

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ МОЛОЧНЫХ И МОЛОКОСОДЕРЖАЩИХ МОДЕЛЬНЫХ СРЕД

Исследован процесс ферментации оптимальных по составу молочных и молокосодержащих модельных сред ассоциациями культур с пробиотическими свойствами. Получены математические зависимости, и предложена модель формирования биотехнологической молочной и молокосодержащей системы, характеризующая взаимосвязь активности пробиотических культур и состава модельных сред. Полученные результаты исследования использованы при разработке технологии новых молокосодержащих продуктов.

Модельная среда, ферментация, биотехнологическая молочная и молокосодержащая система, молокосодержащий продукт.

Введение

Актуальным направлением являются исследования по созданию продуктов, которые могли бы обеспечить необходимое поступление в организм человека полезных веществ, ингредиентов (пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ, полиненасыщенных жирных кислот, антиоксидантов, олигосахаридов, микроэлементов), а также предупредить различные заболевания [1]. Современный уровень питания человека по белку дефицитен как в количественном, так и в качественном отношении. Создание продуктов «здорового» питания, имеющих сбалансированный состав, может быть реализовано за счет их многокомпонентности, в частности, путем комбинирования сырья животного и растительного происхождения [2, 3].

Разработка комбинированных, молочных, молокосодержащих и составных молочных продуктов, доступных и потребляемых широкими слоями населения, позволяет увеличивать объем их производства и реализации, что способствует удовлетворению потребности населения в «здоровых» продуктах питания [4].

Учитывая возросший интерес как производителей, так и потребителей к продуктам питания, производимым на основе принципов биотехнологии, перспективным направлением является поиск новых подходов, которые обеспечили бы наряду с совершенствованием традиционных создание новых технологий, гарантирующих сохранение нативных свойств сырья, активность и жизнеспособность пробиотических культур микроорганизмов, качество и функциональные свойства продуктов.

Цель исследований заключается в изучении процесса ферментации модельных сред (основы молокосодержащих продуктов) ассоциациями культур с пробиотическими свойствами; разработка математических моделей, характеризующих взаимосвязь химического состава модельных сред и активности ассоциированных пробиотических культур.

Материалы и методы

Для проведения исследования использовали следующее сырье: молоко коровье по ГОСТ Р52054-2003; молоко сухое обезжиренное по ГОСТ Р52791-2007; сыворотку сухую деминерализованную по ТУ 10-0202789-68-91; сывороточный белковый концентрат по

ТУ 49979-85; муку соевую текстурированную «Руссотекс» по ТУ 9293-010-45365288-01; изолят соевого белка; муку рисовую по ТУ 9293-001-51560870-2001; биообъекты в виде заквасок и бактериальных препаратов ООО «Барнаульская биофабрика», ОАО «Экспериментальная биофабрика» ВНИИМС, DVS-культуры ООО «Хр.Хансен».

При выполнении экспериментальных исследований применяли комплекс общепринятых, стандартных и модифицированных методов исследования: физико-химических, микробиологических и математических. Анализ биологической ценности модельных сред проводили по следующим основным показателям: аминокислотному скору, индексу незаменимых аминокислот (ИНАК), коэффициенту различий аминокислотного скора (КРАС), показателю биологической ценности (БЦ).

Результаты экспериментальных исследований подвергались статистической обработке путем корреляционного и регрессионного анализа, реализованного с помощью стандартных пакетов программ MathCAD-14 Professional, Ms. Excel. Повторность опытов установлена методами статистического анализа и являлась пятикратной. Математическое моделирование, определение трехфакторных зависимостей результатов исследований осуществляли с использованием прикладной программы Eureka: The Solver, Version 1.0 и математических матриц в процессе электронных таблиц Ms. Excel.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований проведено экспериментальное конструирование модельных молочных и молочно-растительных сред по оптимальному балансу незаменимых факторов питания (аминокислот), эффекту взаимного обогащения, биологической ценности и физико-химическим свойствам, в том числе активности воды (a_w). Основным критерий оценки коррекции белкового состава МПС с позиций эффекта взаимного обогащения в символической форме выглядел следующим образом:

$$[AC \geq 100 \% ; \text{ИНАК} \rightarrow \max, \text{КРАС} \rightarrow \min; \\ \text{БЦ} \rightarrow \max, \text{ м. д. белка} > 3,0 \%].$$

Корректировка белково-углеводного состава сред проводилась на первом этапе за счет использования концентрированных сухих молочных (сухое

обезжиренное молоко, сухая молочная сыворотка, сывороточный белковый концентрат) и растительных компонентов (мука рисовая, мука соевая и изолят соевого белка) с шагом конструирования 2 и 3 % от модельной среды.

Введение в состав модельных сред корректоров белкового состава обеспечивает эффект истинного обогащения, когда скор каждой незаменимой аминокислоты создаваемой модельной среды не менее 100 %, особенно для лимитирующих аминокислот молока (метионина и цистина).

Изучены физико-химические свойства исследуемых молочных модельных сред, в том числе показатель активности воды a_w , температура и продолжительность заморзания. Для дальнейшей ферментации методом нормирования (переводом в безразмерные единицы) проведен выбор оптимальных модельных сред, отличающихся высокими значениями таких показателей, как массовая доля белка, биологическая ценность, органолептические свойства.

На следующем этапе исследован процесс ферментации скорректированных по белковому и аминокислотному составу модельных молочных и молочно-растительных сред ассоциациями культур с пробиотическими свойствами. В частности, были изучены биотехнологические свойства ассоциаций пробиотических культур на ферментируемых молочно-растительных средах. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Биотехнологические свойства ассоциаций пробиотических культур на ферментируемых модельных молочно-растительных средах

Модельная среда	Продолжительность ферментации, ч	Кислотность		Органолептические показатели сгустка, баллы
		титруемая, °С	активная, ед. рН	
Ассоциация [L. lactis, L. cremoris, L. diacetylactis, B. bifidum, B. longum, B. adolescentis]				
Молоко с м.д.ж. 2,5 %	4,0±0,5	98,0±1,5	5,20±0,05	9,0
Модельная среда с мукой соевой	5,0±0,5	86,0±1,7	5,37±0,05	8,7
Модельная среда с мукой рисовой	4,5±0,5	84,0±1,6	5,34±0,10	8,5
Модельная среда с изолятом соевого белка	4,5±0,5	82,0±1,5	5,32±0,05	9,3
Ассоциация [L. acidophilus, L. cremoris, L. diacetylactis, S. thermophilus, B. bifidum, B. longum]				
Молоко с м.д.ж. 2,5 %	4,0±0,5	110,0±1,5	5,05±0,10	9,0
Модельная среда с мукой соевой	5,0±0,5	92,0±1,7	5,15±0,08	9,0
Модельная среда с мукой рисовой	4,5±0,5	88,0±1,6	5,41±0,10	8,3
Модельная среда с изолятом соевого белка	4,5±0,5	87,0±1,5	5,29±0,05	10,0

Биотехнологические свойства изучаемых ассоциаций пробиотических культур свидетельствуют о том, что они проявляют себя в сложной молочно-растительной среде как энергичные кислотообразователи, что позволяет сократить продолжительность ферментации на 1,0–1,5 часа, а также улучшить органолептические показатели ферментированной модельной среды.

Установлена корреляционная зависимость активности и жизнеспособности ассоциированных пробиотических культур (*B. lactis*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*) от состава модельных сред (основы для производства молокосодержащих продуктов). По результатам корреляционных уравнений можно отметить устойчивую тенденцию: для модельных молочных и молочно-растительных сред максимальная корреляция логарифма клеточной концентрации пробиотических культур микроорганизмов с массовой долей белков ($k_{\max} = 0,80$) и углеводов ($k_{\max} = 0,91$), корреляция с массовой долей жира незначительна.

Установленные зависимости позволили обосновать и предложить модель формирования биотехнологической молочной и молокосодержащей системы. Математическая зависимость между химическим составом модельных сред и активностью ассоциированных пробиотических культур описывается общим уравнением:

$$\lg(Q) = f(x, y, z) = a + b \cdot x + c \cdot y + d \cdot z + e \cdot x \cdot y + f \cdot x \cdot z + g \cdot y \cdot z + o \cdot x^2 + p \cdot y^2 + r \cdot z^2 + v \cdot x \cdot y \cdot z, \quad (1)$$

где $\lg(Q)$ – логарифм клеточной концентрации, $\lg\text{KOE}/\text{см}^3$; x – массовая доля белка, %; y – массовая доля жира (углеводов), %; z – массовая доля углеводов (жира), %.

На основании рассчитанных в программе Eureka: The Solver, Version 1,0 значений коэффициентов ($a, b, c, d, e, f, g, o, p, r, v$) путем формирования математических матриц в программе Ms. Excel получены математические зависимости логарифма клеточной концентрации пробиотических микроорганизмов ($\text{KOE}/\text{см}^3$) от состава исследуемых модельных сред. Фрагмент полученных результатов наглядно представлен в виде поверхностей отклика и уравнений многочленов 2-й степени на сравнительном рис. 1 (а–г). Анализ полученных результатов позволил выявить общую тенденцию достижения оптимума клеточной концентрации ассоциированных пробиотических культур (*B. lactis*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*) на участках поверхностей отклика, начиная от массовой доли белка в модельной среде в среднем 3,8–4,0 % и массовой доли углеводов в среднем 5,0–5,5 %. При этом для молочных и молочно-растительных модельных сред отмечается максимальная корреляция, характерная взаимосвязь клеточной концентрации и массовой доли белка и углеводов в среде. Поэтому при выборе оптимального состава модельных молочных и молочно-растительных сред следует ориентироваться на области повышенной массовой доли белка и углеводов.

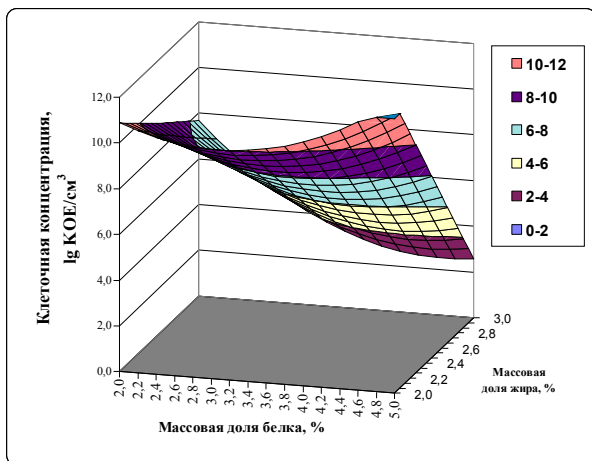
Разработанные математические модели позволяют прогнозировать уровень клеточной концентрации пробиотических культур (*B. lactis*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*) по заданному белково-углеводному составу модельных сред (основы для производства молочно-содержащих продуктов).

Вывод

В результате проведенных исследований создана концепция конструирования модельных сред с использованием белково-углеводного и растительного сырья по оптимальному балансу незаменимых факторов питания и эффекту взаимного обогащения.

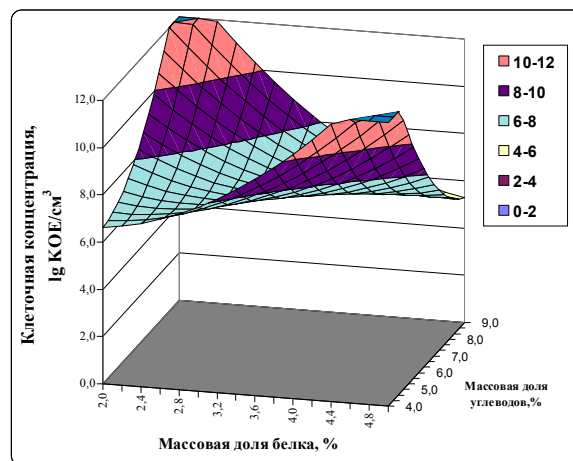
Методом нормирования определены оптимальные молочные и молочно-растительные модельные среды, экспериментально установлены закономерности процесса ферментации оптимальных по составу модельных сред ассоциациями культур с пробиотическими свойствами. Получены математические зависимости и разработана модель формирования биотехнологической молочной и молочно-содержащей системы, характеризующая взаимосвязь активности пробиотических культур и состава модельных сред.

Полученные результаты исследования использованы при разработке технологии новых молочно-содержащих продуктов.



$$\lg(Q) = 0,76 + 0,64 \cdot x + 0,57 \cdot y + 0,46 \cdot z + 0,39 \cdot x \cdot y - 0,07 \cdot x \cdot z - 0,08 \cdot y \cdot z + 0,73 \cdot x^2 + 0,29 \cdot y^2 + 0,26 \cdot z^2 - 0,40 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

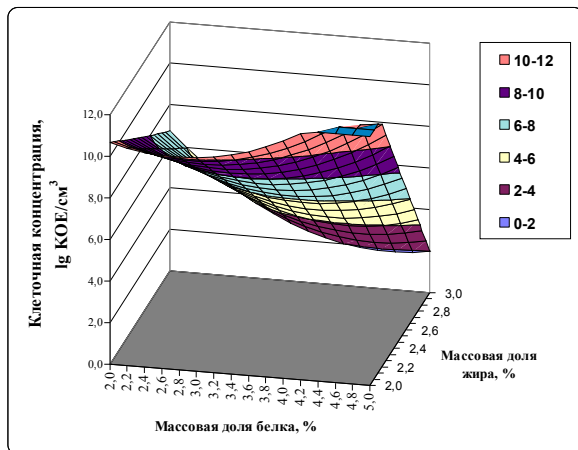
при $z = 6,8 \%$



$$\lg(Q) = 0,78 + 0,74 \cdot x + 0,40 \cdot y + 0,62 \cdot z - 0,05 \cdot x \cdot y + 0,53 \cdot x \cdot z - 0,12 \cdot y \cdot z + 0,68 \cdot x^2 + 0,27 \cdot y^2 + 0,21 \cdot z^2 - 0,41 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

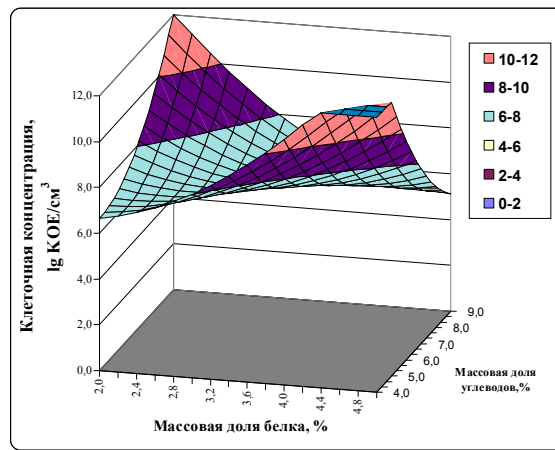
при $y = 2,5 \%$

а) модельная молочная среда, ассоциация [*L. bulgaricus*, *B. lactis*, *S. thermophilus*]



$$\lg(Q) = 0,90 + 0,63 \cdot x + 0,66 \cdot y + 0,41 \cdot z + 0,43 \cdot x \cdot y + 0,08 \cdot x \cdot z + 0,01 \cdot y \cdot z + 0,78 \cdot x^2 + 0,17 \cdot y^2 + 0,22 \cdot z^2 - 0,46 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

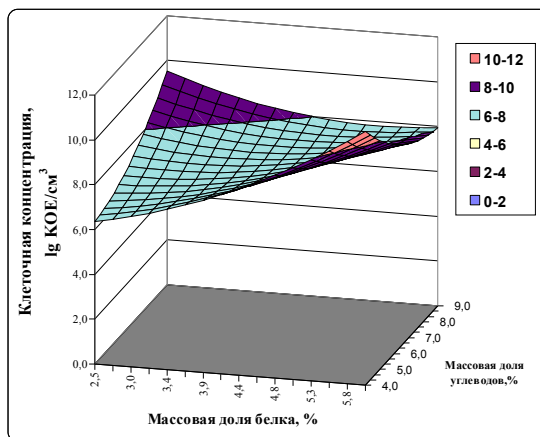
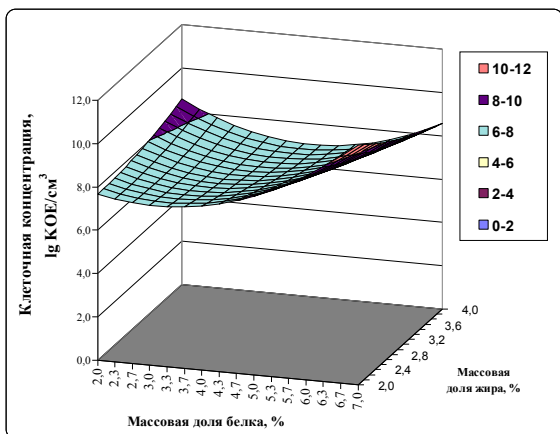
при $z = 6,8 \%$



$$\lg(Q) = 0,79 + 0,75 \cdot x + 0,43 \cdot y + 0,64 \cdot z + 0,09 \cdot x \cdot y + 0,51 \cdot x \cdot z - 0,11 \cdot y \cdot z + 0,67 \cdot x^2 + 0,23 \cdot y^2 + 0,21 \cdot z^2 - 0,44 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

при $y = 2,5 \%$

б) модельная молочная среда, ассоциация [*L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *B. lactis*, *S. thermophilus*]



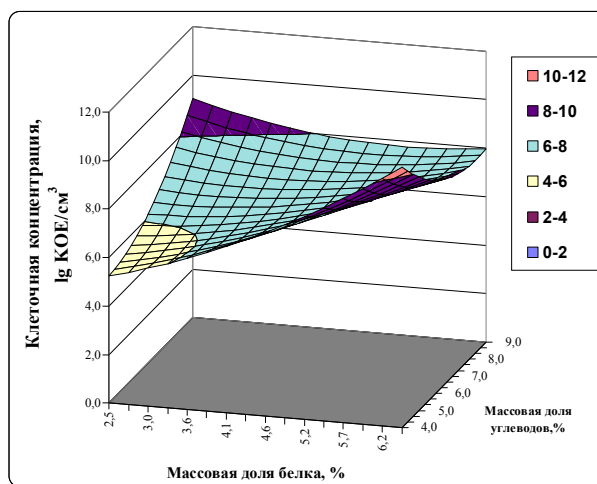
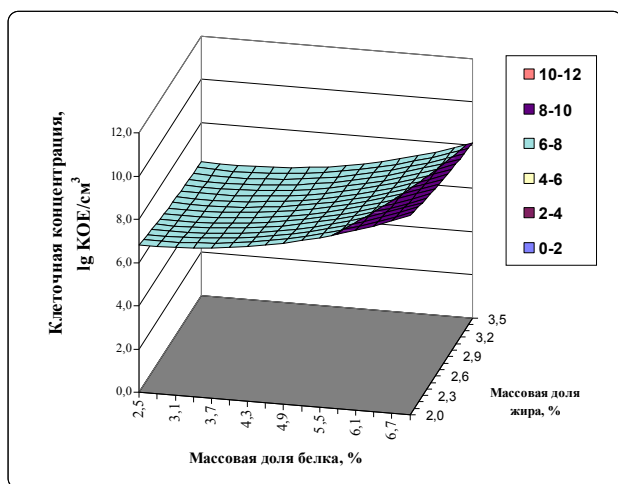
$$\lg(Q) = 0,75 + 0,64 \cdot x + 0,57 \cdot y + 0,35 \cdot z + 0,28 \cdot x \cdot y - 0,22 \cdot x \cdot z - 0,12 \cdot y \cdot z + 0,24 \cdot x^2 + 0,23 \cdot y^2 + 0,13 \cdot z^2 - 0,09 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

при $z = 6,8\%$

$$\lg(Q) = 0,76 + 0,54 \cdot x + 0,52 \cdot y + 0,55 \cdot z - 0,18 \cdot x \cdot y + 0,19 \cdot x \cdot z - 0,13 \cdot y \cdot z + 0,22 \cdot x^2 + 0,11 \cdot y^2 + 0,25 \cdot z^2 - 0,08 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

при $y = 2,5\%$

в) модельная молочно-растительная среда,
ассоциация [*L. acidophilus*, *B. bifidum*, *B. longum*, *L. cremoris*, *L. diacilactis*, *S. thermophilus*]



$$\lg(Q) = 0,78 + 0,53 \cdot x + 0,55 \cdot y + 0,48 \cdot z + 0,19 \cdot x \cdot y - 0,16 \cdot x \cdot z - 0,27 \cdot y \cdot z + 0,13 \cdot x^2 + 0,19 \cdot y^2 + 0,12 \cdot z^2 - 0,04 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

при $z = 6,8\%$

$$\lg(Q) = 0,76 + 0,61 \cdot x + 0,33 \cdot y + 0,58 \cdot z - 0,20 \cdot x \cdot y + 0,28 \cdot x \cdot z - 0,23 \cdot y \cdot z + 0,15 \cdot x^2 + 0,14 \cdot y^2 + 0,13 \cdot z^2 - 0,05 \cdot x \cdot y \cdot z,$$

при $y = 2,5\%$

г) модельная молочно-растительная среда,
ассоциация [*L. lactis*, *L. cremoris*, *L. diacilactis*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*]

Рис. 1 (а–г). Влияние состава модельных сред на активность ассоциированных пробиотических культур (*B. lactis*, *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*)

Список литературы

1. Гаврилова, Н.Б. Научные и практические аспекты технологии производства молочно-растительных продуктов: монография / Н.Б. Гаврилова, О.В. Пасько [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2006. – 336 с.
2. Остроумов, Л.А. Исследование и разработка методологии создания многокомпонентных пищевых продуктов на молочной основе с использованием компьютерного моделирования / Л.А. Остроумов, Л.М. Захарова, И.А. Смирнова // Технология и техника пищевых производств. – 2004. – № 3. – С. 115–118.
3. Майоров, А.А. Перспективы использования соевых компонентов / А.А. Майоров // Молочная промышленность. – 2002. – № 1. – С. 55–57.
4. Гаврилова, Н.Б. Технология белковых продуктов для лечебно-профилактического и геродиетического питания: аналит. обзор / Н.Б. Гаврилова, С.С. Толеубекова. – Семипалатинск: Семипалатинский ЦНТИ, 2002. – 32 с.

ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет»,
644008, Россия, г. Омск, Институтская пл., 2.
Тел./факс: (3812) 65-10-54
e-mail: nauka@omgau.ru

SUMMARY

O.V. Pasko

Testing on fermentation of milk and milk containing model media

Fermentation of milk and milk containing model media having optimum composition with probiotic bacterial cultures has been investigated. Mathematical relations have been obtained. A new model of biotechnological milk and milk containing systems that features interrelation between probiotic bacteria activity and model media composition has been offered. The research results have been used for a new milk and milk containing products technology.

Model medium, fermentation, biotechnological milk and milk containing system, milk containing product.

FSEI HPE «Omsk state agriculture university»,
644080, Russian Federation, Omsk city, Institutskaya sq. 2.
Tel./fax: (3812) 65-10-54
e-mail: nauka@omgau.ru

