

СЛИВОЧНОЕ МАСЛО КАК ДИСПЕРСНАЯ СИСТЕМА. ВАЖНЕЙШИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Сливочное масло представляет собой полидисперсную, многофазную и многокомпонентную систему переменного состава. Полидисперсность сливочного масла обусловлена тем, что твердая фаза молочного жира, водная и газовая фазы находятся в виде раздробленных частиц, размеры которых меняются в определенных пределах. Так, кристаллы молочного жира имеют размеры 0,01—2 мкм, капельки влаги 1—30 мкм, пузырьки воздуха до 20 мкм.

Многофазность — это наличие в масле компонентов в твердом, жидком и газообразном состоянии. Фазой называют совокупность всех гомогенных частиц системы, одинаковых во всех точках по составу и по всем химическим и физическим свойствам и отграниченных от других частей некоторой видимой поверхностью (поверхность раздела). Твердая фаза масла представлена смешанными кристаллами молочного жира, белками оболочек жировых шариков и белками плазмы молока. Жидкая фаза состоит из жидких фракций молочного жира, свободной воды, находящейся в виде капель, и связанной воды в капиллярах, пронизывающих непрерывную жировую фазу. Газообразная фаза представлена пузырьками воздуха и растворенным воздухом. Состав газовой фазы в свежем масле такой же, как и воздуха, т. е. 78% азота, 20,9% кислорода, не более 0,5% углекислого газа. В процессе хранения содержание кислорода быстро уменьшается. Объем газовой фазы в сливочном масле составляет 1—13 мл в 100 г.

Физические свойства масла определяются химическим составом и степенью дисперсности его основных компонентов. Химический состав сливочного масла направленно регулируется в зависимости от вида вырабатываемого продукта. Состав масла подвержен сезонным колебаниям, он также зависит от методов производства.

Сливочное масло обладает комплексом разнообразных свойств, характеризующихся такими показателями, как термоустойчивость, восстанавливаемость структуры, вытекание жидкого жира, дисперсность влаги и др.

Термоустойчивость (K_T) — способность масла сохранять форму при повышенных температурах. Она определяется термостатированием цилиндрического образца масла диаметром 20 мм и высотой 20 мм при температуре 30 °С в течение 2 ч. Мерой термоустойчивости служит отношение начального диаметра образца масла к среднему диаметру основания образца D_1 , полученному после термостатирования

Для характеристики термоустойчивости масла пользуются шкалой, приведенной ниже.

Термоустойчивость	Величина
	K_T
Хорошая	1,0-0,86
Удовлетворительная	0,85-0,70

Вытекание жидкого жира (M в ж) — способность структуры сливочного масла удерживать жидкий молочный жир (предложен В. Мором и К. Бауэром, модифицирован Э. Ставровой и А. Транчевой). Пробу масла в форме кубика со стороной 3,5 см помещают на 5 слоев фильтровальной бумаги, уложенной в чашку Петри. Кубики выдерживают в термостате при 25 °С в течение 24 ч. После этого пробу охлаждают при 5 °С в течение 30 мин, осторожно удаляют с бумаги остатки масла. Количество вытекшего жира (в %) определяют по формуле

где v — масса чашки с пропитанной жиром фильтровальной бумагой и свободно вытекшим жиром; a — масса чашки Петри с фильтровальной бумагой; c — масса чашки с фильтровальной бумагой и кубиком масла.

Восстанавливаемость структуры (K_v) характеризует степень обратимости связей в структурной сетке образца. Определяют отношением восстановленной прочности разрушенной структуры к прочности исходного образца по формуле

где P^1_t — предельное напряжение сдвига восстановившейся структуры масла, Н/м²; P_t — предельное напряжение сдвига масла с неразрушенной структурой, Н/м².

Индикаторный метод определения дисперсности влаги основан на способности капелек влаги, находящихся на поверхности образца масла, при соприкосновении с поверхностью индикаторной бумаги, пропитанной раствором бромфенолосинего, образовывать сине-фиолетовые точки и пятна.

Кислотность масла характеризует наличие в нем молочной кислоты, кислых солей, а также свободных жирных кислот молочного жира; выражают в градусах Кеттсторфера (°К) — число миллилитров однонормального раствора щелочи, израсходованного на нейтрализацию 100 г масла. Кислотность сладкосливочного масла составляет 0,6—1,2 °К, а кислосливочного—1,5—2,5°К.

К важнейшим физическим характеристикам молочного жира относятся температура плавления, температура отвердевания, температура полного отвердевания, показатель преломления и число рефракции.

Температура плавления молочного жира — температура, при которой высокоплавкая фракция молочного жира полностью переходит в жидкое состояние; она составляет 28—36 °С.

Температура отвердевания молочного жира—температура, при которой начинают появляться первые кристаллы высокоплавкой фракции. Эта характеристика колеблется от 18 до 24 °С.

Температура полного отвердевания молочного жира — это температура, при которой кристаллизуется самая легкоплавкая фракция молочного жира.

Она колеблется от —40 °С до —36 °С.

Показатель преломления — оптическое свойство молочного жира, характеризующее его способность преломлять световую волну определенной длины. Обычно табличные показатели преломления приводятся для длины волны 589 нм, излучаемой натровой лампой. Молочный жир при температуре 40 °С имеет показатель

преломления 1,453—1,462. По показателю преломления рассчитывают число рефракции, которое для молочного жира находится в пределах от 40 до 45.

Оптическая плотность (\mathcal{E}) служит мерой непрозрачности слоя вещества для световых лучей; она выражается десятичным логарифмом отношения потока излучения N_0 , падающего на слой, к прошедшему через этот слой N .

$$\mathcal{E} = \lg (N_0/N) \quad (6.4)$$

Оптическая плотность молочного жира при длине волны 450 нм и температуре 50 °С составляет 0,220—0,586.

Химический состав молочного жира можно характеризовать или количественным содержанием жирных кислот (газожидкостная хроматография), или с помощью так называемых констант, или чисел. Важнейшими химическими числами молочного жира являются следующие.

Йодное число — условная величина, представляющая собой число граммов йода, присоединившегося к 100 г жира, и выраженная в процентах. Оно позволяет судить о степени ненасыщенности жирных кислот, входящих в состав жира. Йодное число в течение года изменяется от 25 до 45.

Число омыления характеризует среднюю молекулярную массу смеси свободных жирных кислот, входящих в состав глицеридов жира; определяется количеством миллиграммов едкого калия, необходимого для омыления глицеридов и нейтрализации свободных жирных кислот в 1 г жира. Число омыления молочного жира находится в пределах от 220 до 234.

Под числом Рейхерта-Мейссля понимают условную величину, выражаемую числом миллилитров децинормального раствора едкого калия, необходимого для нейтрализации растворимых в воде летучих жирных кислот, выделенных из 5 г жира; показатель характеризует содержание низкомолекулярных жирных кислот (масляной и капроновой). Молочный жир имеет данное число 20—32, тогда как говяжий, свиной и бараний жиры — 0,1—1,2, а подсолнечное, хлопковое, кукурузное, соевое и кокосовое масло — 0—8. Указанное различие используют для определения натуральности молочного жира при подозрении на фальсификацию.

Число Поленске характеризует количество низкомолекулярных летучих нерастворимых в воде жирных кислот (каприловой и каприновой) в 5 г жира. Молочный жир имеет число Поленске 1,9—5.

СТРУКТУРА МАСЛА, ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ВКУС, ЗАПАХ, ЦВЕТ, КОНСИСТЕНЦИЮ И ХРАНИМОСПОСОБНОСТЬ

Под структурой масла понимают форму, размеры, распределение и взаимосвязь элементов, из которых она складывается. Твердость, пластичность и другие механические характеристики масла определяются его

структурой. С последней также тесным образом связаны консистенция, вкус, цвет и стойкость масла при хранении.

Невооруженным глазом и при небольшом увеличении можно наблюдать макроструктуру, а с помощью светового и электронного микроскопов — микро- и ультраструктуру сливочного масла.

Уже первые наблюдения тонких срезов масла под микроскопом, выполненные Ф. Шторхом в 1883 г., выявили основные структурные элементы масла, которыми оказались неповрежденные жировые шарики с оболочками, капли влаги, частицы белка и пузырьки воздуха.

Представления о структуре масла тесно связаны с теоретическими воззрениями маслообразования. И по мере совершенствования последних менялись и взгляды на структуру масла. Наиболее распространенной точкой зрения на процесс образования масла является представление об обращении фаз. Явление обращения фаз было открыто в коллоидной химии при изучении свойств эмульсий с различной концентрацией дисперсной фазы. Это явление состоит в том, что прямая эмульсия, представляющая собой дисперсию масла в воде, — эмульсия типа М/В при определенных условиях переходит в обратную эмульсию, представляющую собой дисперсию воды в масле, — эмульсия типа В/М. Именно с позиции обращения фаз можно рассматривать любой процесс маслообразования. Такой подход приводит или к упрощенному представлению о структуре масла как о системе, представляющей собой дисперсию воды в бесструктурном молочном жире (Х. Сокслет), или к более сложным представлениям о структуре сливочного масла как системе с непрерывной жировой фазой (О. Ран, Н. Кинг и др.). В качестве доказательства правоты своих воззрений данная группа ученых приводила следующие экспериментальные факты: диффузия липофильного Судана 3 (под микроскопом можно видеть окрашенный в красный цвет препарат масла), близость диэлектрической проницаемости масла (5—7,5) к таковой для молочного жира (3), нежели к исходным сливкам (130).

Может показаться, что непрерывность жировой фазы исключает даже возможность существования непрерывной водной фазы, так как массовая доля влаги в сладкосливочном масле примерно равна 16%. Однако наблюдения за диффузией водорастворимых веществ (метиленовой сини, растворов солей и кислот) подтвердили, что наряду с жировой фазой непрерывной является и водная. Это становится возможным благодаря тому, что жировую фазу пронизывает сетка из оболочек жировых шариков.

сливочного

1 – жировой
триглицеридов
образованный
фаза жидкого
с4 – капли

Рис.6.1. Модель структуры
масла по Кингу:

шарик с периферийным слоем группы
в твердом состоянии; 2 - жировой шарик,
кристаллическим жиром; 3 – непрерывная
жира с мелкими кристаллами твердого жира;
влаги.

МАСЛО, ВЫРАБОТАННОЕ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

ВЫСОКОЖИРНЫХ СЛИВОК

Количество	12 430	2470	110	16	4	-	-	15 030
капель								
%	83	16	0,7	0,1	0,03	-	-	-
Объем	1160	2240	420	180	130	-	-	4 130
капель								
%	28	54	10	4	3	-	-	-

МАСЛО, ВЫРАБОТАННОЕ МЕТОДОМ СБИВАНИЯ СЛИВОК

Количество	13 450	2550	135	50	40	10	2	16 237
капель								
%	83	15	0,8	0,3	0,3	0,08	0,01	-
Объем	1 160	2160	540	590	2680	1120	510	8 760
капель								
%	13	25	6	7	31	13	6	-

Для понимания структуры сливочного масла очень важным является представление о кристаллизационных и коагуляционных структурах, выдвинутое П. Ребиндером. По характеру связей между дисперсными частицами, мицеллами или микрокристалликами дисперсные системы подразделяются на кристаллизационные и коагуляционные.

Чисто кристаллизационные структуры образованы прочными химическими связями. Поэтому они обладают упруго- или эластично-хрупкими свойствами.

Типичные коагуляционные дисперсные системы имеют достаточно тиксо-тропные структуры с выраженной ползучестью (медленная непрерывная пластическая деформация под воздействием постоянной нагрузки). В таких системах структурообразующие частицы не контактируют между собой непосредственно, а отделены друг от друга тончайшими прослойками дисперсной среды.

Структура масла должна быть промежуточного коагуляционно кристаллизационного типа с преобладанием коагуляционных элементов и при обязательном наличии кристаллизационных. При отсутствии в структуре масла коагуляционных связей оно теряет пластичность и становится излишне твердым, крошливым.

Структура оказывает большое влияние на восприятие вкуса сливочного масла. Чем лучше диспергированы его компоненты (жир, влага), тем выраженнее вкус масла.

Цвет масла определяется периодом года, дисперсностью влаги и равномерностью распределения соли. Наиболее характерные пороки масла, связанные с его окраской: белое и бледноватое, пестрое или полосатое.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ПОЛИМОРФИЗМ МОЛОЧНОГО ЖИРА, ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ МАСЛООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ

Кристаллизация, т. е. процесс образования зародышей и рост кристаллов молочного жира, — один из важнейших в технологии сливочного масла, так как именно количество твердой фазы молочного жира наряду с триглицеридным составом определяет его микро- и макросвойства, включая структуру, физические свойства, в том числе консистенцию.

Общая теория кристаллизации в настоящее время разработана достаточно основательно. Теория спонтанной, т. е. самопроизвольной кристаллизации, разработанная Тамманом в 1902 г., не потеряла своего значения и в наши дни.

Превращение одной фазы в другую, по теории Г. Таммана, начинается не во всем объеме фазы, а в определенных точках, называемых центрами образования новой фазы (зародышами) или центрами кристаллизации, причем скорость образования новой фазы может быть разнообразной. Скорость кристаллизации складывается из скорости образования зародышей и скорости отложения вещества на уже образовавшемся зародыше; последнюю скорость называют линейной скоростью кристаллизации.

Г. Тамман показал, что скорость образования зародышей в зависимости от степени переохлаждения обладает ясно выраженным температурным максимумом. Линейная скорость кристаллизации с понижением температуры вначале растет, затем в некотором интервале температур остается постоянной, после чего падает.

В зависимости от взаимного расположения кривой скорости кристаллизации и кривой числа центров кристаллизации переохлажденный расплав может или закристаллизоваться, или перейти в стеклообразное состояние. Так, если максимум скорости образования зародышей попадает в область, при которой линейная скорость мала, то жидкость легко переохладить и можно даже получить вещество в аморфном состоянии. При малой скорости образования зародышей вещество легко получить в виде более или менее крупных кристаллов, напротив, при большом значении этой скорости структура затвердевшего вещества получается мелкокристаллической.

Известные трудности теорий кристаллизации при объяснении самого факта образования зародыша были преодолены после создания Дж. В. Гиббсом общей термодинамической теории образования зародышей новой фазы в метастабильной переохлажденной среде. Он дал определение метастабильному состоянию системы как одному из возможных ее состояний, не соответствующему минимуму свободной энергии.

Д. Гиббс показал, что при образовании кристаллического зародыша радиуса r внутри жидкого расплава изменение свободной энергии системы ЛФ подчиняется уравнению

где V — объем зародыша; ρ — плотность зародыша; M — молекулярная масса; μ_2 — химический потенциал новой фазы; μ_1 — химический потенциал исходной фазы; γ — поверхностное натяжение на границе фаз; S — поверхность зародыша.

Из уравнения следует, что $\Delta\Phi > 0$, когда $\mu_2 - \mu_1 > 0$ и образование новой фазы исключается, поскольку система находится при температурах, превышающих температуру фазового перехода. Если исходная фаза оказывается переохлажденной, то $\mu_2 - \mu_1 < 0$ и функция $\Delta\Phi$ в зависимости от радиуса зародыша r сначала достигает максимума, а затем резко уменьшается. В этих условиях образование новой фазы зависит от преодоления некоторого потенциального барьера $\Delta\Phi$, играющего такую роль, как энергия активации в химических процессах.

Энергия активации — тот избыток энергии по сравнению со средней энергией молекул при данной температуре, которым должны обладать молекулы, чтобы они могли вступить в химическую реакцию.

Высокая вязкость расплава молочного жира, громоздкость триглицеридных молекул (возможны три конфигурации молекул в кристаллах триглицеридов: вилки, кресла и стержня) затрудняют образование зародышей и рост кристаллических образований. Как следствие этих причин выступает значительная способность молочного жира к переохлаждению. Степень переохлаждения (ΔT) определяется соотношением

$$\Delta T = T_{пл} - T_{кр},$$

Где $T_{пл}$ — температура плавления молочного жира, °C; $T_{кр}$ — температура начала кристаллизации, °C.

В условиях покоя ΔT составляет 15—20 °C, а при перемешивании величина степени переохлаждения уменьшается.

Среди явлений, происходящих при кристаллизации молочного жира, необходимо отметить способность входящих в его состав триглицеридов к полиморфным превращениям.

Полиморфизм — явление, характеризующее способность некоторых химических соединений существовать в нескольких кристаллических модификациях, называемых полиморфными формами.

По Е. Луттону, триглицериды могут образовывать три главные и одну или две добавочные полиморфные формы. Для обозначения полиморфных форм используют начальные буквы греческого алфавита. Главные полиморфные формы: неустойчивая α -, промежуточная β^1 - и устойчивая β -форма. Добавочные полиморфные формы: β^1 —3; β^1 —4; β —3; sub- α ; super- α и др. После символа, обозначающего полиморфную форму, цифрой указывают число цепей в длинном интервале. Таким образом, главные и добавочные полиморфные формы отличаются тем, что в главных полиморфных число цепей в длинном интервале составляет 2, а в добавочных их может быть 3 и даже 4.

Идентификация полиморфных форм триглицеридов производится по результатам рентгеноструктурного анализа, ИК-спектрам и спектроскопии ЯМР низкого разрешения. Дифракция рентгеновых лучей на порошках триглицеридов позволяет находить короткие и длинные межплоскостные расстояния. Короткое межплоскостное расстояние l — ширина основания в A вертикальной или наклонной призмы — элементарной кристаллической ячейки, которую образуют параллельно расположенные друг другу алифатические цепи триглицеридов.

Длинное межплоскостное расстояние L — высота в А вертикальной или наклонной призмы, образованной двойными, тройными или четверными молекулярными слоями триглицеридов.

ВЕЛИЧИНЫ КОРОТКИХ МЕЖПЛОСКОСТНЫХ РАССТОЯНИЙ ГЛАВНЫХ ПОЛИМОРФНЫХ ФОРМ ПРОСТЫХ НАСЫЩЕННЫХ ТРИГЛИЦЕРИДОВ И УСЛОВИЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Обозначение формы по Луттону	угол наклона призмы, град	Значение 1, А	Способ получения формы
α-	90	4,15	Застывание расплава при 0 °С
β'-	68	3,8 и 4,2	Застывание расплава при 0 °С и нагрев на 2 °С
В-	64	4,6	Кристаллизация из полярных растворителей (ацетона, гексана); медленное нагревание кристаллов β ¹¹ – формы выше 0 °С

Общепризнанной номенклатуры полиморфных форм в настоящее время не существует. В литературе по полиморфизму триглицеридов молочного жира применяют классификацию Е. Луттона. Известны также номенклатуры полиморфных форм по Т. Малкину, С. Хору и К. Ларсону.

В СССР вопросами полиморфизма молочного жира занимались А. Белоусов, Г. Твердохлеб и др. По А. Белоусову и В. Вергслесову, быстрое охлаждение расплава молочного жира до температуры 0—5 °С приводит к образованию твердой фазы, состоящей из нескольких групп смешанных кристаллов, каждая группа имеет кристаллическую структуру в α-форме. Выдержка при температуре охлаждения или нагревания на 2—3 °С приводит одновременно с перестройкой состава смешанного кристалла к полиморфному превращению α→β¹-форму. Дальнейшей перестройки кристаллической структуры в β-форму не происходит. Устойчивость кристаллических структур в реформе является характерной особенностью проявления полиморфизма триглицеридов в молочном жире.

Исследования полиморфизма в отдельных фракциях молочного жира показали, что в первой наиболее высокоплавкой фракции наблюдаются следующие полиморфные модификации: β – с T_{пл}=59°C; β¹ – с T_{пл}=54°C;

α – с T_{пл}=47°C и ? – с T_{пл}=38°C.

Идея об образовании смешанных кристаллов в процессе кристаллизации молочного жира принадлежит голландскому ученому Г. Мульдеру.

Смешанный кристалл — это кристалл, образованный близкими по химическому строению и молекулярному весу триглицеридами, длина углеродных цепей которых не превышает шести углеродных атомов.

Количество групп смешанных кристаллов, образующихся при охлаждении молочного жира, по данным дифференциально-термического анализа, зависит от скорости охлаждения: при быстрой скорости охлаждения (2 град/с и более) образуются две группы, при медленном (менее 1 град/с) и ступенчатом охлаждении количество групп возрастает от 3 до 5 групп в результате дифференциации как высокоплавких, так и низкоплавких групп; полиморфные превращения проявляются в каждой группе смешанных кристаллов в отдельности.

Процессы кристаллизации молочного жира и полиморфные превращения тесно связаны со многими показателями качества сливочного масла; их глубокое изучение, по мнению Г. Твердохлеб, позволяет критически подходить к выбору технологических режимов переработки сырья, предотвращать возникновение пороков и вырабатывать качественный продукт.

РОЛЬ ТИКСОТРОПНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ МАСЛА

Формирование структуры сливочного масла можно разделить на два периода: в аппарате под воздействием интенсивной механической обработки и в таре, в состоянии покоя. Последний, в свою очередь, можно разбить на два микропроцесса: кристаллизацию определенной части триглицеридов и протекание тиксотропного структурообразования. В результате прохождения этих процессов наблюдается небольшое повышение температуры продукта (не более 2 °С) и постепенное нарастание механической прочности. Образующаяся при этом структура называется кристаллизационно-коагуляционной.

Явление тиксотропии сливочного масла состоит в способности его структуры размягчаться или разжижаться под влиянием механического воздействия и вновь упрочняться после прекращения воздействия.

В соответствии с классическими представлениями структуру сливочного масла можно трактовать как трехмерную решетку, образованную обратимыми (тиксотропными) и необратимыми (кристаллизационными) связями. Кристаллизационные связи — это контакты непосредственно между кристаллами молочного жира, образованные прочными химическими связями. Тиксотропные (коагуляционные) связи — это контакты между кристаллическими частицами и другими структурными элементами масла через прослойки жидкого жира. В образовании этих связей участвуют более слабые силы Ван дер Ваальса.

Исследование механических свойств образцов сливочного масла с различными пороками консистенции показало, что образцы масла ломкой, слоистой или крошливой консистенции имели структуру преимущественно кристаллизационного характера, так как исходное масло обладало довольно высокой прочностью и после ее разрушения восстановившаяся структура имела прочность на 30—40% ниже исходной. Пластичное же масло имеет невысокую прочность и его структура носит преимущественно коагуляционный характер, так как после разрушения прочность структуры восстанавливается до 80—90%. Полное отсутствие кристаллизационных элементов обуславливает получение масел со слабой, мажущейся консистенцией.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА

Реологические характеристики служат в качестве меры реологических свойств материала и отражают его способность деформироваться в заданных условиях испытания. Основными реологическими характеристиками сливочного масла являются предельное напряжение сдвига, вязкость, модуль упругости, время релаксации и ряд условных показателей, по которым оценивают твердость масла.

Предельное напряжение сдвига (P_t) характеризует прочность структуры. Его измеряют с помощью конических пластометров или пенетрометров. Оно представляет собой наименьшее значение напряжения сдвига, соответствующее уравниванию действующей нагрузки пластической прочностью структуры; его рассчитывают по формуле

Где K_ϕ — константа, зависящая от угла раскрытия конуса при вершине; F - нагрузка, действующая на конус, H ; h_T — глубина погружения конуса, м.

Для сладкосливочного масла, выработанного методом сбивания, предельное напряжение сдвига обычно колеблется от 2 до 3,2 кПа, а для масла, полученного методом преобразования высокожирных сливок, — от 3 до 10 кПа.

Вязкость¹ — свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению слоев относительно друг друга. По уравнению Ньютона, которое справедливо для идеально вязких жидкостей (вода, спирты, кислоты и др.), динамическая вязкость равна

где σ' — напряжение сдвига, H/m^2 ; $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига, s^{-1} .

Сливочное масло принадлежит к неньютоновским системам, т. е. системам, при течении которых уравнение Ньютона не оправдывается. Последнее означает, что зависимость вязкости от скорости и напряжения сдвига носит нелинейный характер. Применительно к сливочному маслу различают эффективную, пластическую и релаксационную вязкость.

Эффективная вязкость $\eta_{эф}$ — условная характеристика, измеряемая для высоковязких неньютоновских систем при определенных значениях скорости и напряжения сдвига.

Пластическая вязкость $\eta_{эф}$ (табл. 6.3) рассчитывается по уравнению Шведова-Бингами

где σ — предельное напряжение сдвига по Бингаму, H/m^2 .

ВЕЛИЧИНЫ ЭФФЕКТИВНОЙ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Температура, °C	$\eta_{эф} 10^{-4}$, Па*с	$\eta_m 10^{-4}$, Па*с
0	18,8	12,0
5	14,1	7,6
10	5,3	6,0

15	2,1	1,0
22	1,2	0,5

Релаксационную вязкость $\eta_{\text{рел}}$ определяют по уравнению

где ρ — продолжительность релаксации, с; E — модуль упругости, Н/м².

Модуль упругости [E] при испытаниях на сжатие цилиндрических образцов масла рассчитывают по формуле

Где σ_y —напряжение, соответствующее пределу упругости, Н/м²; e —относительная деформация образца.

ВЕЛИЧИНЫ ПРЕДЕЛОВ УПРУГОСТИ, МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ И РЕЛАКСАЦИОННОЙ ВЯЗКОСТИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Температура, °С	σ_y , кПа	E , кПа	$\eta_{\text{рел}} \cdot 10^{-5}$, Па * с
-----------------	------------------	-----------	--

МАСЛО, ВЫРАБОТАННОЕ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

ВЫСОКОЖИРНЫХ СЛИВОК

12,6	25,0	77,0	20,3
15,0	10,4	27,0	12,5
17,0	3,3	22,0	2,8

МАСЛО, ВЫРАБОТАННОЕ МЕТОДОМ СБИВАНИЯ СЛИВОК

10,0	25,0	70,5	20,4
15,0	7,0	26,0	10,9
17,0	4,0	23,0	4,7

Продолжительность релаксации ρ — промежуток времени, в течение которого начальное напряжение σ_0 падает до значения, меньшего в 2,72 раза. Продолжительность релаксации характеризует важное свойство связей, образующих структуру масла, рассасывание напряжений, возникающих в его структуре при нагружении. При температуре 18—20 °С ρ меняется от 13 до 100 с.

Под твердостью сливочного масла понимают способность его структуры оказывать сопротивление внедрению в толщу продукта инденторов различной формы (конус, шар, цилиндр, плоскость) или резанию проволокой, пластиной. Получили распространение следующие методы измерения твердости масла:

Крейсхера ден Хердера — вдавливание в масло диска с поперечным сечением 4 см² со скоростью 0,33 мм/с; твердость рекомендуется определять при температуре 13 °С; твердость масла по Крейсхеру ден Хердеру колеблется зимой от 3,31 до 8,83 и летом от 1,95 до 4,42 кг/4 см²;

пенетрационный — основан на определении глубины погружения конуса определенной массы в течение 5 с; пенетрация крестьянского масла, измеренного при температуре 10 °С на пенетрометре AP 4/1, колебалась зимой от 45 до 56, а летом от 57 до 79 единиц пенетрации;

экструзии — позволяет измерять усилие, необходимое для продавливания цилиндрического образца через отверстие диаметром 3,2 мм со скоростью 0,33 мм/с; твердость масла по усилию экструзии варьирует от 15 до 30 Н;

разрезания — основан на измерении усилия, возникающего при резании прямоугольного образца масла проволокой диаметром 0,3 мм; твердость масла по разрезанию при температуре 12 °С имела среднюю величину 75 г/см с колебаниями от 52 до 107 г/см.

КОНСИСТЕНЦИЯ СЛИВОЧНОГО МАСЛА. ХАРАКТЕРИСТИКА, ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ КАЧЕСТВА И СТОЙКОСТИ, МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Под консистенцией пищевых продуктов обычно понимают те особенности их строения и физическое состояние, которые наиболее полно обнаруживаются как комплекс осязательных ощущений, возникающих в полости рта при разжевывании и глотании пищи.

В маслоделии своеобразии структуры и физическое состояние продукта в основном выявляются путем визуального обследования небольшой полоски продукта, а также на основании анализа ощущений, возникающих в полости рта при жевании. В соответствии с ГОСТ 37—55 «Масло коровье» консистенция масла при температуре 10—12 °С должна быть плотной, однородной; поверхность масла на разрезе слабо блестящая и сухая на вид с наличием одиночных мельчайших капелек влаги. Государственным стандартом предусмотрено выявление следующих пороков консистенции: крошливая, засаленная, оплавленная поверхность, крупные капли влаги, мягкая и нетермоустойчивая.

Стойкость сливочного масла при хранении тесно связана с его консистенцией, в частности со степенью дисперсности влаги в монолите масла. Высокодисперсное распределение плазмы и воздуха, затрудняя развитие микрофлоры, способствует более длительному сохранению высоких потребительских характеристик.

Консистенция сливочного масла зависит от многих факторов. Как уже отмечалось, она зависит от структуры, количества твердой фазы, формы и величины кристаллов, триглицеридного состава жира, содержания воздуха, степени механической обработки и режима хранения.

Основной способ оценки консистенции масла — органолептический. Для оценки используют масло со стабилизированной структурой, т. е. продукт выдерживают при минусовых температурах не менее 1 сут. Оценивают консистенцию пробой на срез и изгиб. Для этого масло нагревают до температуры 10—12 °С, затем ножом или шпателем отрезают полоску масла толщиной 1—2 мм, длиной 5—7 см и шириной 2—3 см и в средней части полоску изгибают под углом 180 °С. После этого тщательно рассматривают изгиб. В зависимости от характера среза и изгиба масла делают следующие заключения:

хорошая консистенция — поверхность среза ровная, плотная, а изгиб пластинки не содержит трещин;

удовлетворительная консистенция — поверхность среза ровная, плотная, а изгиб либо содержит трещины, либо при изгибе пластинка ломается;

слабо крошливая консистенция — пластинка вырезается, но ее края имеют неровности в результате откалывания отдельных крупинок, при попытке согнуть полоску она ломается;

крошливая консистенция — при отрезании полоски она распадается на мелкие кусочки;

слоистая консистенция — при отрезании пластинки она разделяется на слои;

мучнистая консистенция — выявляется мускулами рта и кончиком языка в виде шероховатости поверхности, обусловленной наличием в структуре крупных кристаллов жира.

Недостатком органолептического метода является субъективность оценки качества продукта. Поэтому во многих странах ведутся поиски объективных методов контроля консистенции масла. В ФРГ с 1974 г. применяется инструментальный метод контроля консистенции масла, основанный на измерении прочности масла на разрез по Мору, Кенену и Кауфману. Основные характеристики метода: испытуемый образец—кубик со стороной $25 \pm 0,1$ мм; скорость резания 0,1 мм/с; диаметр режущей проволоки $0,3 \pm 0,01$ мм; температура испытуемого образца $15 \pm 0,1$ °С; в качестве результата определения берут среднее арифметическое из двух определений, причем отклонения от среднего не должно превышать 10%. Оценку консистенции проводят по шкале, приведенной ниже.

Прочность масла на разрезе,	Органолептическая
ед. SE ¹	оценка консистенции
31-120	5 (хорошая)
21-30; 121-150	4 (удовлетворительная)
20 и ниже; 151-200	3 (мягкая или твердая)
Свыше 200	2 (очень твердая)

Во ВНИИМСе разработан метод оценки консистенции масла, названный методом нескольких температурных точек. Метод основан на использовании температурной зависимости твердости масла. Для этого с помощью пенетрометра определяют твердость масла по Ребиндеру-Семененко при температурах 5, 10, 15 и 20 °С, затем обрабатывают полученные данные по линейному уравнению и на основании уравнения рассчитывают величины, необходимые для получения параметра α , с помощью которого дают оценку консистенции масла. Параметр k находят по формуле

ШКАЛА ОЦЕНКИ КОНСИСТЕНЦИИ МАСЛА

Параметр,	Словесная характеристика консистенции	Оценка консистенции, балл
-----------	--	---------------------------

5,0 и ниже	Высокопластичная	25
5,1-10,0	Нормальнопластичная	24
10,1-25,0	Слабопластичная	23
25,1-50,0	Твердая, крошливая, мягкая	22
Свыше 50	Очень твердая, очень крошливая, очень мягкая	21

$$D = t_2 - t_1,$$

Где t_2 — температура на верхнем диапазоне пластичности, °С; t_1 — температура на нижнем диапазоне пластичности, °С.

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНСИСТЕНЦИЮ МАСЛА

Направленное регулирование химического состава сливочного масла позволило пополнить его ассортимент. Получили признание покупателей такие виды сливочного масла, как крестьянское, бутербродное, ярославское, детское, славянское и др. Новые разновидности сливочного масла можно разделить на виды масла, при выработке которых не используют стабилизаторы структуры, и виды масла, в состав которых вводят структурообразователи. В нашей стране получили развитие оба направления.

Слабая изученность химических и физических свойств новых видов сливочного масла не позволяет в полной мере вскрыть особенности маслообразования, механизм формирования структуры, образования вкусового букета и т. д. Поэтому могут быть даны некоторые предварительные итоги исследований.

Опыт организации производства крестьянского и бутербродного масла способом преобразования высокожирных сливок показывает, что масло удовлетворительной консистенции можно получить только при режимах работы маслообразователя, значительно отличающихся от принятых при выработке стандартного масла. Эти отличия состоят в применении более низкого охлаждения высокожирных сливок и более интенсивной механической обработке. Необходимость применения значительно измененных режимов, несомненно, вызвана особенностями процесса маслообразования. Пониженная концентрация жировых шариков снижает вероятность их столкновения между собой, и при избыточном содержании белковых веществ процесс дестабилизации жировой эмульсии затягивается. Важно также отметить, что вязкость сливок в условиях интенсивного перемешивания и охлаждения должна постепенно повышаться в результате более тонкого диспергирования капель влаги и постепенного роста твердой жировой фазы. Не исключено также, что при обращении фаз в качестве промежуточной стадии происходит подсывание жировых шариков с образованием масляных зерен, которые при дальнейшем перемешивании равномерно распределяются в объеме продукта.

Консистенция масла с повышенным содержанием молочной плазмы (от 17 до 38%) при работе маслообразователя на оптимальных режимах была пластичной, хорошо намазывающейся. Оценка консистенции составляла в среднем 24 балла, в некоторых образцах отмечались такие пороки консистенции, как рыхлое, крошливое.

Твердость масла, измеренная твердомером Каминского при температуре 12 °С резанием проволокой 0,2 мм, уменьшалась от 43 до 28 г/см по мере возрастания влаги в масле от 16 до 35%; восстанавливаемость

структуры бутербродного масла находилась на уровне 53% (контроль—72%), а вытекание жидкого жира было 5,8% (контроль—7,8%).

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА, СЛИВОК И МОЛОЧНОГО ЖИРА

Коэффициент теплопроводности² Он характеризует способность материала осуществлять перенос тепла. В СИ единица коэффициента теплопроводности выражается в Вт/(м·°С). Коэффициенты теплопроводности сливок, молочного жира и сливочного масла—важные физические показатели.

Жирность сливок, %	Температура, °С							
	5	15	25	35	45	55	65	75
10	0,472	0,484	0,494	0,505	0,516	0,527	0,538	0,549
20	0,419	0,428	0,438	0,446	0,454	0,463	0,472	0,481
30	0,370	0,377	0,384	0,390	0,397	0,404	0,411	0,417
40	0,327	0,332	0,337	0,342	0,347	0,352	0,352	0,361
50	0,286	0,289	0,292	0,295	0,299	0,302	0,302	0,309
60	0,255	0,257	0,259	0,261	0,262	0,264	0,266	0,268
70	0,226	0,227	0,228	0,228	0,229	0,230	0,230	0,231
80	0,204	0,204	0,203	0,203	0,203	0,202	0,202	0,202
Молочный жир	0,167	0,172	0,170	0,169	0,167	0,165	0,164	0,162

КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЛИВОЧНОГО МАСЛА

Продукт	Температура, °С							
	-25	-18	-14	-10	-5	5	17	
Сладкосливочное масло, полученное методом сбивания	0,288	0,276	0,276	0,312	0,279	0,202	0,230	
Сладкосливочное масло, полученное методом преобразования высокожирных сливок	0,239	0,244	0,233	0,251	0,264	0,195	0,230	
Любительское масло, полученное методом сбивания	0,242	0,244	0,243	0,258	0,231	0,188	0,205	
Масло соленое, полученное методом сбивания	0,272	0,284	0,287	0,292	0,269	0,195	0,206	

Коэффициент температуропроводности. Он характеризует быстроту изменения температуры продукта. Коэффициент равен тому повышению температуры, которое произойдет у единицы объема данного вещества, если ему сообщить количество тепла, численно равное его коэффициенту теплопроводности, В СИ единица коэффициента теплопроводности выражается в м²/с.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ (Я-10⁶, М^АС) ДЛЯ СЛИВОК РАЗЛИЧНОЙ ЖИРНОСТИ И МОЛОЧНОГО ЖИРА

Жирность сливок, %	Температура, °С							
	5	15	25	35	45	55	65	75
10	0,111	0,121	0,126	0,131	0,135	0,138	0,141	0,144
20	0,094	0,109	0,116	0,123	0,127	0,129	0,132	0,134
30	0,080	0,098	0,106	0,109	0,119	0,121	0,122	0,124
40	0,067	0,088	0,097	0,107	0,112	0,113	0,114	0,115
50	0,058	0,078	0,088	0,098	0,104	0,104	0,105	0,105
60	0,049	0,071	0,081	0,093	0,099	0,098	0,098	0,099
70	0,042	0,064	0,075	0,088	0,094	0,093	0,092	0,092
80	0,037	0,059	0,069	0,084	0,091	0,089	0,088	0,087
Молочный жир	0,029	0,052	0,064	0,083	0,092	0,089	0,086	0,084

Удельная теплоемкость. Ее определяют как количество теплоты, которое надо сообщить определенной массе вещества, для того чтобы нагреть ее на один градус. В СИ единица удельной теплоемкости выражается в Дж/(кг*К).

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ СЛИВОК РАЗЛИЧНОЙ ЖИРНОСТИ И МОЛОЧНОГО ЖИРА

Жирность сливок, %	Температура, °С						
	5	10	20	30	40	50	60
10	4150	4000	3850	3830	3770	3790	3810
20	4380	4050	3750	3710	3580	3600	3620
30	4610	4110	3660	3580	3380	3410	3435
40	4850	4170	3560	3450	3180	3210	3250
50	5070	4230	3470	3330	2980	3020	3060
60	5290	4290	3370	3200	2790	2830	2870
70	5520	4350	3280	3080	2590	2630	2680
80	5750	4410	3180	2950	2390	2440	2490
Молочный жир	3000	3540	4300	3640	2400	2270	-

Плотность¹. Плотность вещества определяют как отношение массы к его объему. В СИ единица плотности выражается в кг/м³. Плотность является важным физическим показателем (табл. 6.10 и 6.11).

ПЛОТНОСТЬ СЛИВОК РАЗЛИЧНОЙ ЖИРНОСТИ И МОЛОЧНОГО ЖИРА

Жирность сливок, %	Температура , °С						
	5	10	20	30	40	50	60
28,5	1015	1009	1004	996	991	985	979
40,5	1001	994	987	978	971	986	960
50,0	991	985	978	969	961	955	947
60,0	975	970	962	958	948	940	934
65,0	968	963	955	948	942	935	929
75,5	964	958	950	948	935	927	920
81,0	954	951	942	935	927	917	913
83,4	946	942	938	933	924	913	908
Молочный жир	955	946	930	914	904	897	890

**ПЛОТНОСТЬ СЛИВОЧНОГО МАСЛА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 15 °С В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В НЕМ ВОЗДУХА**

Продукт	Содержание воздуха, %					
	0	1	2	3	4	5
Сладкосливочное масло, полученное методом преобразования высокожирных сливок	945	935	925	915	905	895