

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ЙОГУРТОВЫХ КУЛЬТУР И БИФИДОБАКТЕРИЙ ПРИ ИХ СОКУЛЬТИВИРОВАНИИ В МОЛОКЕ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Анастасия Владимировна Бекпергенова¹, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории инфекционной симбиологии
E-mail: me@bekpergenova.ru

Наталья Борисовна Перунова, д-р мед. наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник лаборатории инфекционной сибологии¹, главный научный сотрудник²
E-mail: nbperunova@yandex.ru

¹Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, г. Оренбург

²Университетский НИИ медицинских биотехнологий и биомедицины, Тюменский медицинский университет, г. Тюмень

В условиях возрастающего интереса к пробиотическому йогурту как функциональному продукту, способствующему укреплению здоровья человека, исследования сосредоточены на поиске новых пробиотических штаммов микроорганизмов, в том числе бифидобактерий. В процессе совместного культивирования микробные культуры могут проявлять антагонистическую активность и конкурировать за питательные вещества. В связи с этим целью работы явилось изучение численности культур *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* и штаммов бифидобактерий *Bifidobacterium bifidum* ICIS-310, *Bifidobacterium longum* ICIS-505 в условиях совместного культивирования в молоке на протяжении 21 суток. В процессе сокультивирования штаммов в исследуемых пробах оценивали численность бактерий каждого вида, а также определяли кислотность и внешние признаки продукта (на 1, 7, 14 и 21 сутки). Установлено, что совместное культивирование традиционных микроорганизмов, используемых при производстве йогуртов со штаммами *B. bifidum* ICIS-310 и *B. longum* ICIS-505 в течение 21 суток не вызывает статистически значимого снижения их численности или ухудшения органолептических показателей продукта. Использование штаммов *B. bifidum* ICIS-310 и *B. longum* ICIS-505 в комбинации с промышленными йогуртовыми культурами перспективно для создания новых продуктов функционального питания. В дальнейшем интерес представляют исследования механизмов метаболического взаимодействия между изучаемыми штаммами, а также оценка иммуномодулирующей активности конечного продукта *in vivo*.

Ключевые слова: молоко, йогурт, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, микроорганизмы, сокультивирование микроорганизмов

Для цитирования: Бекпергенова, А. В. Динамика численности йогуртовых культур и бифидобактерий при их сокультивировании в молоке / А. В. Бекпергенова, Н. Б. Перунова // Молочная промышленность. 2025. № 5. С. 26–32. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-5-55>

ВВЕДЕНИЕ

Для восполнения пробелов в современном рационе питания необходимо дополнять традиционные продукты специализированными биологически-активными комплексами, обеспечивающими организм необходимыми витаминами, минералами, микроэлементами, антиоксидантами и другими важными веществами. Концепция функционального питания имеет множество трактовок, однако, в соответствии с европейским консенсусом, функциональное питание, помимо своей основной питательной ценности, способствует укреплению здоровья и снижению риска возникновения заболеваний¹ [1, 2].

В ряду функциональных продуктов, созданных на основе молока, особое место занимает йогурт – кисломолочный продукт, который снижал широкую известность и признание во всем

мире благодаря своей высокой питательной ценности. Это обусловлено значительным содержанием катионов кальция, магния, калия и других минералов, а также витаминов (А, бета-каротина, Е, К, В₂, В₃, В₄, В₅, В₉), что делает йогурт не только вкусным, но и полезным для организма [3–7].

Традиционно натуральный йогурт без каких-либо добавок получают путем внесения в молоко микроорганизмов, которые вызывают процесс молочнокислого брожения, таких, как термофильный стрептококк и лактобактерии. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (*L. bulgaricus*) обладает антимикробной активностью против патогенных и условно-патогенных микроорганизмов кишечника, а *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* (*S. thermophilus*) образует внеклеточные полисахариды, углеводбелковые комплексы, состоящие из глюкозы, галактозы, рамнозы и аминокислот,

¹Functional Foods (Электронный ресурс).

URL: https://publications.europa.eu/resource/cellar/238407ee-0301-4309-9fac-e180e33a3f89.0001.02/DOC_1 (дата обращения 18.03.2025)



Источник изображения: freepik.com

что обеспечивает продукту консистенцию и предотвращает синерезис [8]. Симбиотические отношения между этими видами реализуются на метаболическом уровне. В процессе размножения *S. thermophilus* продуцирует пировиноградную, муравьиную кислоты и углекислый газ, которые способствуют росту *L. bulgaricus*. В свою очередь, *L. bulgaricus* гидролизует молочные белки в пептиды и аминокислоты, которые стимулируют рост *S. thermophilus* [9].

В связи с возрастающим интересом к йогурту как функциональному продукту с пробиотическими свойствами активно проводится поиск новых штаммов бактерий, в т. ч. бифидобактерий, с целью включения их в состав продукта совместно с известными заквасочными культурами. Бифидобактерии представляют собой ключевую группу пробиотических микроорганизмов, широко применяемых в производстве ферментированных молочных продуктов и играющих существенную роль в формировании кишечной микробиоты человека [10, 11]. Многочисленные исследования *in vitro* и *in vivo* подтвердили наличие у бифидобактерий выраженных пробиотических свойств, включая иммуномодулирующее действие и регуляцию метаболических процессов [12–17].

Многочисленные исследования с использованием различных штаммов лакто- и бифидобактерий как *in vitro*, так и *in vivo* показали их эффективность в схеме лечения инфекционных и соматических заболеваний [18, 19]. При этом разработка новых молочных продуктов с использованием пробиотических культур должна учитывать ряд ключевых факторов, влияющих на процесс ферментации, качество продукта и его конечную приемлемость для потребителей [10]. Несмотря на то что культуры *Bifidobacterium* spp. входят в состав молочных продуктов, они имеют ряд недостатков по сравнению с традиционными

молочнокислыми бактериями [20]. Бифидобактерии характеризуются замедленным ростом и образованием кислоты в коровьем молоке, а также нуждаются в продолжительном процессе ферментации, создании анаэробной среды и поддержании низкого окислительно-восстановительного потенциала, что ограничивает возможность их применения в молочной промышленности [21]. Помимо этого, в процессе совместного культивирования термофильных стрептококков и лактобактерий с бифидобактериями заквасочные штаммы могут проявлять антагонистическую активность и конкурировать за питательные вещества, что, в свою очередь, может привести к снижению численности пробиотических культур при производстве йогурта и хранении готового продукта [22, 23].

В связи с этим **целью данной работы** явилось изучение численности культур *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* и штаммов бифидобактерий *Bifidobacterium bifidum* ICIS-310, *Bifidobacterium longum* ICIS-505 в условиях совместного культивирования в молоке на протяжении 21 суток.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Культуры. Лиофилизированная композиция культур *Bifidobacterium bifidum* ICIS-310 (*B. bifidum* ICIS-310) и *Bifidobacterium longum* ICIS-505 (*B. longum* ICIS-505), содержащая не менее 1×10^{11} КОЕ/г микроорганизмов. Ранее авторами изучены пробиотические свойства данной композиции штаммов в условиях *in vitro* [24].

Streptococcus salivarius subsp. *thermophilus* (*S. thermophilus*) и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (*L. bulgaricus*), входят в состав лиофилизированной закваски FD DVS TF-L811 – Yo-Flex (Chr. Hansen, Дания), содержащей не менее 5×10^{10} КОЕ/г микроорганизмов.

Исследования проводили на стерильном пастеризованном молоке 2,5 % жирности «Молоко Оренбуржья» («А7 Агро», г. Оренбург). Стерилизацию молока проводили при температуре 120 °С в течение 15 мин. Стерильное молоко в объеме 300 мл нагревали до температуры 40–42 °С. Затем в нагретое молоко вносили лиофилизированные заквасочные культуры *S. thermophilus* и *L. bulgaricus* и композицию культур *B. bifidum* ICIS-310 и *B. longum* ICIS-505.

Используемое количество лиофилизированной закваски (согласно инструкции к заквасочным культурам) на 300 мл молока составляло 0,0075 г, исследуемой лиофилизированной композиции бифидобактерий на 300 мл молока – 0,009 г.

Исследования по сокультивированию заквасочных культур и используемой композиции бифидобактерий в молоке (по технологическим рекомендациям к закваске FD DVS TF-L811 – Yo-Flex) проводились с использованием двух контрольных и одной опытной проб. Контрольные пробы подготавливали следующим образом: в 300 мл прогретого молока 2,5 % жирности вносили лиофилизированные заквасочные культуры *S. thermophilus* и *L. bulgaricus* (контрольная проба 1) и композицию культур *B. bifidum* ICIS-310 и *B. longum* ICIS-505 (контрольная проба 2). Для приготовления опытной пробы в 300 мл прогретого молока одновременно вносили лиофилизированные культуры *S. thermophilus* и *L. bulgaricus*, входящие в состав закваски FD DVS TF-L811 – Yo-Flex (0,0075 г) и лиофилизированную композицию культур *B. bifidum* ICIS-310 и *B. longum* ICIS-505 (0,009 г) в соотношении 1:1 (опытная проба).

Все исследования проводились в пяти последовательных повторах: на 1, 7, 14 и 21 сутки.

После внесения всех исследуемых культур проводили перемешивание проб во флаконах в течение 15 мин, а затем инкубировали в шейкере-инкубаторе Environmental shaker-incubator ES-20 (BioSan, Латвия) без покачивания при температуре 40–42 °С.

На первые сутки исследования определяли показатели кислотности контрольных и опытной проб (рН-метр F20-Standard, Mettler Toledo, Швейцария) после внесения закваски и культур (точка «0»), через два часа после точки «0», далее ориентировались на значение рН и сокращали время между

замерами по уровню падения рН. Останавливали сквашивание при рН = 4,65–4,55. Оценивали гомогенность, консистенцию, запах и цвет образцов.

Полученную опытную и контрольные пробы после культивирования охлаждали в ледяной воде 15 мин, затем помещали в холодильник при температуре 4 ± 1 °С на хранение. У исследуемых проб на 7, 14 и 21 сутки определяли кислотность, оценивали органолептические свойства.

Выделение исследуемых штаммов. Для выращивания культур использовали плотную питательную среду Шедлер-агар (HiMedia Laboratories, Индия) следующего состава: триптон-соевый бульон (Oxoid CM0129) 10,0 г/л, пептон 5,0 г/л, дрожжевой экстракт 5,0 г/л, глюкоза 5,0 г/л, цистеин HCl 0,4 г/л, хемин 0,01 г/л, трис-буфер 0,75 г/л, агар 13,5 г/л. Инкубацию проводили при 37 ± 1 °С в CO₂-инкубаторе (Binder, Германия) в течение 48 ч (CO₂ – 9 %; O₂ – 0,6 %).

Культуральные свойства. В контрольных и опытной пробах (смешанные культуры) штаммы различали по морфотипам. При росте на твердой питательной среде Шедлер-агар *S. thermophilus* образовывал мелкие, плоские, полупрозрачные колонии. На Шедлер-агаре штаммы *L. bulgaricus* образовывали белые, округлые, мелкие, блестящие колонии. Культура *B. bifidum* ICIS-310 на питательной среде образовывала белые, творожистые, средние, блестящие колонии. При росте на твердой питательной среде Шедлер-агар *B. longum* ICIS-505 образовывал белые, творожистые, средние, звездчатые, матовые колонии.

Определение морфологических признаков культур проводили с помощью инвертированного микроскопа AXIO Observer A1 (Германия). В мазках, окрашенных по Граму, *S. thermophilus* представлял собой грамположительные шарообразные и эллипсоидные клетки диаметром 0,7–0,9 мкм, спор и капсул не образовывал. Культура *L. bulgaricus* – грамположительные палочки размером 0,5–0,6 мкм, без капсул, расположенные одиночно либо цепочками. Культура *B. bifidum* ICIS-310 – грамположительные неподвижные палочки длиной 4,0–5,0 мкм с утолщением на одном или двух концах, расположенные в виде отдельных клеток или скоплений. Культуры *B. longum* ICIS-505 представляли собой грамположительные неподвижные палочки с раздвоениями или булабовидными утолщениями на одном или двух концах длиной 4,0–5,0 мкм, расположенные в виде отдельных клеток или скоплений.



Источник изображения: freerik.com

Идентификацию штаммов проводили с использованием масс-спектрометра VITEK MS (BioMerieux, Франция), на базе бактериологической лаборатории Научного исследовательского центра Оренбургского государственного медицинского университета (руководитель канд. мед. наук, доцент С. Д. Борисов, г. Оренбург).

Определение культуральных свойств, морфологических признаков и идентификацию штаммов, выделенных из закваски FD DVS TF-L811 – Yo-Flex и композиции бифидобактерий, проводили на всех этапах исследования (до внесения в молоко, на 7, 14 и 21 сутки).

Численность культур выражали в колониеобразующих единицах на мл (КОЕ/мл). Содержимое контрольных и опытной пробы брали в объеме 0,1 мл и разводили физиологическим раствором (метод серийных разведений), а затем производили секторальный рассев по Gould. Количество микроорганизмов в пробах (5,5–7 ч) и на 21 сутки хранения, должно составлять не менее 1×10^6 КОЕ/мл (согласно ТР ТС 033/2013).

Статистический анализ. Для статистического анализа использовались программы Statistica 10.0 (StatSoft, США) и Excel (Microsoft Office Excel 2010). Все исследования представляют собой меру среднего и стандартного отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования определяли активную кислотность (pH) в контрольных и опытной пробах в течение первых суток эксперимента (табл. 1).

Время достижения уровня pH $4,64 \pm 0,005$ для опытной пробы составляет 7 ч. При этом контрольная проба 1, содержащая в своем составе только заквасочные культуры достигала необходимого pH за 6 ч 30 мин.

Параллельно с определением кислотности проб были оценены внешние признаки и численность (КОЕ/мл) культур в первые сутки и при хранении в условиях холодильника (4 ± 1 °C).

В контрольной пробе 1 и опытной пробе образование сгустка отмечалось на 3 ч культивирования, запах был кисловатый, цвет белый, без посторонних добавок и запахов, консистенция однородная. Видимое загустение в этих пробах отмечалось на 4 ч термостатирования. К 5–6 ч пробы были гомогенные, консистенция соответствовала йогурту, была однородная, запах был свойственный кислому продукту, цвет белый, без посторонних добавок и запахов. Однако контрольная проба 2, содержащая только композицию бифидобактерий, не изменяла органолептические свойства на протяжении всего термостатирования и оставалась жидкой. К 7 ч инкубации проба приобретала кисловатый запах. Численность культур в двух контрольных и одной опытной пробе была не менее 10^8 КОЕ/мл.

Таблица 1. Значения pH контрольных и опытной проб в разные временные точки исследований

Время культивирования	Значения pH		
	Контрольная проба 1	Контрольная проба 2	Опытная проба
Точка «0»	$6,65 \pm 0,03$	$6,61 \pm 0,01$	$6,62 \pm 0,02$
2 ч	$6,46 \pm 0,01$	$6,54 \pm 0,01$	$6,47 \pm 0,01$
3 ч	$6,25 \pm 0,01$	$6,56 \pm 0,01$	$6,31 \pm 0,01$
4 ч	$5,37 \pm 0,01$	$6,55 \pm 0,00$	$5,41 \pm 0,01$
4 ч 30 мин	$5,15 \pm 0,01$	$6,52 \pm 0,01$	$5,21 \pm 0,00$
5 ч	$5,01 \pm 0,01$	$6,54 \pm 0,01$	$5,04 \pm 0,04$
5 ч 30 мин	$4,80 \pm 0,01$	$6,53 \pm 0,01$	$4,92 \pm 0,02$
6 ч	$4,73 \pm 0,01$	$6,51 \pm 0,01$	$4,85 \pm 0,01$
6 ч 30 мин	$4,61 \pm 0,01$	$6,50 \pm 0,01$	$4,75 \pm 0,00$
7 ч	$4,54 \pm 0,01$	$6,53 \pm 0,00$	$4,64 \pm 0,01$

Примечание: пределы допускаемой погрешности преобразователя $\pm 0,02$; результаты в таблице представлены как $M \pm m$ (среднее значение \pm стандартное отклонение).

На следующем этапе (временные точки – 7, 14 и 21 сутки) также определяли кислотность, органолептические свойства и численность культур в пробах, находящиеся на хранении в условиях холодильника (табл. 2).

Контрольная проба 1, содержащая заквасочные культуры, имела более густую консистенцию по сравнению с опытной пробой. Контрольная проба 2, содержащая композицию бифидобактерий, имела легкий кисловатый запах, цвет белый, без посторонних добавок и однородную консистенцию. На 7, 14 и 21 сутки контрольная проба 2 оставалась жидкой. Кроме того, pH опытной пробы на 21 сутки достоверно не отличался от контрольных проб в этом же временном диапазоне.

Совместное культивирование заквасочных культур и композиции бифидобактерий не приводило к снижению количества термофильных стрептококков и лактобацилл, численность которых варьировала аналогично данным контрольной пробы 1. Численность обоих штаммов бифидобактерий на первые сутки исследований составляла не менее 10^8 КОЕ/мл, далее с 7 суток численность сохранялась в исследуемых образцах в количестве не менее 10^8 – 5×10^7 КОЕ/мл.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования свидетельствуют о том, что совместное культивирование традиционных микроорганизмов, используемых при производстве йогуртов (*Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) со штаммами *Bifidobacterium bifidum* ICIS-310 и *Bifidobacterium longum* ICIS-505 в течение 21 суток не вызвали статистически значимого снижения их жизнеспособности или ухудшения органолептических показателей продукта.

Концентрация как заквасочных культур, так и бифидобактерий сохранялась в пределах 10^7 – 10^8 КОЕ/мл на протяжении всего периода хранения, что соответствует требованиям Технического регламента Таможенного союза 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013. Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 г. № 67). Полученные данные коррелируют с литературными сведениями о способности бифидобактерий адаптироваться к кисломолочной среде при соблюдении оптимальных технологических параметров [20].

Таблица 2. Кислотность исследуемых проб, органолептические свойства и численность культур на 7, 14 и 21 сутки

	Контрольная проба 1	Контрольная проба 2	Опытная проба
7 сутки			
pH	4,52 ± 0,01	6,48 ± 0,01	4,55 ± 0,01
Численность, КОЕ/мл	не менее 10^8	не менее 10^8	не менее 10^8
Органолептические свойства	Проба однородная, консистенция соответствует йогурту, запах свойственный кисломолочному продукту, цвет белый, без посторонних добавок	Загустения не происходит, запах кисловатый, цвет белый, без посторонних добавок, консистенция однородная	Проба однородная, консистенция соответствует йогурту, однородная, запах свойственный кисломолочному продукту, цвет белый, без посторонних добавок
14 сутки			
pH	4,5 ± 0,01	5,74 ± 0,01	4,52 ± 0,01
Численность, КОЕ/мл	не менее 5×10^7	не менее 5×10^7	не менее 10^8
Органолептические свойства	Проба однородная, консистенция однородная, сыворотка в верхнем слое (5 мм), запах свойственный кисломолочному продукту, цвет белый, без посторонних добавок	Загустения не происходит, запах кисловатый, цвет белый, без посторонних добавок, консистенция однородная	Проба однородная, консистенция соответствует йогурту, однородная, запах свойственный кисломолочному продукту, цвет белый, без посторонних добавок
21 сутки			
pH	4,48 ± 0,01	4,53 ± 0,01	4,47 ± 0,01
Численность, КОЕ/мл	не менее 5×10^7	не менее 5×10^7	не менее 5×10^7
Органолептические свойства	Проба однородная, консистенция однородная, соответствует йогурту, запах свойственный кисломолочному продукту, цвет белый, без посторонних добавок	Загустения не происходит, запах кисловатый, цвет белый, без посторонних добавок, консистенция однородная	Проба однородная, консистенция соответствует йогурту, однородная, запах свойственный кисломолочному продукту, цвет белый, без посторонних добавок

Существенным аспектом исследования является отсутствие антагонизма между изучаемыми микроорганизмами, что подтверждает штаммовую специфичность биологических свойств бактерий и диктует необходимость подбора определенных штаммов для создания мультиштаммовой пробиотической композиции [25].

Отсутствие антагонистических взаимодействий между культурами, вопреки гипотезе о конкуренции бактерий за питательные вещества, может быть связано с продукцией ростостимулирующих факторов, способствующих развитию молочнокислых микроорганизмов. К примеру, низкая протеолитическая активность некоторых штаммов бифидобактерий компенсируется их синергизмом с протеаз-позитивными видами (*L. bulgaricus* и *S. thermophilus*) за счет повышения доступности глутамина и аргинина, что может усиливать бифидогенный эффект [26, 28]. Бифидобактерии, обладая ограниченной способностью к гидролизу казеина [26], используют олигопептиды, продуцируемые *L. bulgaricus* за счет протеазной активности (PrtP-система). В свою очередь, синтез ацетата и фолатов бифидобактериями стимулирует рост лактобактерий [29], что подтверждает гипотезу перекрестного питания в мультиштаммовых композициях [30].

Органолептический анализ показал стабильность характеристик обогащенного йогурта: сохранение однородной консистенции, типичного белого цвета и выраженного кисломолочного аромата. Эти наблюдения подтверждают выводы о том,

что подбор пробиотических штаммов не обязательно приводит к дестабилизации текстуры продукта. В то же время сниженная вязкость контрольной пробы 2 (содержащей исключительно бифидобактерии) свидетельствует о ключевой роли *S. thermophilus* и *L. bulgaricus* в формировании реологической структуры йогурта, что согласуется с данными К. J. Aryana et al. [7].

Таким образом, использование штаммов *B. bifidum* ICIS-310 и *B. longum* ICIS-505 в комбинации с промышленными йогуртовыми заквасками имеет перспективу применения при создании продуктов с пробиотическими характеристиками, соответствующих современным трендам здорового питания.

Использование культур бифидобактерий позволяет производить функциональные пищевые продукты с пролонгированным сроком хранения и сохраненными качественными и количественными показателями.

Включение исследуемых культур в состав йогуртов может способствовать улучшению их функциональных свойств без ущерба для органолептических и технологических характеристик.

Перспективным направлением дальнейших исследований является углубленное изучение метаболического взаимодействия между исследуемыми штаммами при длительном хранении, а также оценка пробиотических свойств, в т. ч. иммуномодулирующей активности конечного продукта в условиях *in vivo*. ■

Поступила в редакцию: 15.05.2025
Принята в печать: 19.09.2025

VIABILITY OF YOGURT STARTER CULTURES AND BIFIDOBACTERIA IN CO-CULTURED MILK

Anastasia V. Bekpergenova¹, Natalia B. Perunova^{1,2}

¹Institute of Cellular and Intracellular Symbiosis, Orenburg

²Tyumen Medical University, Tyumen

ORIGINAL ARTICLE

Probiotic yogurt as a popular functional product that promotes human health. Bifidobacteria offer new probiotic strains. However, co-cultivation may trigger antagonistic activity in microbial cultures that have to compete for nutrients. In this research, we counted *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* cultures cultivated with strains of *Bi idobacterium bi idum* ICIS-310 and *Bi idobacterium longum* ICIS-505 in milk for 21 days. The count, pH tests, and appearance description were performed on days 1, 7, 14, and 21. The co-cultivation of industrial yoghurt production microorganisms with *B. bifidum* ICIS-310 and *B. longum* ICIS-505 strains for 21 days reduced neither their count nor the sensory profile of the finished product. After further research into their metabolic interaction and immunomodulatory effect *in vivo*, the consortium may reveal some prospects for the functional food industry.

Keywords: milk, yogurt, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, microbial count, microbial co-cultivation

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев, А. Н. Перспективы использования антиоксидантов / А. Н. Пономарев [и др.] // Молочная промышленность. 2008. № 6. С. 80–81. <https://elibrary.ru/lpwfdd>
2. Петров, В. П. Функциональное питание / В. П. Петров, И. А. Магдич // Педиатр. 2017. Т. 8, № S1. С. M257–M258. <https://elibrary.ru/zwfvel>
3. Coisson, J. D. Euterpeoleraea juice as a functional pigment for yogurt / J. D. Coisson [et al.] // Food Research International. 2005. Vol. 38(8–9). P. 893–897. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.03.009>
4. Savaiano, D. A. Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review / D. A. Savaiano, R. W. Hutkins // Nutrition Reviews. 2021. Vol. 79(5). P. 599–614. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa013>
5. El-Abbadi, N. H. Yogurt: role in healthy and active aging / N. H. El-Abbadi, M. C. Dao, S. N. Meydani // The American Journal of Clinical Nutrition. 2014. Vol. 99(5). P. 1263–1270. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.073957>
6. Ivanov, G. Y. Functional Yogurt fortified with Phenolic compounds extracted from Strawberry Press Residues and fermented with probiotic lactic acid Bacteria / G. Y. Ivanov, M. R. Dimitrova // Pakistan Journal of Nutrition. 2019. Vol. 18(6). P. 530–537. <https://doi.org/10.3923/pjn.2019.530.537>
7. Aryana, K. J. A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products / K. J. Aryana, D. W. Olson // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100(12). P. 9987–10013. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981>
8. Гудков, А. В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / А. В. Гудков. – М.: ДеЛи-Принт, 2003. – 800 с.
9. Agustinah, W. Yogurt making as a tool to understand the food fermentation process for nonscience participants / W. Agustinah, R. E. Warjoto, M. Canti // Journal of Microbiology and Biology Education. 2019. Vol. 20(1). <https://doi.org/10.1128/jmbe.v20i1.1662>
10. Li, C. Influence of *Lactobacillus plantarum* on yogurt fermentation properties and subsequent changes during postfermentation storage / C. Li [et al.] // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100(4). P. 2512–2525. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11864>
11. Sanders, M. E. An update on the use and investigation of probiotics in health and disease / M. E. Sanders [et al.] // Gut. 2013. Vol. 62(5). P. 787–796. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2012-302504>
12. Din, A. U. Inhibitory effect of *Bifidobacterium bifidum* ATCC 29521 on colitis and its mechanism / A. U. Din [et al.] // The Journal of Nutritional Biochemistry. 2020. Vol. 79. 108353. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108353>
13. Shang, J. Potential Immunomodulatory Activity of a Selected Strain *Bifidobacterium bifidum* H3-R2 as Evidenced *in vitro* and in Immunosuppressed Mice / J. Shang [et al.] // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.02089>
14. van der Hee, B. Microbial regulation of host physiology by short-chain fatty acids / B. van der Hee, J. M. Wells // Trends in Microbiology. 2021. Vol. 29(8). P. 700–712. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.02.001>
15. Álvarez-Mercado, A. I. *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* CECT 7210 reduces inflammatory cytokine secretion in Caco-2 cells cultured in the presence of *Escherichia coli* CECT 515 / A. I. Álvarez-Mercado [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23(18). 10813. <https://doi.org/10.3390/ijms231810813>
16. He, B.-L. *Bifidobacterium* spp. as functional foods: A review of current status, challenges, and strategies / B. L. He [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. 63(26). P. 8048–8065. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2054934>
17. Zhang, H. *Bifidobacterium animalis* ssp. *Lactis* 420 Mitigates Autoimmune Hepatitis Through Regulating Intestinal Barrier and Liver Immune Cells / H. Zhang [et al.] // Frontiers in Immunology. 2020. Vol. 11. 569104. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.569104>
18. Grimm, V. Bifidobacteria-host interactions—an update on colonisation factors / V. Grimm, C. Westermann, C. U. Riedel // BioMed Research International. 2014. Vol. 10. 960826
19. Tojo, R. Intestinal microbiota in health and disease: role of bifidobacteria in gut homeostasis / R. Tojo, A. Suarez, M. G. Clemente // World Journal of Gastroenterology. 2014. Vol. 20(41). P. 15163–15176. <https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i41.15163>
20. Prasanna, P. H. P. Screening human intestinal *Bifidobacterium* strains for growth, acidification, EPS production and viscosity potential in low-fat milk / P. H. P. Prasanna, A. S. Grandison, D. Charalampopoulos // International Dairy Journal. 2012. Vol. 23(1). P. 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.008>
21. Prasanna, P. H. P. Effect of dairy-based protein sources and temperature on growth, acidification and exopolysaccharide production of *Bifidobacterium* strains in skim milk / P. H. P. Prasanna, A. S. Grandison, D. Charalampopoulos // Food Research International. 2012. 47(1). P. 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.01.004>
22. Bandiera, N. S. Viability of probiotic *Lactobacillus casei* in yoghurt: defining the best processing step to its addition / N. S. Bandiera [et al.] // Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2013. Vol. 63(1). <https://alanrevista.org/ediciones/2013/1/art-8>
23. Грязнова, М. В. Динамика изменения бактериального состава молочной основы в процессе ферментации / М. В. Грязнова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 3. С. 554–564. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2456>; <https://elibrary.ru/sojitrn>
24. Перунова, Н. Б. Пробиотические свойства композиции индигенных штаммов *Bifidobacterium bifidum* ICIS-310 и *Bifidobacterium longum* ICIS-505 в условиях *in vitro* / Н. Б. Перунова [и др.] // Биопрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2025. Т. 25, № 2. С. 203–213. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2025-565>; <https://elibrary.ru/hhzyvw>
25. Chapman, C. M. C. *In vitro* evaluation of single- and multi-strain probiotics: Inter-species inhibition between probiotic strains, and inhibition of pathogens / C. M. C. Chapman, G. R. Gibson, I. Rowland // Anaerobe. 2012. Vol. 18(4). P. 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.05.004>
26. Warda, A. K. A Postbiotic Consisting of Heat-Treated Lactobacilli Has a Bifidogenic Effect in Pure Culture and in Human Fermented Fecal Communities / A. K. Warda [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. 2021. Vol. 87(8). e02459-20. <https://doi.org/10.1128/aem.02459-20>
27. Markakiou, S. Harnessing the metabolic potential of *Streptococcus thermophilus* for new biotechnological applications / S. Markakiou, P. Gaspar, E. Johansen [et al.] // Current Opinion in Biotechnology. 2020. Vol. 61. P. 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.019>
28. Xiao, J. Effects of milk products fermented by *Bifidobacterium longum* on blood lipids in rats and healthy adult male volunteers / J. Xiao [et al.] // Journal of Dairy Science. 2003. Vol. 86(7). P. 2452–2461. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73839-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73839-9)
29. Nogacka, A. M. 2-Fucosyllactose Metabolism by Bifidobacteria Promotes Lactobacilli Growth in Co-Culture / A. M. Nogacka [et al.] // Microorganisms. 2023. Vol. 11(11). 2659. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112659>
30. Jurášková, D. Exopolysaccharides Produced by Lactic Acid Bacteria: From Biosynthesis to Health-Promoting Properties / D. Jurášková, S. C. Ribeiro, C. C. G. Silva // Foods. 2022. Vol. 11(2). P. 156. <https://doi.org/10.3390/foods11020156>