



## РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 637.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.001

 EDN: DTQXGM

### ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МИКРОБНЫХ КОНСОРЦИУМОВ

Ирина Валерьевна Бояринева<sup>1</sup>, Ирина Сергеевна Хамагаева<sup>2</sup>,  
Варвара Дмитриевна Стёпочкина<sup>3</sup>, Виктория Ивановна Бобченко<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>1</sup> boyarineva.iv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

<sup>3</sup> vdkislitsyna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4124-6002>

<sup>4</sup> bobchenko.vi@dvfu.ru

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский государственный технологический университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия, ikhamagaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

**Аннотация.** Приведён анализ научных данных об использовании пробиотических культур, возможности совместного культивирования штамма *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и микроорганизмов кефирной закваски. Научно-исследовательским способом обоснована необходимость использования пропионовокислых бактерий с целью повышения пробиотических свойств кисломолочных продуктов. Выбор штамма *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 в качестве пробиотической культуры основан на таких аспектах, как выживаемость в агрессивной среде, адгезивные свойства, ценные производственно-технологические свойства. Главной особенностью пропионовокислых бактерий является комплексный биосинтез метаболитов, а именно витамина В<sub>12</sub>, антимуtagens, антиоксидантов. Это усиливает их ценные биохимические и пробиотические свойства. Наиболее значимой, с точки зрения технологичности, «молочной» пропионовой бактерией является штамм *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85, который может быть использован в работе самостоятельно и в сочетании с молочнокислыми бактериями. Исследования проводились на основе штамма пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и кефирной грибковой закваски. Установлено, что между пропионовокислыми бактериями и микрофлорой кефирной закваски в ходе совместного культивирования отсутствуют явления антагонизма и взаимной конкуренции. В статье приведены данные о биотехнологических и пробиотических свойствах консорциумов (комбинированных заквасок) с различным сочетанием пропионовокислых и молочнокислых микроорганизмов. Контролем служила кефирная закваска. Во всех тестовых образцах количество микробных клеток *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и молочнокислых бактерий к концу процесса ферментации достигает 10<sup>9</sup>к.о.е./см<sup>3</sup>, что наглядно свидетельствует о высокой плотности микробной популяции и сбалансированном росте заквасочных микроорганизмов в консорциуме. Определен наилучший баланс пропионовокислых бактерий и грибковой закваски 1:1 с учетом биотехнологических и биохимических свойств, в частности синтеза витамина В<sub>12</sub>. Полученный консорциум может быть рекомендован для дальнейшего использования в биотехнологии ферментированных функциональных молочных продуктов.

**Ключевые слова:** пропионовые бактерии, кефирная закваска, молочнокислые микроорганизмы, консорциум.

**Для цитирования:** Изучение биохимического потенциала микробных консорциумов / И. В. Бояринева [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 7–14. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.001. EDN: <https://elibrary.ru/DTQXGM>.

Original article

## STUDY OF THE BIOCHEMICAL POTENTIAL OF MICROBIAL CONSORTIA

Irina V. Boyarineva<sup>1</sup>, Irina S. Khamagaeva<sup>2</sup>, Varvara D. Stepochkina<sup>3</sup>,  
Victoria I. Bobchenko<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

<sup>1</sup> boyarineva.iv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

<sup>3</sup> vdkislitsyna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4124-6002>

<sup>4</sup> bobchenko.vi@dvfu.ru

<sup>2</sup> East Siberian State Technological University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia, ikhamagaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

**Abstract.** *The analysis of scientific data on the use of probiotic cultures, the possibility of joint cultivation of Propionibacterium freudenreichii Sh-85 strain and kefir starter microorganisms is presented. The necessity of using propionic acid bacteria in order to increase the probiotic properties of fermented milk products is substantiated. The selection of Propionibacterium freudenreichii Sh-85 strain as a probiotic culture is based on such aspects as survival in an aggressive environment, adhesive properties, valuable production and technological properties. The main feature of propionic acid bacteria is the complex biosynthesis of metabiotics, namely vitamin B<sub>12</sub>, antimutagens, antioxidants. This enhances their valuable biochemical and probiotic properties. The most significant, from the point of view of manufacturability, the "milk" propionic bacterium is the Propionibacterium freudenreichii Sh-85 strain, which can be used in work independently and in combination with lactic acid bacteria. It has been established that there are no antagonism and mutual competition phenomena between propionic acid bacteria and the microflora of kefir starter culture during joint cultivation. The article presents data on biotechnological and probiotic properties of consortia (combined starter cultures) with a different combination of propionic acid and lactic acid microorganisms. Kefir starter culture served as a control. In all test samples, the number of microbial cells of Propionibacterium freudenreichii Sh-85 and lactic acid bacteria reaches 10<sup>9</sup>k.o.e./cm<sup>3</sup>, which clearly indicates a high density of the microbial population and a balanced growth of starter microorganisms in the consortium. The best balance of propionic acid bacteria and fungal starter culture 1:1 has been determined, taking into account biotechnological and biochemical properties, in particular, the synthesis of vitamin B<sub>12</sub>. The resulting consortium can be recommended for further use in the biotechnology of fermented functional dairy products.*

**Keywords:** *propionic bacteria, kefir starter culture, lactic acid microorganisms, consortium.*

**For citation:** Boyarineva, I.V., Khamagaeva, I.S., Stepochkina, V.D. & Bobchenko, V.I. (2023). Study of the biochemical potential of microbial consortia. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 7-14. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.001.EDN: <https://elibrary.ru/DTQXGM>.

### ВВЕДЕНИЕ

Для сохранения и восстановления микробной экологии человека используется широкий набор микробиологических средств (пробиотики, симбиотики, комбиотики, пребиотики, синбиотики, виобиотики, включая фагобиотики, а также генно-инженерные пробиотики и метабиотики). Наиболее популярными до настоящего времени являются разнообразные по составу пробиотики, пребиотики, синбиотики и метабиотики [1, 2].

Пробиотические средства поступают на современный рынок в форме лекарственных

биопрепаратов, биологически активных добавок, пищевых продуктов на основе живых организмов. Потребление кисломолочных биопродуктов, содержащих микробные клетки и метаболиты бифидобактерий и лактобацилл, улучшает здоровье и психику человека за счет плавной коррекции нарушенной микробной экологии и целенаправленной оптимизации активности зон мозга, отвечающих за познавательные и интеллектуальные способности человека [3, 2]. Молочные продукты, такие как йогурт, сыр, мороженое и другие, считаются лучшим средством доставки пробио-

тических штаммов в желудочно-кишечный тракт человека [4]. Недавние научные исследования подтвердили важную роль пробиотиков как части здорового питания для человека и животных. Пробиотики могут стать способом обеспечения безопасного, экономически эффективного и «естественного» подхода, который создает барьер против микробной инфекции [5].

Усиление функциональной и иммуномодулирующей направленности кисломолочных биопродуктов за счет комплексного использования при их выработке определенных пробиотических штаммов заквасочных и других микроорганизмов, микробных консорциумов с заданной биологической активностью и оптимизированными ценными технологическими характеристиками, пищевых ингредиентов является весьма перспективным и актуальным инновационным направлением [2, 6, 7].

Ценными считаются микробные штаммы и консорциумы, длительно сохраняющие жизнедеятельность и биохимическую активность, зависящие не только от внешних производственных факторов (состав питательной среды, температурный режим и др.), но и от соотношения и баланса биохимически активных микробных клеток в популяциях микроорганизмов, определяющих жизнеспособность и выживаемость культур, их практическое значение в современных производственных условиях [8].

Каждый производственный пробиотический штамм молочнокислых и пропионовокислых бактерий характеризуется уникальностью по количественному и видовому признаку, разнообразием технологических свойств и биохимических процессов, а в микробном консорциуме может находиться в выраженных антагонистических и симбиотических отношениях.

Антагонистическая активность бактериальной клетки определена наличием метаболитных биологически активных веществ преимущественно белковой природы, биологический синтез которых запрограммирован генетически и может быть полностью реализован при условии соблюдения технологических параметров культивирования [9, 10, 11]. Одними из существенных производственных факторов, влияющих на чувствительность синтеза и продукцию биологически активных веществ, являются компонентный состав питательной среды, температурные режимы культивирования, определенные условия аэрации [12, 13, 14].

При ярко выраженном антагонизме наблюдается торможение микробного роста, т. е. у культур-антагонистов преобладает антимикробное влияние, и они не способны

взаимно сочетаться с культурами другого таксономического вида. А симбиотический микробный баланс и характер отношений приводит к синтезу метаболитных комплексов и взаимному усилению роста [15]. Поэтому необходимо на первом этапе конструирования комбинированных заквасок определить характер взаимоотношений между тест-культурами.

Нормальная здоровая микрофлора макроорганизма представляет собой сложную многокомпонентную и разнообразную систему, образующую важное биологическое звено в обеспечении и укреплении здоровья, нормализации и коррекции микробиома хозяина. Это определяет необходимую целесообразность конструирования микробных консорциумов, включающих пробиотические бактерии с разными механизмами биологической активности, в том числе, метаболитного синтеза.

Кефир на российском рынке является единственным кисломолочным продуктом, который производится в промышленных масштабах на кефирной грибковой закваске, представляющей спонтанное биологическое сообщество микроорганизмов разных по совместимости и антагонистической активности таксономических групп. Это микробное сообщество активно проявляет свойства самовозникновения и самоорганизации, при этом является хорошим объектом для создания пробиотического поликомпонентного биопрепарата.

Учитывая выраженный пробиотический потенциал и метаболитную активность пропионовокислых бактерий, мы предположили создание биохимически активного микробного консорциума с высокими пробиотическими свойствами на основе синергизма микроорганизмов кефирной закваски и пропионовых бактерий.

Цель работы: изучить совместимость микрофлоры закваски кефирных грибов и *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* и подобрать их оптимальное соотношение.

### МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования были проведены на кафедре «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров», в проблемно-исследовательской лаборатории ВСГУТУ. Объектами исследования служили штамм пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii Sh-85*, полученный из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИ «Генетика», активированный биотехническим методом, разработанным в Восточно-Сибирском государственном университете

технологии и управления; закваска кефирная грибковая ОСТ 10-02-02-487.

Количественный учет клеток пропионово-кислых бактерий в биомассе изучали и определяли методом предельных разведений на питательной среде ГМС или ГМК-1 по ТУ 10-02-02-789-192-95 «Гидролизатно-молочная среда для количественного учета бифидобактерий и пропионовокислые бактерии». Идентификацию тест-культур проводили при совместном культивировании методом ингибирования пропионовокислых бактерий антибиотиком тетрациклином. Количество клеток молочнокислых бактерий находили методом предельных разведений по ГОСТ 10444.11-89.

Для количественного определения летучих жирных кислот применяли метод газожидкостной хроматографии, исследование проводили на чешском хроматографе с пламенно-ионизационным детектором. Данный метод основан на получении летучих жирных кислот из продукта перегонкой, при дальнейшем их концентрировании и превращении в метиловые эфиры (этерификация была проведена в присутствии олеума в термостате при температуре 30-40 °С в течение 2 часов).

Витамин В<sub>12</sub> в биомассе определяли спектрофотометрическим методом, который заключается в отделении, промывании клеток пропионовокислых бактерий, и переводе кобаламинов в водный раствор путем гидролиза. Далее полученный раствор-гидролизат экспонировали на свету для превращения кобаламинов в оксикобаламины и определяли показатель оптической плотности при фиксированной длине волны 530 нм. Оптическая плотность раствора-гидролизата соответствует содержанию кобаламина.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Первостепенной задачей являются исследования, направленные на изучение биотехнологических и пробиотических свойств штамма *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* [16].

В ходе проведения экспериментов было установлено, что штамм *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* имеет выраженную биохимическую активность, что наглядно подтверждается непродолжительной ферментацией.

Наблюдается высокая антимуtagenная активность штамма *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* в отношении мутагенеза, эффективно индуцируемого азидом натрия, которая коррелирует с активностью биосинтеза антиоксидантных ферментов каталазы и супероксиддисмутазы.

Высокая адгезивность исследуемого штамма доказывает его способность прикрепляться к эпителиальным клеткам стенок кишечника человека, что повышает его выживаемость в агрессивных и неблагоприятных условиях желудочно-кишечного тракта. Штамм *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* проявляет хорошую адаптацию к низким значениям активной кислотности и повышенному содержанию желчных кислот, определена высокая устойчивость штамма к соли.

Доказано, что штамм *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* имеет высокий экзополисахаридный потенциал и синтезирует достаточно большое количество гемсодержащего витамина В<sub>12</sub>, что в перспективе позволит обогатить состав молочных биопродуктов и усилить их функциональное экзометаболитное действие [17].

В дальнейшем по методу Романовича были испытаны на антагонизм культуры пропионовокислых бактерий и закваски кефирных грибков.

Важно отметить, что в течение непродолжительного времени (2–3 часов) в растворе не наблюдалось изменения окраски метиленового синего. Постепенное обесцвечивание в растворе метиленового синего одновременно с тест-контролем, то есть без пропионовых культур, наблюдали по истечении 4–4,5 часов. Полное обесцвечивание в растворе через 8–10 часов доказывает отсутствие микробного антагонизма между тест-культурами кефирной закваски и пропионовокислыми бактериями. Экспериментально установлено, что культуры могут быть применены для создания пробиотического консорциума.

Следующим этапом исследования предстояло изучить влияние производственного штамма пропионовокислых бактерий на развитие и активность микрофлоры кефирной грибковой закваски (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что производственный штамм *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* активно стимулирует рост микроорганизмов закваски кефирных грибков. Возможно, это связано с тем, что микрофлора кефирных грибков использует для своего развития определенные метаболитические факторы роста, в частности витамины группы В, продуцируемые пропионовокислыми бактериями. Выраженный активный рост пропионовокислых бактерий в микробном консорциуме кефирных грибков наглядно свидетельствует о симбиотических взаимоотношениях тест-культур.

## ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МИКРОБНЫХ КОНСОРЦИУМОВ

Таблица 1 – Рост штамма *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* в растворах культуральной жидкости

Table 1 - Growth of *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* strain in culture fluid solutions

Тест-культуры и их сочетания	Логарифм клеток <i>Propionibacterium freudenreichii Sh-85</i> в различных разведениях, к.о.е./см <sup>3</sup>		
	1:4	1:8	1:16
Кефирная закваска	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>
Штамм <i>Propionibacterium freudenreichii Sh-85</i> и закваска кефирных грибков в комбинации 1:1	10 <sup>7</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>
Штамм <i>Propionibacterium freudenreichii Sh-85</i> и кефирная закваска в комбинации 1:0,8	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>
Штамм <i>Propionibacterium freudenreichii Sh-85</i> и кефирная закваска в комбинации 1:0,5	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>

+++ - активный микробный рост

++ - нормальный микробный рост

Для управления биохимическими и микробиологическими процессами культивирования и получения заквасочных культур с высокими биотехнологическими свойствами целесообразно комплексно учитывать не только воздействие отдельных видов заквасочных культур друг на друга, но и их оптимальное комбинирование [17].

При сравнительном изучении органолептических, биохимических и микробиологиче-

ских свойств определённых комбинаций заквасочных культур наблюдали различные эффекты метаболической и пробиотической активности микробных консорциумов (таблица 2). В качестве тест-контроля использовали закваску кефирных грибов. Культивирование консорциумов проводили при температуре 30 °С, оптимальной для роста культуры *Propionibacterium freudenreichii Sh-85*.

Таблица 2 – Свойства консорциумов при различном соотношении культур

Table 2 - Properties of consortia with different crop ratios

Контролируемый показатель	Свойства консорциума при различном сочетании тест-культур кефирной грибковой закваски и <i>Propionibacterium freudenreichii Sh-85</i>			
	Варианты консорциума			
	1:1	1:0,8	1:0,5	Контроль
1	2	3	4	5
Внешний вид и консистенция	Однородная, нежная, сметанообразная	Однородная, в меру вязкая	Жидкая, однородная	Однородная, с нарушенным сгустком
Вкус и запах	Кисломолочный, освежающий, мягкий	Вкус и запах чистые, кисломолочные	Выраженный кисломолочный, излишне «кефирный», слегка острый	Кисломолочный, освежающий, острый
Цвет	Молочно-белый			
Продолжительность ферментации, ч	5,5–6,0	6,5–7,0	7,0–7,5	10–12
Титруемая кислотность, °Т	72±2	76±2	78±2	85±2
Активная кислотность, рН	4,83±0,02	4,75±0,02	4,75±0,02	4,35±0,02
Содержание витамина В <sub>12</sub> , мкг/л	57,64	34,7	26,3	0,40

Продолжение таблицы 2 / Table 2 continued

1	2	3	4	5
Количество летучих жирных кислот, мл 0,1 н NaOH	1,0	0,8	0,6	0,5
Наличие диацетила	+	+	+	+
Наличие ацетоина	+	+	+	+
Содержание углекислого газа, мм	10	8	6	5
Количество <i>Propionibacterium freudenreichii</i> Sh-85, к.о.е./см <sup>3</sup>	5×10 <sup>9</sup>	2×10 <sup>9</sup>	1×10 <sup>9</sup>	-
Количество молочнокислых микроорганизмов, к.о.е./см <sup>3</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>

Согласно данным таблицы 2, микробный консорциум с сочетанием тест-культур 1:1 отличается однородной, нежной, в меру плотной консистенцией, мягким освежающим кисломолочным вкусом, имеет максимальное количество клеток пробиотических культур и витамина В<sub>12</sub>. Необходимо отметить непродолжительное время ферментации (5,5–6) часов данного варианта консорциума, что свидетельствует о проявлении высокой биохимической активности.

Варианты консорциумов, в которых преобладает кефирная грибная закваска, имеют более высокий уровень кислотности и продолжительное время ферментации. Необходимо отметить, что уменьшение количества содержания пропионовокислых бактерий в микробных консорциумах обеспечивает минимальный синтез витамина В<sub>12</sub>.

В дальнейшем определяли в консорциуме количество клеток культур пропионовокислых и молочнокислых при хранении (рисунок 1).

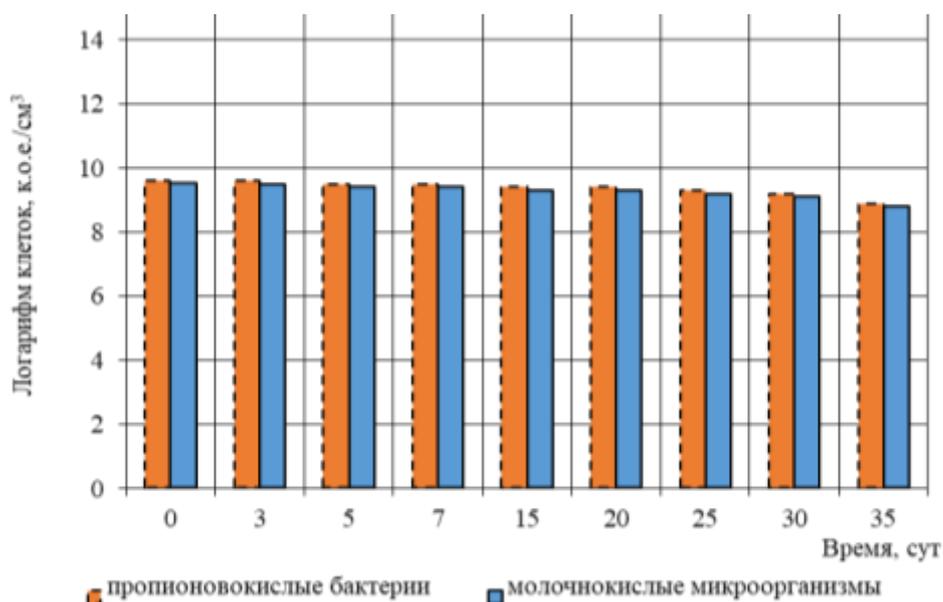


Рисунок 1 – Изменение титра жизнеспособных клеток культур при хранении

Figure 1 - Titer change of viable culture cells during storage

По полученным результатам сделан вывод, что в течение 30 суток хранения при температуре (6±2) °С количество жизнеспособных микробных клеток пробиотических культур находится на высоком уровне: 10<sup>9</sup>к.о.е./см<sup>3</sup> – пропионовокислых бактерий, 10<sup>8</sup>к.о.е./см<sup>3</sup> – молочнокислых микроорганизмов. Было установлено, что в консорциуме за этот период кислотность повышается незначительно, прирост со-

ставляет 10°Т. Наблюдается уменьшение количества клеток на 35-е сутки до 10<sup>8</sup>к.о.е./см<sup>3</sup>. Из представленных данных отслеживается, что комбинированная закваска обладает длительным сроком хранения, показан высокий уровень накопления микробных клеток пробиотических культур, по всей видимости, благодаря синтезу молочнокислыми и пропионовокислыми бактериями антимикробных веществ.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует об активном росте культуры *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* в микробном консорциуме кефирной закваски и метаболическом потенциале микроорганизмов, что доказывает наличие симбиотической связи между тест-микроорганизмами.

Динамика накопления клеток пробиотических культур к концу ферментации во всех тестируемых консорциумах достигает значительного уровня и составляет  $10^9$  к.о. е./см<sup>3</sup>, что свидетельствует о достаточно высокой плотности популяции и оптимальном сбалансированном росте тест-культур в пробиотическом консорциуме.

Таким образом, наибольшее количество жизнеспособных клеток пробиотических культур  $10^9$  к.о.е./см<sup>3</sup> и синтезируемого кобаламина 57,64 мкг/л установили в образце с соотношением культур пропионовокислых бактерий и закваски кефирных грибов 1:1. Данный консорциум имеет хорошие органолептические характеристики и гарантированный срок хранения 30 суток.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупный экспериментальный анализ пробиотического штамма *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* наглядно свидетельствует о его ценных биологических и технологических свойствах, что позволит использовать его при производстве ферментируемых молочных биопродуктов.

При изучении совместимости микроорганизмов экспериментально доказано отсутствие явлений антагонизма и взаимной конкуренции между штаммом пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* и микрофлорой кефирной закваски.

На основании изученных биотехнологических свойств и метаболической активности тестируемых культур подобрано наиболее оптимальное сочетание заквасочных культур в микробном консорциуме, позволяющее в полной мере раскрыть их технологический и пробиотический потенциал.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шендеров Б.А., Сеница А.В., Захарченко М.М. Метабиотики: вчера, сегодня, завтра. Санкт-Петербург: Крафт, 2017. 79 с.
2. Олескин А. В., Шендеров Б. А. Пробиотики, психобиотики и метабиотики: проблемы и перспективы // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2020. 2(3). с. 233-243.

3. DOI:https://doi.org/10.36425/rehab25811. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/probiotiki-psihiobiotiki-i-metabiotiki-problemy-i-perspektivy (дата обращения: 07.12.2022).

4. O'Mahony S.M., Clarke G., Borre Y.E., et al. (2014). Serotonin, tryptophan metabolism and the brain-gut-microbiome axis. *Behav Brain Res*, (277), P. 32–48. doi: 10.1016/j.bbr.2014.07.027.

5. Butel M.-J. Probiotics, gut microbiota and health, *Medecineet // Maladies Infectieuses*. 2014. №1 (44), P. 1–8. DOI: 10.1016/j.medmal.2013.10.002.

6. Parvez S., Malik K.A., Kang S. Ah and Kim H.-Y. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health // *The Society for Applied Microbiology, Journal of Applied Microbiology*. № 100(6). 2006. P. 1171–1185. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02963.x.

7. Тихомирова Н.А. Современное состояние и перспективы развития продуктов функционального назначения // *Молочная промышленность*. 2009. № 7. С. 5–8.

8. Решетник Е.И. Влияние компонентного состава на пищевую и биологическую ценность комбинированного продукта / Е.И. Решетник, Е.А. Уточкина // *Вестник ВСГУТУ*. 2013. № 2(41). С. 63-67. – EDN PZDKZB.

9. Харитонов Д.В., Харитонов И.В., Просеков А.Ю. Разработка концепции создания синбиотиков и синбиотических молочных продуктов // *Техника и технология пищевых производств*. 2013. № 4. С. 91–94.

10. Патент № 2704857 Российская Федерация, Штамм лактобактерий *Lactobacillus plantarum* - ВКПМ – В-13052 продуцент молочной кислоты и антибиотических веществ и компонент закваски для производства пробиотических продуктов / Цугкиев Б.Г., Рамонова Э.В., Соловьева Ю.В., Хозиев А.М., Кабисов Р.Г., Цугкиева И.Б., Петрукович А.Г., Ханикаев Д.Н., Абаева А.А.; Заявка 2018139600 от 08.11.2018. Оpubл. 31.10.2019. Бюл. № 31.

11. Блинкова Л.П. Бактериоцины: критерии, классификация, свойства, методы выявления // *Микробиология*. 2003. № 3. С. 109–113.

12. Hong H.A., Due H.Ie, Cutting S.M. The use bacterial spore formers as probiotics // *FEMS Microbiol. Rev*. 2005. Vol. 4. P. 813-835. DOI: 10.1016/j.femsre.2004.12.001.

13. Stein T. Bacillus subtilis antibiotics: structures, syntheses and cell death // *Mol. Microbiol. Ibid*. 2005. Vol. 4. P. 845-857. doi: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x.

14. Abdel-Mawgoud A.M., Aboulwafa M.M., Hasouna N.A. Optimization of surfactin production by Bacillus subtilis isolate BS5 // *Appl. Biochem. Biotechnol*. 2008. № 3. P. 305–325.

15. Jamil B., Hasan F., Hameed A. Isolation of Bacillus subtilis MH-4 from soil and its potential of polypeptidic antibiotic production // *Pak. J. Pharm. Sci*. 2007. Vol. 1. P. 26–31.

16. Muhammad S.A., Ahmad S., Hameed A. Antibiotic production by thermophilic Bacillus specie SAT 4 // *Pak. J. Pharm. Sci*. 2009. Vol. 3. P. 339–345.

17. Boiarineva I.V., Zambalova N.A., Khamagaeva I.S. Technological aspects of innovative milk-based bioproducts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science // Earth Environ. Sci*. 1052 (2022) 012069. on 24.08.2022 at 05:02. P. 1–9. doi:10.1088/1755-1315/1052/1/012069.

18. Бояринева И.В. Теоретические и практические аспекты создания инновационных биопродуктов для функционального питания с использованием консорциума молочнокислых и пропионовокислых бактерий; автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. Улан-Удэ. 2020. 36 с.

## Информация об авторах

И. В. Бояринева – д.т.н., профессор базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института

биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

И. С. Хамагаева – д.т.н., профессор, кафедра «Технология продуктов животного происхождения», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления.

В. Д. Степочкина – аспирант базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

В. И. Бобченко – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

## REFERENCES

1. Shenderov, B.A., Sinitsa, A.V. & Zakharchenko, M.M. (2017). Metabiotics: yesterday, today, tomorrow. St. Petersburg: Kraft. (In Russ.).
2. Oleskin, A.V. & Shenderov, B.A. (2020). Probiotics, prebiotics and metabiotics: problems and prospects // Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. 2(3). 233-243. DOI: <http://doi.org/10.36425/rehab25811>. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/probiotiki-pisihobiotiki-i-metabiotiki-problemy-i-perspektivy>. (In Russ.).
3. O'Mahony, S.M., Clarke, G., Borre, Y.E. & et al. (2014). Serotonin, tryptophan metabolism and the brain-gut-microbiome axis. Behav Brain Res. 32-48. doi: 10.1016/j.bbr.2014.07.027.
4. Butel, M.-J. (2014). Probiotics, gut microbiota and health, Medecineet Maladies Infectieuses, 1(44). 1-8. DOI: 10.1016/j.medmal.2013.10.002.
5. Parvez, S., Malik, K.A., Kang, S. Ah and Kim H.-Y. (2006). Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. The Society for Applied Microbiology, *Journal of Applied Microbiology*. 100(6). 1171-1185. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02963.x.
6. Tikhomirova, N.A. (2009). The current state and prospects of development of functional products. Dairy industry. (7). 5-8. (In Russ.).
7. Reshetnik, E.I. & Utochkina, E.A. (2013). Influence of the component composition on the nutritional and biological value of the combined product. Bulletin of VSGUTU. 2(41). 63-67. EDN PZDKZB. (In Russ.).
8. Kharitonov, D.V. Kharitonova, I.V. & Prosekov, A.Yu. (2013). Development of the concept of creating synbiotics and synbiotic dairy products. Technique and technology of food production. (4). 91-94. (In Russ.).
9. Tsugkiev, B.G., Ramonova, E.V., Soloviev, Yu.V., Khoziev, A.M., Kabisov, R.G., Tsugkieva, I.B., Petrukovich, A.G., Khanikaev, D.N. & Abaeva, A.A. (2019). Lactobacillus plantarum lactobacillus strain - VKPM – B-13052 producer of lactic acid and antibiotic substances and a component of starter culture for the production of probiotic products. Pat. 2704857. Russian Federation. Publ. of 31Okt2019. (In Russ.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 20 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

10. Blinkova, L.P. (2003). Bacteriocins : criteria, classification, properties, methods of detection. Microbiology. (3). 109-113. (In Russ.).

11. Hong, H.A., Due, H.Ie. & Cutting, S.M. (2005). The use bacterial spore formers as probiotics. FEMS Microbiol. Rev. (4). 813-835. DOI: 10.1016/j.femsre.2004.12.001.

12. Stein, T. (2005). Bacillus subtilis antibiotics: structures, syntheses and cell death. Mol. Microbiol. Ibid. (4). 845-857. doi: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x.

13. Abdel-Mawgoud, A.M., Aboulwafa, M.M. & Hasouna, N.A. (2008). Optimization of surfactin production by Bacillus subtilis isolate BS5. Appl. Biochem. Biotechnol. (3). 305-325. doi: 10.1007/s12010-008-8155-x.

14. Jamil, B., Hasan, F. & Hameed, A. (2007). Isolation of Bacillus subtilis MH-4 from soil and its potential of polypeptidic antibiotic production. Pak. J. Pharm. Sci. (1). 26-31.

15. Muhammad, S.A., Ahmad, S. & Hameed, A. (2009). Antibiotic production by thermophilic Bacillus specie SAT 4. Pak. J. Pharm. Sci. (3). 339-345.

16. Boiarineva, I.V., Zambalova, N.A. & Khamagaeva, I.S. (2022). Technological aspects of innovative milk-based bioproducts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Earth Environ. Sci. 1052 012069. on 24.08.2022 at 05:02. 1-9. doi:10.1088/1755-1315/1052/1/012069.

17. Boyarineva, I.V. (2020). Theoretical and practical aspects of creating innovative bioproducts for functional nutrition using a consortium of lactic acid and propionic acid bacteria. Doctor's thesis. Ulan-Ude. (In Russ.).

## Information about the authors

I.V. Boyarineva - Doctor of Technical Sciences, professor of the «Basic Department of Bioeconomics and Food Security» of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Federal State Autonomous educational institution of higher education «Far Eastern Federal University».

I.S. Khamagaeva - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Technology of animal products", East Siberian State Technological University of Technology and Management.

V.D. Stepochkina - post-graduate student of the «Basic Department of Bioeconomics and Food Security» of the «Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Federal State Autonomous educational institution of higher education «Far Eastern Federal University».

V.I. Bobchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the «Basic Department of Bioeconomics and Food Security» of the «Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Federal State Autonomous educational institution of higher education «Far Eastern Federal University».