev D.A., Kabanova I.A., Vasil'eva A.V. The Role of Iodine-Fortified Foods in Solving the Problem of Iodine Deficiency. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozjajstva*, 2021, no. 23, pp. 294–296. (In Russ.)
2. Mel'nichenko G.A., Troshina E.A., Platonova N.M., Panfilova E.A., Rybakova A.A., Abdulhabirova F.M., Bostanova F.A. Iodine Deficiency Diseases of the Thyroid Gland in the Russian Federation: Current State of the Problem. Analytical Review of Publications and Data of Official State Statistics (Rosstat). *Consilium Medicum*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 14–20. (In Russ.)
3. Köhrle J. Selenium, Iodine and Iron—Essential Trace Elements for Thyroid Hormone Synthesis and Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, no. 4, p. 3393. <https://doi.org/10.3390/ijms24043393>
4. Blikra M.J., Henjum S., Aakre I. Iodine from Brown Algae in Human Nutrition, With an Emphasis on Bioaccessibility, Bioavailability, Chemistry, and Effects of Processing: A Systematic Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022; vol. 21, no. 2, pp. 1517–1536. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12918>
5. Popova A.Ju., Tutel'jan V.A., Nikitjuk D.B. On the New (2021) Norms of Physiological Needs for Energy and Nutrients for Various Groups of the Population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniya*, 2021, vol. 90, no. 4 (536), pp. 6–19. (In Russ.)
6. Hatch-McChesney A., Lieberman H. R. Iodine and Iodine Deficiency: A Comprehensive Review of a Re-Emerging Issue. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 17, p. 3474. <https://doi.org/10.3390/nu14173474>

7. Kubasova E.D., Kubasov R.V. Modern Ideas about the Role of Environmental Factors and Imbalance of Bioelements in the Formation of Endemic Goiter. *Uspehi sovremennoj biologii*, 2009, vol. 129, no. 2, pp. 181–190. (In Russ.)
8. Kravcova O.N., Sagitova Je.R., Aver'janov V.N. The Current State of Morbidity of the Adult Population with Pathology of the Thyroid Gland Due to Iodine Deficiency. *Orenburgskij medicinskij vestnik*, 2021, vol. 9, no. 2 (34), pp. 56–60. (In Russ.)
9. Bol'shakova L.S., Litvinova E.V., Kuzina A.V., Lisicyn A.B., Chernuha I.M. Study of the Preventive Efficacy of the Biologically Active Supplement Bioiodine [*Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, no. 10, p. 2401. (In Russ.)
10. Juldashaeva F.Z., Sadikova A.S., Alimova N.U., Turaev F.F. Iodine Deficiency and the Problem of Salt Iodization. *Central'no aziatskij jendokrinologicheskij zhurnal*, 2022, vol. 2, no. 1.10. (In Russ.)
11. Gorstein J.L., Bagriansky J., Pearce E.N., Kupka R., Zimmermann M.B. Estimating the Health and Economic Benefits of Universal Salt Iodization Programs to Correct Iodine Deficiency Disorders. *Thyroid*, 2020, vol. 30, no. 12, pp. 1802–1809. <https://doi.org/10.1089/thy.2019.0719>
12. Farebrother J., Zimmermann M.B., Andersson M. Excess Iodine Intake: Sources, Assessment, and Effects on Thyroid Function. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2019, vol. 1446, no. 1, pp. 44–65. <https://doi.org/10.1111/nyas.14041>
13. Pas'ko O.V., Lisin P.A. Designing a Bioproduct Enriched with Phytoiodine. *Vestnik agrarnoj nauki*, 2017, no. 1 (64), pp. 115–124. (In Russ.)
14. Bol'shakova L.S., Lisicyn A.B., Chernuha I.M., Zubcov Ju.N., Lukin D.E., Ljublinskij S.L. Study of the Metabolism of Iodotyrosines which are Part of the Milk Iodinated Protein in Rats. *Voprosy pitaniya*, 2018, vol. 87, no. 3, pp. 12–17. (In Russ.)
15. Galton V.A., Hernandez A. Thyroid Hormone Metabolism: A Historical Perspective. *Thyroid*, 2023, vol. 33, no. 1, pp. 24–31. <https://doi.org/10.1089/thy.2022.0161>
16. Erimbetov K.T., Roziev R.A., Goncharova A.Ja., Zemljanoj R.A. Yodcasein is a Sustainable Functional Ingredient for the Prevention of Iodine Deficiency. *Hleboprodukty*, 2020, no. 10, pp. 33–37. (In Russ.)
17. Bol'shakova L.S., Lukin D.E., Merkulova E.G., Tolkunova N.N. Enrichment of Food Products with Iodine. *Zdorov'esberegajushhie tehnologii v VUZe: sostojanie i perspektivy*, 2018, p. 96–98. (In Russ.)
18. Bol'shakova L.S., Merkulova E.G. Correction of Iodine Deficiency with Milk Iodized Protein Bioiodine. *Vestnik OrelGIJeT*, 2015, no. 1, p. 137–140. (In Russ.)
19. Popova S.L., Zabegalova G.N. Methods for Enriching Fermented Milk Products with Iodine [Sposoby obogashheniya kislomolochnyh produktov jodom]. *Redakcionnaja kollegija*, 2019, p. 260. (In Russ.)

Информация об авторах

Савлукова Юлия Олеговна, аспирант кафедры пищевой инженерии, Уральский государственный экономический университет; лаборант-исследователь, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, yu.savlucova@yandex.ru

Ковалева Елена Германовна, кандидат химических наук, профессор кафедры технологии органического синтеза, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, e.g.kovaleva@urfu.ru

Information about the authors

Yulia O. Savlukova, PhD student of the Department of Food Engineering, Ural State University of Economics; Laboratory Research Assistant, Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia, yu.savlucova@yandex.ru

Elena G. Kovaleva, Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Organic Synthesis Technologies, Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia, e.g.kovaleva@urfu.ru

Статья поступила в редакцию 09.01.2023

The article was submitted 09.01.2023