

О.В.Дымар, Н. Мувад, А.П.Райский

Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь

БАРОМЕМБРАННАЯ ПОДГОТОВКА СМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЙОГУРТОВ

(Поступила в редакцию 11.05.2015 г.)

В статье рассматривается способ приготовления йогурта с применением процесса ультрафильтрации. Установлена зависимость скорости фильтрации обезжиренного молока от температуры процесса. Представлен физико-химический и минеральный состав смесей для йогуртов в зависимости от содержания сухих веществ. Отражены особенности ферментативных процессов в готовых йогуртах.

Молочные продукты являются базовыми в питании человека. Их популярность основывается не только на уникальных свойствах самого молока, но и на широких технологических возможностях его модификации для придания самых разнообразных свойств продуктам его переработки. Наиболее важная роль отводится процессу ферментации. В группе ферментированных молочных продуктов особое место занимает производство йогуртов – одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки молочного сырья. Эта группа продуктов по праву заняла ведущую позицию по популярности среди кисломолочных продуктов в нашей стране. В последнее время увеличился спрос на йогурт у потребителей всех возрастов, так как данный вид продукта обеспечивает организм белками, углеводами, витаминами, характеризуется сбалансированным составом питательных веществ, несет пробиотическую функциональную направленность.

Наращивание ассортимента продукции в данном сегменте рынка за счет изменения состава смеси для сквашивания сдерживает недостаток знаний о возможностях изменения состава исходной смеси. До настоящего времени основным способом ее модификации являлась нормализация по жиру путем сепарирования и увеличение содержания сухих веществ посредством добавления сухого молока в смесь для сквашивания. Такая ситуация серьезно ограничивает технологов в производственных возможностях. Вместе с тем уже существуют и успешно используются баромембранные методы для коррекции состава

молочных продуктов, в частности ультрафильтрация, и лишь недостаток знаний в области подготовки смесей к сквашиванию не позволяет широко рекомендовать эти методы для использования на предприятиях молочной промышленности.

Целью работы является изучение особенностей процесса ультрафильтрационной подготовки молочного сырья для выработки йогуртов. В соответствии с поставленной целью, основными задачами исследования явились:

- определение зависимости скорости фильтрации обезжиренного молока от температуры процесса;
- исследование состава белкового и минерального состава смесей для йогуртов при ультрафильтрации в зависимости от содержания сухих веществ;
- исследование динамики ферментативных процессов при производстве йогуртов.

Результаты исследований. Опыты проведены на лабораторной ультрафильтрационной установке. Использовалась мембрана производства ЗАО «РМ Нанотех» с заявленной селективностью 20 кДа. Давление перед мембраной поддерживалось на уровне 0,2 МПа.

В ходе первой части исследований была определена зависимость скорости фильтрации от температуры процесса. Опыт проведен при постоянном содержании сухих веществ в продукте, фактически без концентрирования. Для этого фильтрат возвращался в приемный бачок установки, где смешивался с ретентатом. Измерения начаты после достижения установкой стабильной производительности через 30 минут после начала работы. В ходе опыта температура повышалась от 8 до 58 °С. Нижняя температура была ограничена техническими возможностями ее стабилизации, верхняя граница – термоустойчивостью мембраны (рис. 1).

Исследования проводились с использованием обезжиренного молока со следующими физико-химическими показателями: массовая доля сухих веществ – 8,51%; массовая доля лактозы – 4,7%; массовая доля общего белка – 3,18%; массовая доля жира – 0,2%; кислотность 16 °Т; рН – 6,81.

Зависимость описывается уравнениями регрессии следующих видов:

- линейная ($R^2 = 0,981$)

$$Q = 87,8 + 4,5 \times T, \quad (1)$$

– квадратичная ($R^2 = 0,998$)

$$Q = 118,6 + 1,96 \times T + 0,04 \times T^2, \quad (2)$$

где Q – производительность установки, мл/мин;
 T – температура обрабатываемого продукта, °С;
 R^2 – коэффициент детерминации.

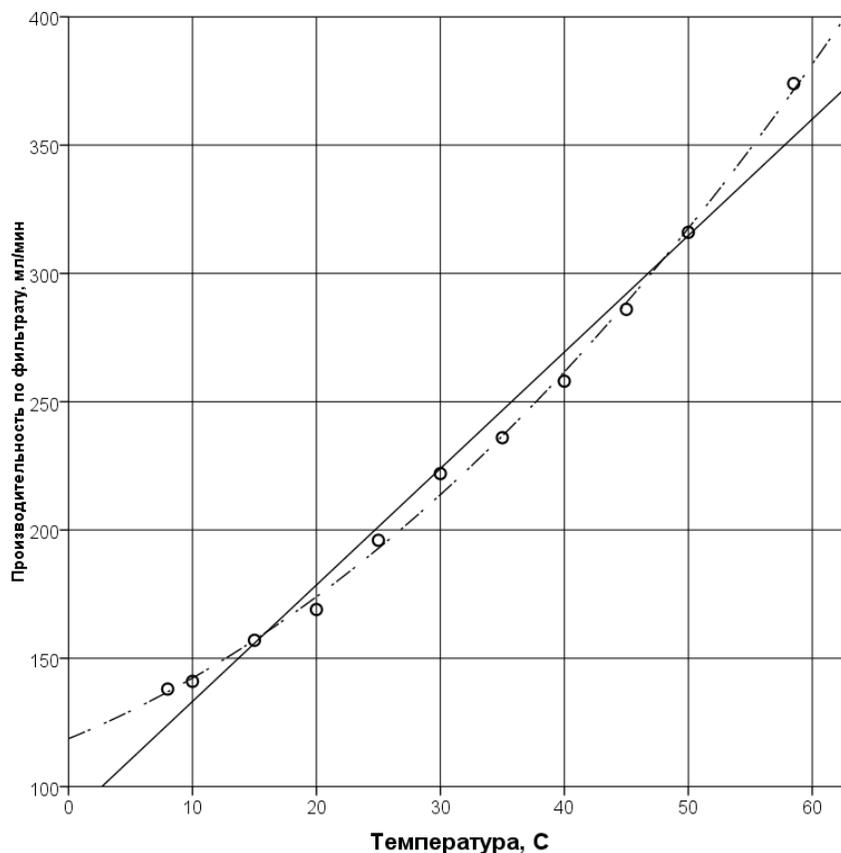


Рисунок 1 – Зависимость скорости фильтрации обезжиренного молока от температуры

Обе модели хорошо описывают зависимость, и все эмпирические коэффициенты значимы с уровнем не менее 5%, и вместе с тем, значимость коэффициента при квадратичном члене уравнения регрессии (2) достаточно высока. В этой связи для расчетов считаем целесообразным использовать именно квадратичную регрессионную модель, так как она точнее описывает поведение системы в области низких и высоких температур и позволяет привести данные о скорости фильтрации, полученные при разных температурах, к одному значению, что является важным для оценки качества мойки мембран в процессе эксплуатации. Используя полученную модель, можно также в

определенных пределах осуществлять регулирование производительности установки за счет изменения температуры проведения процесса.

Исследование факторов, влияющих на динамическую вязкость смесей. Процесс составления смесей с различным содержанием сухих веществ заключался в получении двух продуктов: концентрата и фильтрата с последующим их смешиванием в различных пропорциях.

Исследование динамической вязкости смесей проводилось на реовискозиметре BrookfieldDV-II+ PRO.

В ходе опытов получены данные, характеризующие изменение динамической вязкости от температуры, скорости вращения шпинделя, содержания сухих веществ. Можно заметить, чем больше сухих веществ содержала смесь, тем ближе ее свойства к свойствам Ньютоновской жидкости. Если для смеси № 1 различие при изменении скорости вращения от 20 до 100 об/мин приводило к увеличению вязкости на 11%, то для смеси № 5 разница составила всего 5%. Увеличение температуры от 5 до 30 °С предсказуемо приводит к снижению вязкости, а увеличение содержания сухих веществ – к увеличению исследуемого показателя (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение динамической вязкости смесей в зависимости от температуры и скорости сдвига

Продукт	Температура, °С	Скорость вращения шпинделя, об/мин / вязкость, мПа×с				
		20	30	40	50	100
1	2	3	4	5	6	7
Смесь 7,74% сухих веществ	5	2,09	2,14	2,16	2,23	2,24
	10	1,81	1,83	1,89	1,90	1,91
	15	1,84	1,86	1,87	1,89	1,91
	20	x	1,63	1,65	1,67	1,69
	25	x	x	1,41	1,44	1,47
	30	x	x	x	1,34	1,38
Смесь 9,2% сухих веществ	5	2,55	2,56	2,59	2,62	2,68
	10	2,12	2,14	2,16	2,18	2,20
	15	2,19	2,20	2,23	2,26	2,27
	20	x	1,86	1,87	1,88	1,96
	25	x	x	1,69	1,70	1,76
	30	x	x	x	1,49	1,57

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Смесь 9,5% сухих веществ	5	2,79	2,80	2,81	2,82	2,83
	10	2,32	2,34	2,35	2,36	2,38
	15	2,36	2,38	2,40	2,42	2,47
	20	x	2,06	2,08	2,09	2,12
	25	x	x	1,80	1,82	1,87
	30	x	x	1,58	1,60	1,61
Смесь 11,2% сухих веществ	5	2,97	2,98	3,00	3,07	3,10
	10	2,52	2,54	2,55	2,56	2,60
	15	2,64	2,66	2,67	2,69	2,74
	20	x	2,52	2,53	2,55	2,57
	25	x	2,00	2,01	2,03	2,05
	30	x	x	1,73	1,75	1,76
Смесь 12,4% сухих веществ	5	3,60	3,66	3,69	3,72	3,78
	10	2,72	2,74	2,76	2,78	2,85
	15	2,90	2,92	2,94	2,96	2,99
	20	x	2,62	2,67	2,69	2,71
	25	x	2,16	2,17	2,20	2,23
	30	x	x	1,76	1,78	1,81

Вместе с тем, из полученных данных следует, что повышение температуры с 5 до 10 °С вязкость смеси снижается высокими темпами, затем, при повышении температуры до 15 °С в смеси происходят структурные изменения и вязкость несколько увеличивается. При дальнейшем повышении температуры вязкость снижается (рис. 2)

Изучение физико-химического состава смесей для сквашивания, модифицированных при помощи метода ультрафильтрации. Во второй серии опытов фактор концентрирования по объему в ходе процесса составил 2, по белку – 1,82. Первоначальная скорость фильтрования 156 мл/мин при температуре 10 °С, конечная 167 мл/мин, при температуре 14 °С. Скорость, приведенная к температуре 10 °С с использованием коэффициентов формулы (2), – 155,6 мл/мин. Для приведения проводился расчет для температуры, при которой получен показатель, и при заданной температуре без учета свободного члена уравнения. Разница между этими данными дает нам корректирующую величину, которая показывает, насколько изменится производительность установки при изменении температуры.

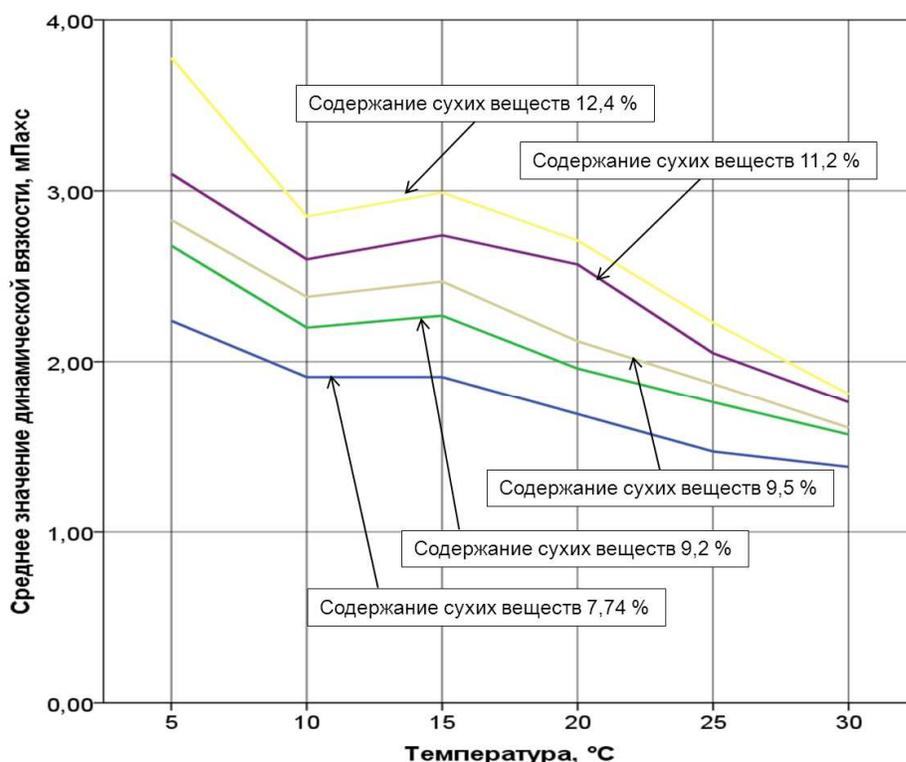


Рисунок 2 – Зависимости динамической вязкости смесей от температуры, при скорости вращения шпинделя 100 об/мин

Исследования проводились с использованием обезжиренного молока (табл. 2) со следующими физико-химическими показателями: массовая доля сухих веществ – 8,5%; массовая доля лактозы – 4,58%; массовая доля общего белка – 3,36%; массовая доля жира – 0,04%; кислотность 17 °Т; рН – 6,8 ед. рН.

Таблица 2 – Физико-химические показатели готовых смесей во второй серии опытов

Наименование показателя	Фильтрат	Номер смеси				
		1*	2	3	4	5
Массовая доля сухих веществ, %	4,8	8,5	9,6	10,1	10,5	11,5
Массовая доля общего белка, %	0,1	3,36	4,65	5,03	5,67	6,12
Массовая доля небелкового N, %	0,016	0,029	0,018	0,016	0,018	0,017
Массовая доля лактозы, %	4,53	4,58	4,61	4,61	4,69	4,74
Массовая доля золы, %	0,42	0,69	0,76	0,81	0,80	0,87
Массовая доля жира, %	0	0,04	0,05	0,9	0,14	0,19
Содержание Са, мг/л	314	818	1158	1242	1385	1336
Содержание Mg, мг/л	132	178	185	191	194	192
Содержание К, мг/л	1584	2231	2275	2022	1908	1906
Содержание Na, мг/л	369	396	394	395	396	377

* исходное молоко

Изучение кинетики изменения кислотности в процессе хранения проводили в двух сериях опытов. В первой были использованы образцы, полученные для проведения реологических исследований. Смеси заквашивали сухой лиофильной закваской термофильного стрептококка и болгарской палочки ТЛББл производства РУП «Институт мясомолочной промышленности». Процесс сквашивания осуществлялся в термостате при температуре 40 °С в течение 6 часов. Измерение титруемой кислотности в продукте производилось сразу после окончания сквашивания и охлаждения до температуры хранения и далее на протяжении 12 дней при температуре хранения 4 °С с периодичностью 24 часа (табл. 3).

Таблица 3 – Динамика изменения титруемой кислотности сгустка в зависимости от времени хранения

Период хранения, часов	Уровень кислотности в зависимости от содержания сухих веществ в смеси, °Т				
	7,7	9,2	9,5	11,2	12,4
Готовый продукт	82	87	98	100	99
24 (1 сут.)	84	88	98	102	103
48 (2 сут.)	85	88	99	104	105
72 (3 сут.)	86	90	100	106	108
96 (4 сут.)	86	92	101	109	110
120 (5 сут.)	87	93	102	111	111
144 (6 сут.)	87	94	100	110	115
168 (7 сут.)	88	93	102	110	120
192 (8 сут.)	89	94	102	112	126
216 (9 сут.)	89	94	104	113	128
240 (10 сут.)	88	95	105	115	128
264 (11 сут.)	90	93	105	115	130
288 (12 сут.)	89	94	106	117	132

Легко заметить, что увеличение содержания сухих веществ приводит к значимому увеличению титруемой кислотности готового продукта. Кислотность на конец периода хранения увеличилась для смеси с низким содержанием сухих веществ на 8,5%, для концентрированных смесей – до 33%.

Можно заметить (табл. 4), что в ходе хранения во всех образцах значительно, на 2–4 порядка, снизилось содержание культуры *Lactobacillus bulgaricus*, которая оказалась нестойкой в условиях хранения. Содержание термофильного стрептококка при этом

изменилось незначительно и снизилось за весь период хранения всего лишь в 1,5–2,0 раза, сохранившись на уровне низкой девятой степени.

Таблица 4 – Микробиологические характеристики продукта в зависимости от срока хранения йогурта

Период хранения	Содержание бактерий в зависимости от содержания сухих веществ в смеси, КОЕ/мл (<i>Lactobacillus bulgaricus</i> / <i>Streptococcus thermophilus</i>)		
	7,7 %	9,5 %	12,4 %
1 сутки	$1,3 \times 10^8$	$1,2 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$
	$2,3 \times 10^9$	$1,9 \times 10^9$	$2,1 \times 10^9$
2 сутки	$3,5 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$4,2 \times 10^6$
	$2,2 \times 10^9$	$1,8 \times 10^9$	$2,0 \times 10^9$
5 сутки	$7,2 \times 10^5$	$8,0 \times 10^5$	$7,8 \times 10^5$
	$1,6 \times 10^9$	$1,8 \times 10^9$	$2,0 \times 10^9$
7 сутки	$2,5 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	$4,5 \times 10^5$
	$1,3 \times 10^9$	$1,5 \times 10^9$	$1,3 \times 10^9$
12 сутки	$9,5 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$
	$1,0 \times 10^9$	$1,2 \times 10^9$	$1,3 \times 10^9$

Вторая серия опытов осуществлялась на базе смесей, приготовленных для определения физико-химических показателей. Полученные смеси заквашивали сухой лиофильной закваской, аналогичной предыдущему опыту. Измерение титруемой кислотности в продукте производилось сразу после окончания сквашивания и охлаждения до температуры хранения и далее с периодичностью 24 часа на протяжении 19 дней за исключением выходных и праздничных дней (табл. 5).

Таблица 5 – Изменение кислотности йогурта в процессе хранения при температуре 4 °С

Период хранения, часов	Уровень кислотности в зависимости от содержания сухих веществ в смеси, °Т				
	8,5	9,6	10,1	10,5	11,5
1	2	3	4	5	6
Готовый продукт	85	102	103	111	113
24 (1 сут.)	86	101	100	110	115
48 (2 сут.)	89	102	102	114	117
96 (4 сут.)	92	103	107	119	122
120 (5 сут.)	92	104	108	120	124
144 (6 сут.)	93	105	110	121	126
168 (7 сут.)	93	106	112	121	129

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6
264 (11 сут.)	97	110	117	123	131
288 (12 сут.)	99	111	118	124	131
312 (13 сут.)	100	111	118	125	132
360 (15 сут.)	102	112	119	126	135
456 (19 сут.)	103	113	121	128	137

В целом можно отметить, что с повышением содержания сухих веществ кислотность продукта повышается. В процессе хранения кислотность нарастает более высокими темпами. Если для смесей с низким содержанием сухих веществ изменение кислотности составило 8–18 °Т (до 20% от исходной), то для высококонцентрированных смесей кислотность изменялась на 24–33 °Т (до 33% от исходной).

Выводы:

1. Установлено, что зависимость производительности ультрафильтрационной установки от температуры носит квадратичный характер. Особенно ярко это проявляется в зоне низких температур.

2. Выявлено, что при повышении температуры вязкость смесей снижается, определено наличие аномального повышения вязкости смеси при температуре около 15 °С. Смеси с повышенным содержанием сухих веществ проявляют свойства ньютоновских жидкостей.

3. При концентрировании на ультрафильтрационной установке двухвалентные ионы концентрируются в большей степени совместно с белковой фракцией. В высококонцентрированных смесях содержание моновалентных ионов калия и натрия значимо ниже. Это объясняется их нахождением в растворе в диссоциированной форме, слабо связанных с высокомолекулярными фракциями белков.

4. Активность ферментативных процессов существенно выше в смесях с высоким содержанием сухих веществ, и они продолжают в процессе хранения при низких температурах. Отмечено, что за время хранения значительно изменяется первоначальный состав микрофлоры продукта. Содержание *Lactobacillus bulgaricus* снизилось на 2–4 порядка, количество *Streptococcus thermophilus* снизилось не столь существенно, примерно в 1,5–2,0 раза, и сохранилось на уровне низкой девятой степени.

O. Dymar, N. Muavad, A. Raiski

**BAROMEMBRANE PREPARATION OF
MIXTURES IN THE PRODUCTION OF YOGHURTS**

Summary

The article describes the method of yogurt making with the use of ultrafiltration process. The dependence of filtration rate of skim milk on the temperature of the process is established. Physico-chemical and mineral composition of the mixtures for yogurt depending on solids content are presented. The features of enzymatic processes in the finished yogurts are discussed.