

УДК 637.33

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЫЧУЖНОЙ КОАГУЛЯЦИИ МОЛОКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАЗЛИЧНЫМ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИМ ФЕРМЕНТНЫМ ПРЕПАРАТАМ

*Т.И. Шингарева, С.В. Красноцкий*

Исследованы факторы, влияющие на сычужную коагуляцию молока, применительно к молокосвертывающим ферментным препаратам животного и микробного происхождения, проанализировано их влияние на параметры сычужного сгустка. Получены математические зависимости, позволяющие оптимизировать процесс сычужной коагуляции молока.

### Введение

Одним из основных компонентов для производства сыра является сычужный фермент, посредством которого происходит сычужная коагуляция белков молока.

Сегодня на рынке Беларуси и России в основном используются три типа молокосвертывающих ферментов – это ферментные препараты (ФП): животного происхождения (смесевые композиции сычужного фермента с говяжьим либо свиным, либо куриным пепсинами в различных соотношениях), микробного синтеза (продуценты-плесневые грибы) и ферментативно производственный 100%-ный химозин, полученный на основе генетических технологий [1,2].

Практически все отечественные сыродельные предприятия закупают ферментные препараты за пределами страны, т.к. в Республике Беларусь их производство не налажено.

Учитывая достаточно широкий перечень ФП и сферу их возможного использования в молочной промышленности, предприятия имеют возможность выбора ферментного препарата с учетом своих финансовых возможностей и предпочтений. Однако, в то же время обилие различных видов ферментных препаратов, предлагаемых для производства сыра, порой ставит в тупик сыроделов. Нет четких рекомендаций, в каких случаях и для каких видов сыров более целесообразно использовать те или иные препараты, неизвестно, как они влияют на выход продукта, качество, стойкость сыра при хранении и, что особенно важно, на органолептические показатели [1].

Поэтому в данной работе была поставлена цель: исследовать процесс сычужной коагуляции молока применительно к различным ферментным препаратам.

### Экспериментальная часть

В основу наших исследований был положен ранее разработанный на кафедре технологии молока и молочных продуктов МГУП способ производства сычужного сыра [6], основанный на двухстадийном внесении ферментного препарата. При проведении эксперимента нормализованную смесь пастеризовали, охлаждали до 32<sup>0</sup>С, при этой температуре вносили закваску и первую дозу ферментного препарата (первая стадия); далее смесь выдерживали 25±5 минут, подогревали до температуры свертывания, затем добавляли хлористый кальций и вторую дозу препарата (вторая стадия). После внесения всех компонентов полученную смесь перемешивали и оставляли в покое для свертывания. Продолжительность свертывания составляла 30±5 минут. В качестве ферментных препаратов в работе применяли: СГ-50 (сычужно-говяжий 50:50) и фермент микробного происхождения «Фромаза».

При исследовании процесса коагуляции варьированию подвергались следующие факторы: жирность исходной смеси, температуры пастеризации и свертывания нормализованной смеси и доза фермента на второй стадии, при этом доза внесения фермента на первой стадии оставалась фиксированной и соответствовала 32% от контроля. В качестве

контроля (100%) принята доза исследуемых ферментных препаратов, обеспечивающая свертывание молока за  $30 \pm 5$  минут при традиционном способе внесения ферментных препаратов при температуре  $32^{\circ}\text{C}$  (по кружке ВНИИМС) [3].

Условия планирования эксперимента и уровни варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1– Условия планирования эксперимента и уровни варьирования факторов

Уровни варьирования факторов эксперимента	Пределы варьирования факторов			
	Жирность исходной смеси, % (A)	Температура пастеризации, $^{\circ}\text{C}$ (B)	Вторая доза препарата, % от контроля (C)	Температура свертывания, $^{\circ}\text{C}$ (D)
Нижний уровень	0,8	72	40	32
Средний уровень	1,8	81	54	37
Верхний уровень	2,7	90	68	41

Исследуемыми параметрами, характеризующими эффективность проведения сычужной коагуляции и качества получаемых сгустков были приняты:

- прочность сгустка (Y1);
- степень отделения сыворотки (Y2);
- количество выделившейся сыворотки (Y3);
- отход жира в сыворотку (Y4);
- отход сырной пыли в сыворотку (Y5);
- отход сухих веществ в сыворотку (Y6).

В работе применяли стандартные методы исследования, прочность сгустка определяли при помощи прибора Аллемана. Для математической обработки данных использовался пакет прикладных программ STATGRAPHICS Plus 5.1.

Для процесса исследования выбран четырехфакторный корреляционно-регрессионный план эксперимента, включающий в себя 81 опытную выработку, как при приготовлении сгустка с использованием ферментного препарата СГ-50, так и «Фромаза».

После проведения эксперимента и установления значимых факторов, на основе математической обработки полученных данных, для каждого из исследуемых параметров выведены уравнения регрессии и построены поверхности отклика.

#### Уравнения регрессии, полученные при использовании ферментного препарата СГ-50:

$$Y1 = 103,1 + 114,7 \times A + 17,6 \times B - 2,3 \times C - 43,4 \times D - 12,2 \times A^2 - 0,5 \times A \times B - 0,8 \times A \times D - 0,1 \times B^2 - 0,1 \times B \times D + 0,02 \times C^2 + 0,7 \times D^2$$

$$Y2 = -227,6 - 1,4 \times A - 0,02 \times B + 2,2 \times C + 13,4 \times D + 4,3 \times A^2 - 0,2 \times A \times B - 0,02 \times C^2 - 0,2 \times D^2$$

$$Y3 = 56,5 - 11,3 \times A - 0,5 \times B + 1,9 \times C + 0,3 \times D + 2,9 \times A^2 - 0,02 \times C^2$$

$$Y4 = 3,6 + 0,02 \times A - 0,2 \times D + 0,004 \times A \times D + 0,003 \times D^2$$

$$Y5 = -2,1 - 0,4 \times A + 0,01 \times B - 0,08 \times C + 0,3 \times D + 0,01 \times A \times D + 0,0005 \times C^2 + 0,0006 \times C \times D - 0,005 \times D^2$$

$$Y6 = 30,9 - 0,5 \times A - 1,1 \times B - 0,1 \times C + 1,3 \times D - 0,3 \times A^2 - 0,02 \times A \times B + 0,1 \times A \times D + 0,006 \times B^2 + 0,001 \times B \times C + 0,004 \times B \times D + 0,001 \times C \times D - 0,03 \times D^2$$

#### Уравнения регрессии, полученные при использовании ферментного препарата «Фромаза»:

$$Y1 = 755,7 + 2,7 \times A - 20,47 \times B + 0,2 \times C + 9,1 \times D - 9,7 \times A^2 + 0,9 \times A \times D + 0,1 \times B^2 - 0,1 \times B \times D$$

$$Y_2 = 481,8 - 4,1 \times A - 0,5 \times B - 21,9 \times D + 0,3 \times D^2$$

$$Y_3 = -116,84 + 13,0093 \times A - 14,361 \times B - 4,7479 \times C + 48,3057 \times D - 0,326511 \times A \times D + 0,0893592 \times B^2 - 0,00876323 \times B \times C + 0,0505345 \times C^2 - 0,646678 \times D^2$$

$$Y_4 = 2,5 + 0,01 \times A - 0,06 \times B + 0,005 \times D + 0,04 \times A^2 + 0,0004 \times D^2$$

$$Y_5 = 3,4 - 0,6 \times A - 0,03 \times B - 0,04 \times C + 0,005 \times D + 0,2 \times A^2 + 0,008 \times A \times B - 0,02 \times A \times D + 0,0003 \times B \times C + 0,0005 \times C \times D$$

$$Y_6 = 15,7 + 0,1 \times A - 0,7 \times B + 1,01 \times D + 0,005 \times B^2 - 0,002 \times B \times D - 0,01 \times D^2$$

Установлено, что уравнения регрессий являются адекватными, коэффициент вероятности для исследуемых моделей выше 75%.

Известно, что для производства твердых сычужных сыров обычно применяется температура пастеризации 72–76<sup>0</sup>С с выдержкой 20±5 с. В то же время повышение температуры пастеризации до 85–90<sup>0</sup>С позволяет более полно использовать сухие вещества молока и, прежде всего, за счет денатурации сывороточных белков, однако последние обладают гидрофильными свойствами, что приводит к получению менее прочного сгустка, снижению синерезиса, а также к ухудшению органолептических показателей продукта.

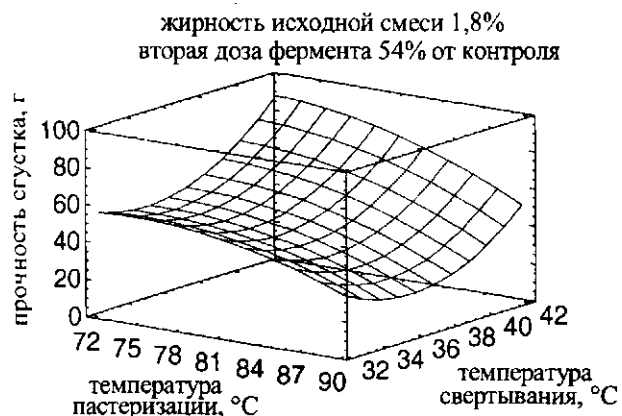
Температура свертывания при производстве сычужных сыров составляет 32±2<sup>0</sup>С, однако в ранее проведенных исследованиях установлено [4], что повышение температуры свертывания до 40–42<sup>0</sup>С положительно влияет на прочность получаемого сычужного сгустка, т.к. под воздействием фермента в единицу времени происходит более быстрый протеолиз молекул  $\chi$ -казеина. Образующийся параказеин обладает значительно меньшей по сравнению с казеином способностью к гидратации и соответственно окружен меньшей гидратной оболочкой, которая еще больше уменьшается с ростом температуры. При этом в процессе гелеобразования между частицами параказеинаткальцийфосфатного комплекса образуются более прочные продольные и поперечные связи, т.е. более прочный сгусток.

Сычужную коагуляцию считают эффективной, когда получается сгусток оптимальной прочности, при которой обеспечивается его хорошая обработка с минимальным отходом сухих веществ в сыворотку и максимальными синергическими свойствами [5].

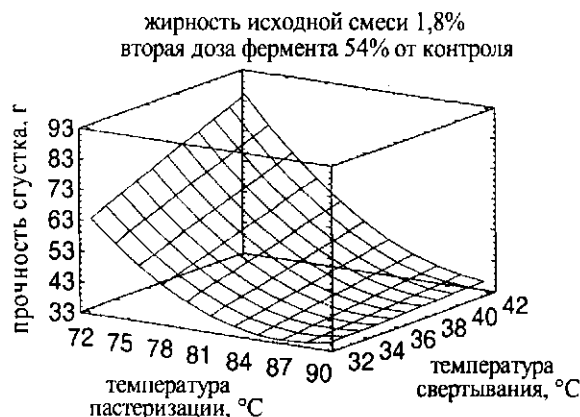
Поэтому далее в работе изучали совместное влияние температур пастеризации и свертывания на процесс сычужной коагуляции молока при использовании ферментных препаратов СГ-50 и «Фромаза», применительно к жирности молока 1,8%, с целью оптимизации параметров сычужной коагуляции молока. Результаты исследования представлены на рисунке.

Анализ результатов, отраженных в полученных поверхностях отклика, показывает, что температура пастеризации более существенное влияние оказывает на прочность сгустка, полученного с использованием ферментного препарата «Фромаза». Так, при повышении температуры пастеризации от 72<sup>0</sup>С до 90<sup>0</sup>С прочность исследуемого сгустка уменьшается от 63 до 33 г (температура свертывания 32<sup>0</sup>С) и от 93 до 35 г (температура свертывания 41<sup>0</sup>С) (рисунок б). В то же время у сгустка, полученного с использованием ферментного препарата СГ-50, эта зависимость менее выражена: при повышении температуры пастеризации от 72<sup>0</sup>С до 90<sup>0</sup>С прочность уменьшается от 60 до 43 г (температура свертывания 32<sup>0</sup>С) и от 98 до 65 г (температура свертывания 41<sup>0</sup>С) (рисунок а). Если же рассматривать влияние температуры свертывания, то наибольшее влияние этот фактор оказывает на прочность сгустка, полученного с использованием ферментного препарата СГ-50. Так, при изменении температуры свертывания от 32<sup>0</sup>С до 41<sup>0</sup>С (температура пастеризации 72<sup>0</sup>) значение прочности возрастает от 58 до 95 г и от 35 до 65 г (температура пастеризации 90<sup>0</sup>С) (рисунок а). У сгустка, полученного с использованием

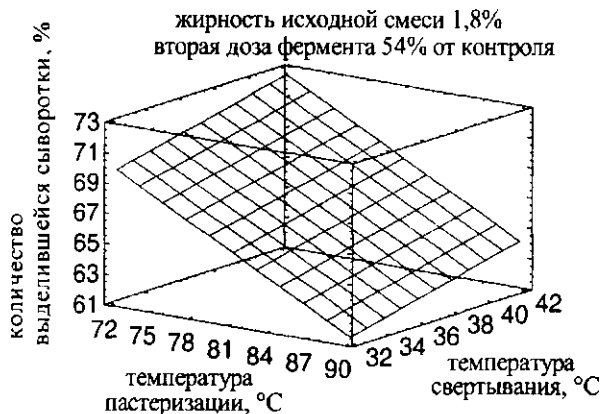
ферментного препарата «Фромаза», увеличение прочности от 65 до 85 г наблюдается при увеличении температуры свертывания от 32<sup>0</sup>С до 37<sup>0</sup>С (температура пастеризации 72–74 <sup>0</sup>С); при других значения температуры пастеризации прочность изменяется на несущественную величину (рисунок б).



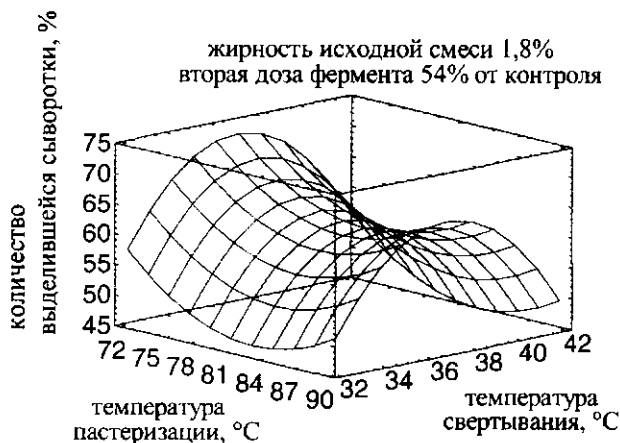
а) ферментный препарат СГ-50



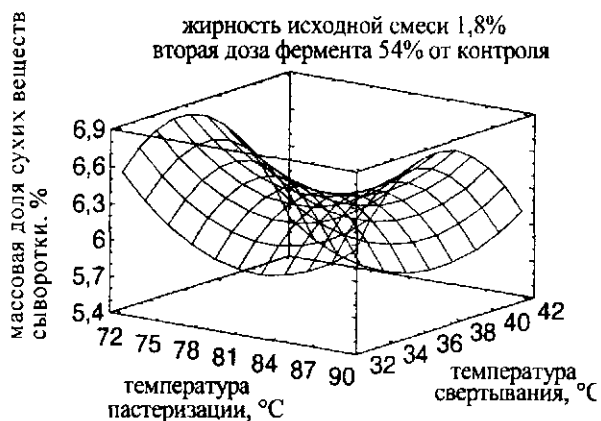
б) ферментный препарат «Фромаза»



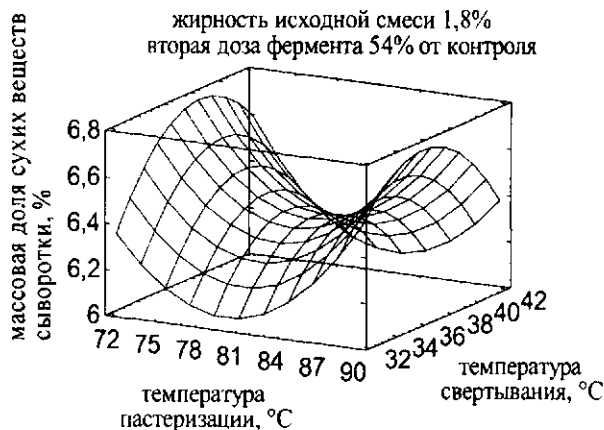
в) ферментный препарат СГ-50



г) ферментный препарат «Фромаза»



д) ферментный препарат СГ-50



е) ферментный препарат «Фромаза»

Рисунок 1 – Влияние температур свертывания и пастеризации на параметры сычужного сгустка

При анализе поверхностей отклика, на которых отражена зависимость выделившейся сыворотки от исследуемых факторов (рисунок в, г), установлено, что температура пастеризации более существенное влияние оказывает на количество выделившейся сыворотки при использовании ферментного препарата СГ-50. Видно, что при повышении температуры пастеризации от 72<sup>0</sup>С до 90<sup>0</sup>С количество выделившейся сыворотки снижается от 70% до 61 % (температура свертывания 32<sup>0</sup>С) и от 73% до 65% (температура свертывания 41<sup>0</sup>С) (рисунок в). При использовании ферментного препарата «Фромаза» зависимость не такая прямая (рисунок г). Если же рассматривать влияние температуры свертывания на количество выделившейся сыворотки при использовании ферментного препарата СГ-50, то данный фактор не оказывает практически никакого влияния, зависимость линейная, максимальное количество сыворотки достигается при температуре пастеризации 75<sup>0</sup>С и температуре свертывания 41<sup>0</sup>С (рисунок в). При использовании же ферментного препарата «Фромаза» явно видно, что максимальное количество сыворотки выделяется при температуре свертывания 36<sup>0</sup>С и температуре пастеризации 72-74<sup>0</sup>С (рисунок г).

Анализ влияния исследуемых факторов на отход сухих веществ в сыворотку показал, что наиболее существенное влияние на этот параметр при использовании как одного, так и другого ферментного препарата оказывает температура свертывания. Так, при использовании ферментного препарата СГ-50 при повышении температуры свертывания от 34<sup>0</sup>С до 41<sup>0</sup>С массовая доля сухих веществ в сыворотке уменьшалась от 6,9% до 5,4%, причем минимальное значение достигается при температуре свертывания 41<sup>0</sup>С и температуре пастеризации 76-80<sup>0</sup>С (рисунок д). При использовании фермента «Фромаза» зависимость практически такая же, однако минимальный отход сухих веществ в сыворотку достигается при температуре свертывания 32<sup>0</sup>С и температуре пастеризации 78-81<sup>0</sup>С (рисунок е).

При анализе поверхностей отклика для других исследуемых параметров (степени отделения сыворотки, отхода жира и сырной пыли в сыворотку) отмечены практически идентичные зависимости.

### Заключение

Исследован процесс сычужной коагуляции молока применительно к молокосвертывающим ферментным препаратам: СГ-50 (сычужно-говяжий 50:50) и «Фромаза». Получены уравнения регрессии и поверхности отклика, описывающие зависимость параметров сычужной коагуляции молока от исследуемых технологических факторов, что позволяет осуществлять прогноз и оптимизацию процесса сычужной коагуляции молока на стадии выработки сыра.

### Литература

1. Федотова, А.В. Гранулирование как способ улучшения качества молокосвертывающих ферментов /А.В. Федотова, А.Н. Штыков, Н.Д. Полова, У.А. Назаренко // Сыроделие и маслоделие. – 2005. – №1. – С. 11–12
2. Карычев, Р.З. Молокосвертывающие ферменты компании «Хр. Хансен» /О.М.Соколова // Сыроделие и маслоделие. – 2006. – №1. – С. 10–11.
3. Диланян, З.Х. Сыроделие / З.Х. Диланян. – 3-е изд., – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 280 с.
4. Шингарева, Т.И. Влияние интенсификации свертывания молока и обработки сырного сгустка на процесс созревания и качество сыра: дис. .... канд. тех. наук: 05.18.04. / Т.И. Шингарева. – Каунас, 1989. – 170 л.
5. Гудков, А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты: учеб. для вузов. / А.В. Гудков. – М.: Пищевая промышленность, 2003. – 256 с.

*Поступила в редакцию 16.03.2007*