

Н.А. Замбалова, канд. экон. наук, доц., e-mail: zambalova75@mail.ru

А.Г. Хантургаев, канд. техн. наук, доц., e-mail: aavn@mail.ru

И.С. Хамагаева, д-р техн. наук, проф., e-mail: mip.bifivit@mail.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

УДК 641.1/.3:579.873.13

ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН НА ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ БИОПРОДУКТА

Исследовано влияние пищевых волокон кедрового жмыха на функциональные свойства бифидобактерий при ферментации молока. Установлено, что с увеличением дозы пищевых волокон интенсифицируется процесс ферментации и повышается концентрация жизнеспособных клеток бифидобактерий. Высокомолекулярные полисахариды кедрового жмыха способствуют образованию тиксотропно-обратимых связей при ферментации белковой системы и формируют вязкую стабильную консистенцию.

Продемонстрирована корреляция между содержанием пищевых волокон и морфологическими изменениями бифидобактерий. Показано наличие морфологически разнообразных межклеточных контактов – когезии и повышение адгезивных свойств бифидобактерий, обеспечивающих высокую адаптацию к новой среде.

Ключевые слова: пищевые волокна, бифидобактерии, кедровый жмых, когезия, адгезия.

N.A. Zambalova, Cand. Sc. Economics, Assoc. Prof.

A.G. Khanturgaev, Cand. Sc. Engineering, Assoc. Prof.

I.S. Khamagaeva, Dr. Sc. Engineering, Prof.

THE INFLUENCE OF FOOD FIBRES ON FORMATION OF BIOPRODUCT FUNCTIONAL PROPERTIES

The paper investigates the influence of cedar cake's food fibers on the functional properties of bifidobacteria at milk fermentation. It is established that fermentation process is intensified with increase in a dose of food fibers. Concentration of bifidobacteria viable cages also increases. High-molecular polysaccharides of cedar cake promote formation of thixotropic-reversible links at fermentation of proteinaceous system and form a viscous stable consistence.

Correlation between the content of food fibers and bifidobacteria morphological changes is shown in the article. The work presents existence of morphologically various intercellular contacts – cohesion and increase in adhesive properties of the bifidobacteria providing high adaptation to the new environment.

Key words: food fibers, bifidobacteria, cedar cake, cohesion, adhesion.

Введение

В последние годы во всем мире получило широкое признание развитие нового направления в пищевой промышленности – так называемого функционального питания, под которым подразумевается использование таких продуктов естественного происхождения, которые при систематическом употреблении оказывают регулирующее действие на организм в целом или на его определенные системы и органы. В мировом масштабе идет постоянная работа по созданию новых продуктов функционального питания, обладающих как широким спектром применения, так и точечной направленностью на конкретный орган, систему, заболевание [1, 2, 3, 4].

Полезным природным источником целебных биологически активных веществ является орех кедровый сибирский. Одним из продуктов его переработки является жмых, который в настоящее время практически не используется. Особенностью химического состава жмыха является значительное содержание незаменимых аминокислот в составе белков, полиненасыщенных

жирных кислот в составе липидной фракции, витаминов группы В, токоферолов, пищевых волокон, белковых фракций, микроэлементов, что свидетельствует о перспективности его использования в качестве высокоценной добавки в продукты питания.

Цель работы – изучить влияние кедрового жмыха на функциональные свойства кисломолочного биопродукта.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры «Технология молока и молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров» и в лаборатории Малого инновационного предприятия (МИП) «Бифивит» ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологии и управления».

Объектом исследований служил *Bifidobacterium longum DK-100*, полученный из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИ «Генетика», активизированный биотехническим методом, разработанным в ВСГУТУ. В исследовании использовалась растительная добавка – жмых ядра кедрового ореха (ТУ 9146-001-5313736-06).

Основные физико-химические и микробиологические показатели сырья, заквасок и кисломолочного продукта определяли стандартными и общепринятыми в исследовательской практике методами. Активную кислотность определяли по ГОСТ Р 53359-2009, количественный учет бифидобактерий – по МУК 4.2.999-00.

Адгезивные свойства изучали на формализированных эритроцитах по развернутому методу В.И. Брилис. Морфологию бактерий изучали путем приготовления препаратов по Граму с последующим микроскопированием в иммерсионной системе с объективом 90. Фотографии микрокартин клеток бактерий сделаны с помощью цифрового микроскопа USB «БИОР». Процесс структурообразования образцов изучали на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+PRO в Центре коллективного пользования «Прогресс» ВСГУТУ [5].

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета программы Statistica 6. Использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (для сравнения независимых выборок). Значимыми считали различия, если вероятность ошибки $p \leq 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

На первом этапе исследований изучали влияние кедрового жмыха на биохимическую активность бифидобактерий. О биохимической активности судили по кислотообразующей способности и количеству жизнеспособных клеток бифидобактерий. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Из данных рисунка 1 видно, что с увеличением дозы кедрового жмыха повышается кислотообразующая способность бифидобактерий и интенсифицируется процесс ферментации. В опытном образце процесс ферментации заканчивается через 6 ч, тогда как в контрольном образце сгусток образуется через 8 ч. При этом изменяется вязкость белкового сгустка и при дозе жмыха 3%, консистенция продукта становится излишне вязкой.

При количественном учете бифидобактерий обнаружено, что внесение кедрового жмыха активизирует рост бифидобактерий (рис. 2).

Как следует из рисунка 2, количество жизнеспособных клеток бифидобактерий через 6 часов культивирования в опытных образцах с кедровым жмыхом составляет 10^{10} КОЕ в 1 см^3 , а в контрольном образце – 10^8 КОЕ в 1 см^3 . Это свидетельствует о том, что кедровый жмых обладает пребиотическими свойствами, стимулирует рост бифидобактерий, повышает количество жизнеспособных клеток в готовом продукте и сокращает продолжительность ферментации.

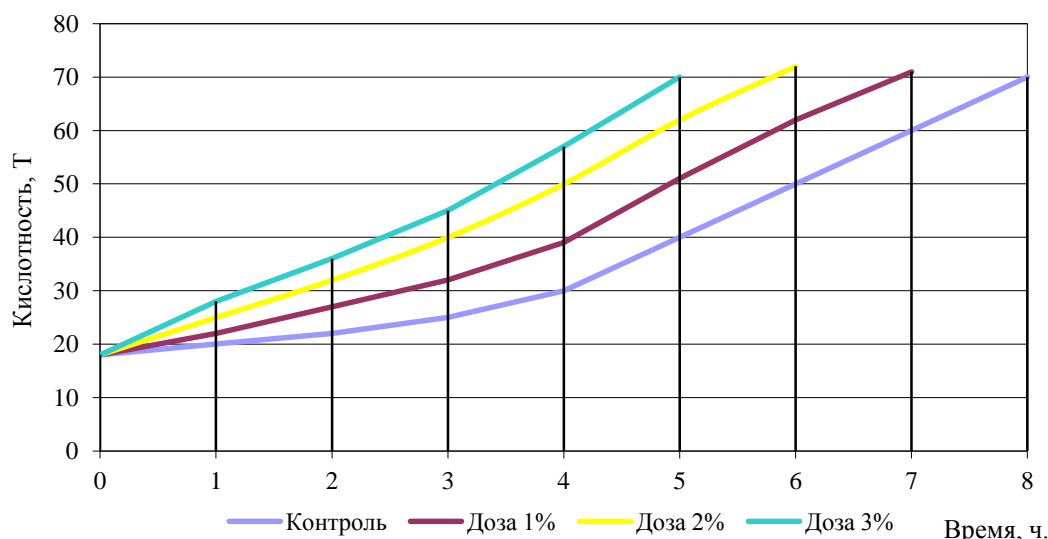


Рисунок 1 – Влияние кедрового жмыха на кислотообразующую способность бифидобактерий

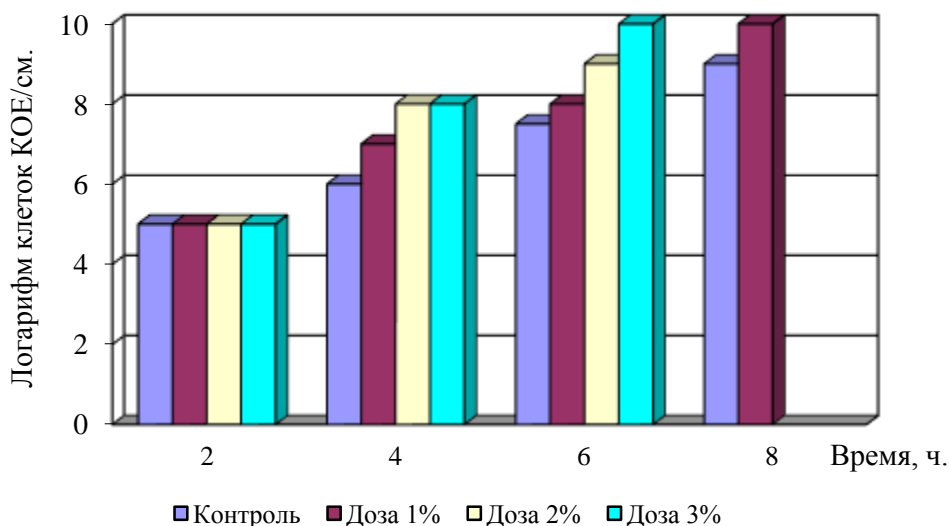


Рисунок 2 – Влияние различных доз кедрового жмыха на динамику роста бифидобактерий

Консистенция – это один из важнейших показателей при управлении качеством биотехнической продукции, представляющей собой совокупность реологических свойств вязкой жидкости. Наряду с внешним видом, цветом, запахом и ароматом консистенция кисломолочных продуктов определяет потребительские свойства готового продукта. Заквасочная культура играет важную роль при формировании структурно-механических свойств биопродукта. Бифидобактерии образуют легкотекучие сгустки с нежной консистенцией.

Следует отметить, что на практике широко применяется сенсорная оценка консистенции, результаты которой получают эмпирически, оценивая поведение продукта при деформации. Однако результаты сенсорной оценки субъективны. Поэтому для обеспечения контроля и управления качеством выпускаемой продукции необходимо применять инструментальные методы. В связи с этим в дальнейших исследованиях изучали реологические характеристики белкового сгустка на ротационном вискозиметре.

Исследовали изменение динамической вязкости объекта от скорости вращения шпинделя под действием механического воздействия (рис. 3). Зависимость «вязкость – скорость»

отражает на сколько разрушается система и может ли она восстанавливать свои свойства после механического воздействия шпинделя.

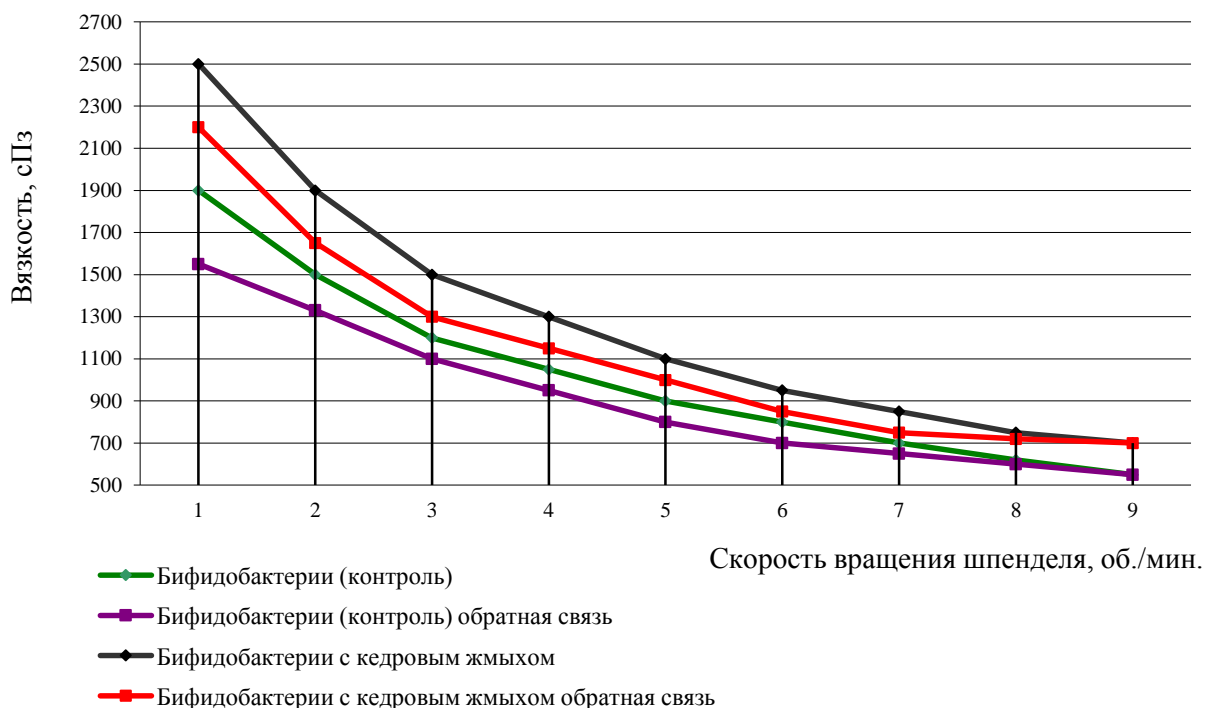


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости от скорости вращения шпинделя

Результаты исследований, представленные на рисунке 3, показывают, что динамическая вязкость как контрольного, так и опытного образца с увеличением скорости вращения шпинделя снижается и составляет 550 и 670 сПз соответственно. Однако после механического воздействия исследуемые кисломолочные системы способны восстанавливать структурно-механические свойства, о чем свидетельствует повышение вязкости как контрольного, так и опытного образца.

Полученные кривые не накладываются друг на друга, что демонстрирует тиксотропное поведение системы как в контрольном, так и в опытном образце (рис. 3). Следует отметить, что с повышением скорости разрушения белковой системы способность к восстановлению структуры уменьшается. Вязкость образца после приложения механического воздействия во всех случаях повышается, о чем свидетельствуют значения динамической вязкости: бифидобактерии (контроль – обратная связь) – 1550 сПз, а в опытном образце бифидобактерии с кедровым жмыхом она достигает 2200 сПз. Наибольшей восстанавливаемостью после механического воздействия характеризуется белковая система с кедровым жмыхом. Значения динамической вязкости для белкового сгустка с кедровым жмыхом для неразрушенной структуры и структуры, подвергшейся механическому воздействию отличаются в меньшей степени, чем в контрольном образце.

Высокомолекулярные полисахариды кедрового жмыха регулируют процесс структурообразования, что позволяет получить сгусток со стабильными структурно-механическими свойствами.

В дальнейших исследованиях изучали «тиксотропный индекс», или коэффициент эффективной вязкости при нагрузке и разгрузке (табл. 1).

Тиксотропный индекс

Образцы	Эффективная вязкость, мПа*с		Тиксотропный индекс		Степень восстановления структуры
	максимальная скорость деформации	минимальная скорость деформации	при нагрузке	при разгрузке	
Бифидобактерии (контроль)	20,28	16,32	3,55	2,99	1,18
Бифидобактерии с кедровым жмыхом	24,70	16,57	3,69	2,47	1,49

Из анализа данных таблицы видно, что для всех образцов тиксотропный индекс больше единицы и они характеризуются тиксотропно-обратимыми связями. При этом установлено, что степень восстановления структуры в белковой системе с кедровым жмыхом имеет более высокое значение.

Таким образом, анализ структурно-механических свойств образцов показал, что внесение кедрового жмыха при ферментации способствует образованию тиксотропно-обратимых связей, что обеспечивает наибольшую способность разрушенного сгустка к восстановлению структуры и формирует вязкую и стабильную консистенцию.

Необходимо отметить, что рост клеток бифидобактерий в питательной среде с кедровым жмыхом сопровождается изменением морфологии (рис. 4).

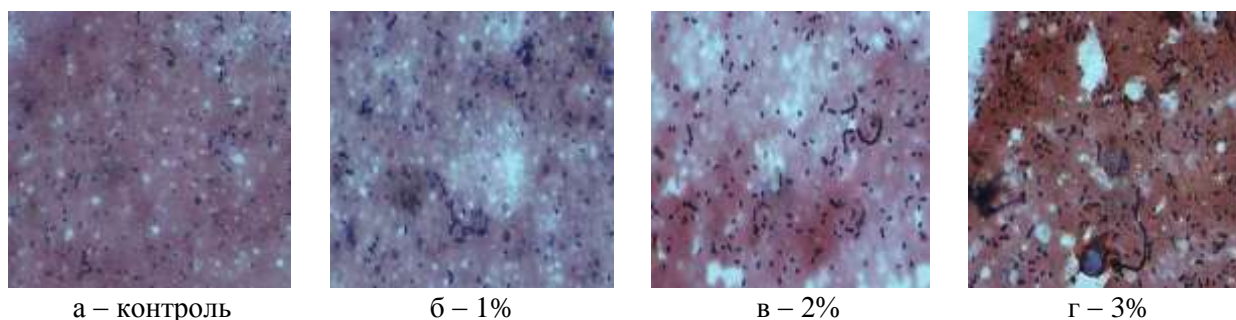


Рисунок 4 – Микрокартина бифидобактерий *B. longum* DK-100 (увеличение 1x1000)

Из представленных данных видно, что при внесении кедрового жмыха в питательную среду изменяется топография взаиморасположения коккоидных, палочковидных и мультисептированных особей и происходят структурно-функциональные перестройки бифидобактерий к изменившейся среде культивирования (см. рис. 4).

Морфологическая трансформация коррелирует с физиологической неоднородностью клеток в популяции. Внесение кедрового жмыха способствует когезии клеток, интенсификации межклеточных контактов и образованию многоклеточных систем, обеспечивает адаптивную устойчивость клеток в питательной среде.

Из литературных источников известно, что к механизмам, гарантирующим стабильность микробного консорциума, относятся межклеточные взаимодействия – когезия и прочное прикрепление клеток к субстрату (адгезия) [6, 7].

Данные по исследованию адгезивных свойств бифидобактерий представлены в таблице 2.

Адгезивные свойства *B. longum* DK-100

Наименование показателя	СПА	КУЭ, %	ИАМ	Адгезивность
Штамм <i>B. longum</i> DK-100	4,2	84	4,76	высокоадгезивный
Биопродукт с 2%-ным кедровым жмыхом	4,4	86	5,11	

Из данных таблицы 2 видно, что с увеличением дозы кедрового жмыха в питательной среде повышаются адгезивные свойства бифидобактерий. Вероятно, это связано со способностью бифидобактерий колонизировать поверхность пищевых волокон и прикрепляться к ним с образованием слизистых биопленок. Результаты наших наблюдений совпадают с мнениями других авторов об адгезивности пробиотических микроорганизмов [8].

Повышение адгезивных свойств бифидобактерий подтверждает целесообразность применения кедрового жмыха при создании биопродуктов. Это свидетельствует о хорошей приживаемости и высокой адаптации бифидобактерий в желудочно-кишечном тракте человека.

Выводы

1. В результате проведенных исследований установлено, что использование кедрового жмыха при производстве кисломолочного продукта повышает его функциональные свойства.
2. Интенсифицируется процесс ферментации и повышается количество жизнеспособных клеток бифидобактерий, что положительно отражается на полезности продукта.
3. Высокомолекулярные полисахариды кедрового жмыха регулируют процесс структурообразования и реологические свойства продукта.
4. Меняется морфологическая картина клеток бифидобактерий, которая проявляется в агрегации и адгезии клеток на пищевых волокнах кедрового жмыха.

Библиография

1. Criscio T.Di., Fratianni A., Mignogna R. et al. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams // Journal of Dairy Science. – 2010. – Vol. 93, N 10. – P. 4555–4564.
2. Ooi L.-G., Bhat R., Rosma A. et al. A synbiotic containing *Lactobacillus acidophilus* CHO-220 and inulin improves irregularity of red blood cells // Journal of Dairy Science. – 2010. – Vol. 93, N 10. – P. 4535–4544.
3. Доронин А.Ф., Шендеров Б.А. Функциональное питание. – М.: Грантъ, 2002. – 296 с.
4. Зобкова З.С. Функциональные цельномолочные продукты // Молочная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 86–70.
5. Крупенникова В.Е., Раднаева В.Д., Танганов Б.Б. Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro: метод. указания. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2011. – 48 с.
6. Лисицкая К.В., Николаев И.В., Торкова А.А. и др. Анализ функциональных свойств биологически активных веществ на моделях эукариотических клеток // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 581–599.
7. Николаев Ю.А. Внеклеточные факторы адаптации бактерии к неблагоприятным условиям среды // Прикладная биохимия и микробиология. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 387–397.
8. Рубцова Е.В., Куюкина М.С., Ившина И.Б. Влияние условий культивирования на адгезивную активность родококков в отношении Н-гексадекана // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 5. – С. 501–509.

Bibliography

1. Criscio T.Di., Fratianni A., Mignogna R. et al. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams // Journal of Dairy Science. – 2010. – Vol. 93, N 10. – P. 4555–4564.

2. Ooi L.-G., Bhat R., Rosma A. et al. A synbiotic containing *Lactobacillus acidophilus* CHO-220 and inulin improves irregularity of red blood cells // Journal of Dairy Science. – 2010. – Vol. 93, N 10. – P. 4535–4544.
3. Doronin A.F., Shenderov B.A. Functional food. – M.: Grant, 2002. – 296 p.
4. Zobkova Z.S. Functional milk products // Dairy Industry. – 2006. – N 4. – P. 86–70.
5. Krupennikova V.E., Radnaeva V.D., Tanganov B.B. Determination of dynamic viscosity by rotary viscometer Brookfield RVDV-II + Pro: Methodical instructions. – Ulan-Ude: ESSTU Publ., 2011. – 48 p.
6. Lisitskaya K.V., Nikolaev I.V., Torkova A.A. et al. The analysis of the functional properties of biologically active compounds in models of eukaryotic cells // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2012. – Vol. 48, N 6. – P. 581–599.
7. Nikolaev Yu.A. Extracellular factors bacteria adaptation to adverse environmental conditions // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2004. – Vol. 40, N 4. – P. 387–397.
8. Rubtsova E.V., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. Influence of cultivation on the adhesive activity of *Rhodococcus* concerning N-hexadecane // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2012. – Vol. 48, N 5. – P. 501–509.