

<https://doi.org/10.67290/2026.dw.35>

УДК 637.25.04

Андрей Викторович Дунаев, канд. техн. наук

Анастасия Алексеевна Куликова, аспирант

ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Углич

О ПРИМЕНЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

В статье сделан обзор примеров использования дифференциальной сканирующей калориметрии для анализа теплофизических свойств пищевых продуктов. Прежде всего, это касается продуктов с большим содержанием жира. Теплофизические свойства (температура плавления и кристаллизации жиров, фазовые переходы) твердых жиров, таких как молочный жир, масло какао, пальмовое и кокосовое масло, а также целого спектра заменителей молочного жира имеют большое значение для пищевой технологии. Метод дифференциальной сканирующей калориметрии позволяет не только определять содержание жира, но наличие жиров разной природы в пищевых продуктах, что в современных условиях очень важно.

Ключевые слова: сливочное масло, молочный жир, растительные жиры, продукты пищевые, дифференциальная сканирующая калориметрия

UDC 637.25.04

Andrey Viktorovich Dunaev, Candidate of Technical Sciences

Anastasia Alekseevna Kulikova, postgraduate student

VNIIMS – Branch of Gorbatov Research Center for Food Systems, Uglich

ON THE APPLICATION OF DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY FOR THE STUDY OF FOOD PRODUCTS

This article provides a review of examples of the use of differential scanning calorimetry for the analysis of the thermophysical properties of food products. This primarily concerns products with a high fat content. The thermophysical properties (melting and crystallization temperatures of fats, phase transitions) of solid fats such as milk fat, cocoa butter, palm and coconut oils, as well as a wide range of milk fat substitutes, are of great importance for food technology. The differential scanning calorimetry method allows not only to determine the fat content but also the presence of fats of different origins in food products, which is very important in modern conditions.

Keywords: butter, milk fat, vegetable fats, food products, differential scanning calorimetry

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) – метод термического анализа, который может измерять температуру и тепловой поток, связанный с фазовыми превращениями в образце. Этот метод применяют для исследования процесса кристаллизации, различных фазовых переходов, процессов плавления, температурной стабильности веществ.

Термограммы, полученные методом ДСК, регистрируют эндо- и экзотермические процессы, связанные с плавлением, кристаллизацией, структурными фазовыми переходами, испарением и т.д. На кривых ДСК присутствуют характерные пики, локальные максимумы и экстремумы, по которым качественно и количественно можно характеризовать исследуемое вещество. Получаемые кривые позволяют отличить один жир от другого, например, чистый молочный жир от заменителя молочного жира (ЗМЖ) или смесей молочного и растительных жиров.

Таким образом, данный метод можно использовать в пищевой промышленности, где объектами исследований являются различные жиры (животные, растительные), а также белки и углеводы, для которых характерны изменения в структуре при нагреве и охлаждении.

В сливочном масле основным компонентом является молочный жир, который формирует структуру и консистенцию масла, влияя на качество готового продукта. При изготовлении сливочного масла протекают процессы охлаждения и кристаллизации молочного жира. В зависимости от условий среды глицериды молочного жира способны образовывать кристаллические формы (полиформные модификации), различающиеся характером построения кристаллической решетки, формой кристаллов, удельным объемом, температурой плавления и другими характеристиками.

Молочный жир состоит из нескольких типов глицеридов: одноокислотных насыщенных, ненасыщенных гетерогенных, моноолеотриглицеридов, диолеотриглицеридов, и одноокислотных ненасыщенных глицеридов, характеризующихся различной температурой плавления. Вследствие такого состава молочный жир отвердевает в нескольких кристаллических полиморфных формах. Процессы кристаллизации глицеридов и отвердевания молочного жира являются основополагающими в технологии сливочного масла. Они тесно связаны со многими показателями качества продукта. Знание особенностей протекания процессов кристаллизации позволяет критически подходить к выбору технологических режимов изготовления масла, предотвращать возникновение пороков и вырабатывать качественный продукт. Базовые исследования в этом направлении проводились ранее М.М. Казанским, Г.В. Твердохлеб, А.П. Белоусовым, А.Д. Грищенко, Ф.А. Вышемирским и др.

Наличие современных приборов, к которым относится дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия, позволяет существенно расширить границы познания и увеличить глубину научных исследований в области изучения свойств пищевых продуктов.

Термический анализ представляет особый интерес в плане контроля качества различных жиров и масел, в том числе сливочного масла с целью установления фальсификации его другими жирами, а также для контроля состава жировой фазы при изготовлении смесевых продуктов – спредов.

Известно, что глицериды молочного жира в зависимости от глубины и скорости охлаждения способны кристаллизоваться в трех полиморфных формах: α , β' и β , а при охлаждении до минус 80 °С – образовывать стекловидную γ -форму. Так, для молочного жира первый фазовый переход наблюдается при 0–2 °С; второй – при 10–15 °С; третий – при 18–23 °С. Температуры фазовых переходов зависят от состава триглицеридов, который обусловлен породой скота, временем года, составом кормов и технологическими режимами переработки сырья. Температуры фазовых переходов растительных масел отличаются от температур фазовых переходов молочного жира, что позволяет использовать метод определения температур фазовых переходов для установления подлинности продукта. Этот вопрос стал предметом интереса многих исследователей в области пищевой науки.

В Бийском технологическом институте изучалась возможность распознавания состава молочно-растительных спредов методами термического анализа [1]. Объектами исследования были образцы импортного, отечественного, в том числе фермерского, масла сливочного, приобретенные в розничной торговле Алтайского края. Для сравнения был взят образец пальмового масла от поставщика ЗАО «Жировой комбинат». Методологической основой проведения исследований по обнаружению пальмового масла в сливочном было различие в их температурах плавления: молочный жир (в зависимости от состава) плавится при температуре 28–33 °С [2], в то время как пальмовое масло – при температуре 33–39 °С [3].

Следует отметить, что твердые жиры для пищевых целей не должны иметь температуру плавления выше нормальной температуры тела человека. Чтобы исключить салостый привкус жиров и масел, требуется температура их плавления не менее чем на 1 °С ниже. Поэтому для пальмового масла желательная температура плавления не должна превышать 35,6 °С. Однако в ГОСТ Р 53776-2010 [3] для пальмового масла, предназначенного для пищевой промышленности, указан диапазон 33–39 °С, что позволяет фальсифицировать продукт, смешивая с пальмовым маслом пальмовый стеарин, и поднимать температуру плавления до верхних значений. Так, при температуре плавления нерафинированного пальмового масла 35,7 °С температура плавления рафинированного, дезодорированного, отбеленного (РДО) пальмового масла, подготовленного для экспорта, была 39,2 °С. Реально температура плавления импортируемого в РФ пальмового масла достигала 42,7 °С. Таким образом, температура плавления спредов не должна превышать 35,6 °С.

Используя метод дифференциальной сканирующей калориметрии, реализованный на дифференциальном сканирующем калориметре модели DSC-60 (Shimadzu, Япония) в диапазоне температур от –70 °С до +90 °С, и совместный термогравиметрический (ТГА) и дифференциально-термический (ДТА) анализы на термоанализаторе TGA/DTA-60 (Shimadzu, Япония) в диапазоне температур от +20 до +500 °С, ученые Бийского технологического института установили, что методы термического анализа (ДСК, ТГА/ДТА) позволяют качественно идентифицировать смеси сливочного масла с пальмовым. Но колебания жирнокислотного состава молочного жира и взаимодействие пальмового масла со сливочным маслом суще-

ственно ограничивают возможности применения этих методов для количественного анализа состава указанных смесей [1].

Также в Бийском технологическом институте были обобщены преимущества и недостатки различных методов оценки качества жиров; определен потенциал метода дифференциальной сканирующей калориметрии для определения состава и подлинности эмульсионных жировых продуктов на основе молочного жира типа «вода в масле». [4]. В качестве объектов исследования выбраны образцы импортного и отечественного масла сливочного жирностью 79 % и 82,5 %, приобретенные в розничной торговле Алтайского края; масла пальмового рафинированного отбеленного дезодорированного; масла сливочного топленого; шоколадного масла и молочно-растительных спредов.

Процесс плавления образцов изучался методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе DSC-60 (Shimadzu, Япония); фазовые переходы исследовались методом ДТА-ТГА на приборе модели Shimadzu-60 (Shimadzu, Япония). Исследование механических свойств проводилось методом пенетрации на термомеханическом анализаторе модели TMA-60 (Shimadzu, Япония). Органолептические показатели сливочного масла оценивали по 20-балльной шкале в соответствии с ГОСТ Р 52969-2008.

По результатам исследований установлено, что образцы сливочного масла производства Республики Беларусь содержат высокоплавкие триглицериды и превосходят аналогичную продукцию предприятий Алтайского края по комплексу органолептических показателей. Определено, что методом ТГА можно различить сливочное масло от пальмового по потере массы образца, а методом ДСК – по температуре плавления. Выявлено отсутствие линейности между составом смеси и тепловым эффектом плавления высокотемпературной группы глицеридов. По мнению авторов, нелинейная зависимость может быть объяснена взаимодействием глицеридов пальмового и сливочного масел с образованием смешанных триглицеридов. Методы термического анализа позволяют идентифицировать качественный и количественный состав жировых эмульсионных продуктов типа «вода в масле».

В другой работе тех же авторов [5] дается анализ состава образцов сливочного масла и мороженого, представленного на рынке г. Бийска Алтайского края. Процесс плавления указанных продуктов изучался методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе DSC-60 (Shimadzu, Япония). Опыты проводили в температурном диапазоне от минус 100 °С до плюс 50 °С при скорости нагревания 10 °С/мин.

По результатам исследования было установлено, что молочный жир и пальмовое масло в составе сливочного масла и мороженого однозначно определяются методом ДСК и этот метод, безусловно, может быть использован для определения фальсификации сливочного масла путем добавления пальмового масла.

В Воронежском университете инженерных технологий изучены термограммы молочного жира, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии, изучены, в комплексе с хроматографическими методиками, а также проанализированы ИК-спектры образцов молочного жира [6]. Измерения теплофизиче-

ских свойств проводили в диапазоне температур от минус 150 °С до минус 60°С со скоростью нагрева 5 град/мин.

При статистическом анализе данных о суммарном влиянии генетических и фенотипических факторов на химический состав жиров и масел и их теплофизические параметры (температуры и тепловые эффекты плавления, полиморфных превращений) выявлены тесные природные корреляции между некоторыми отдельными жирными кислотами, триглицеридами и теплофизическими параметрами ДСК, характерные для конкретных липидов.

Применение комплекса методик ГЖХ-ПВД, ДСК и ИК-спектроскопии в данной работе позволило не только надежно идентифицировать натуральное сырье, но и зачастую выявлять его происхождение, т.е. породу скота и условия, в которых произведена сельхозпродукция.

В другой работе этих же авторов [7] изучен методом газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) состав жирных кислот (ЖК) и триацилглицеринов (ТАГ); методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) определены теплофизические свойства сливочного масла; прослежена взаимосвязь между результатами, полученными этими методами [7]. Изучена динамика окисления сливочного масла кислородом воздуха при комнатной температуре с применением комплекса аттестованных хроматографических методик, альтернативной методики, основанной на методе ДСК, а также на химических методиках определения интегральных показателей окисления (определение перекисного, анизидинового и кислотного числа). В качестве объектов исследования были взяты образцы сливочного масла, выработанные из молока коров голштинской, монбельярдской и джерсейской пород, которых разводят на юге Воронежской области.

Измерения методом ДСК проводились на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH-Gerätebau GmbH, Германия). Температурная программа ДСК измерений была следующей:

- 1) нагрев от комнатной температуры до 70 °С для полного расплавления молочного жира и снятия тепловой предыстории;
- 2) изотермическая выдержка при 70 °С для стабилизации прибора;
- 3) охлаждение со скоростью 5 °К/мин до температуры минус 170 °С для полной кристаллизации образца;
- 4) изотермическая выдержка для стабилизации прибора;
- 5) нагрев до +60 °С со скоростью 5 град/мин.

Было установлено, что результаты газохроматографического анализа жирнокислотного и триглицеридного состава сливочного масла на ранних стадиях окисления хорошо согласуются с данными дифференциальной сканирующей калориметрии и химического определения перекисного, анизидинового и кислотного чисел. Комплексный подход позволяет полнее охарактеризовать хранимоспособность сливочного масла в зависимости от его происхождения, времени и условий хранения.

Зарубежными учеными методом ДСК исследованы термограммы 17 образцов растительных масел [8]. Все они имели отличающиеся друг от друга профили, что позволило по данным ДСК провести их надежную идентификацию. ДСК хорошо со-

четается с хроматографическими методами. При сопоставлении данных ДСК с хроматографическими данными по жирнокислотному и триглицеридному составу образцов установлено, что образцы масел с большим содержанием насыщенных кислот имели тепловые эффекты в термограммах плавления и кристаллизации в областях с более высокой температурой, чем образцы масел с высокой степенью ненасыщенности.

В работе [9] показано, что этим методом легко контролировать добавление в молочный жир маргарина и говяжьего жира в количестве 10–20 %. Аналогичное исследование проведено по контролю в молочном жире гидрогенизированных хлопкового и кокосового масел. Данные ДСК согласуются с данными импульсной ЯМР-спектromетрии. Установлено, что даже незначительные изменения триглицеридного состава могут быть зафиксированы и учтены. Известно, что температуры плавления триглицеридов, содержащих остатки транс-ненасыщенных жирных кислот, выше, чем у триглицеридов с цис-изомерными жирными кислотами с тем же числом атомов углерода. Это означает, что при наличии заметного количества транс-изомерных жирных кислот термограммы будут отличаться от термограмм жиров с низким содержанием последних. Таким образом, метод ДСК может быть полезен и в этом направлении контроля качества и безопасности масложировой продукции, хотя следует отметить, что влияние транс-жирных кислот на кривые ДСК еще мало изучено. Для повышения информативности термограмм, полученных методом ДСК, полезным может быть программное разделение суперпозиции пиков тепловых эффектов, накладывающихся друг на друга.

В работе [10] доказано, что методом дифференциально-сканирующей калориметрии можно контролировать не только качественно, но и количественно содержание пальмового масла в жировой смеси. Авторами предложен способ идентификации пальмового масла в молочном жире и количественного определения содержания этой добавки методом ДСК по кривым плавления молочного жира и его смесей, который применим для диапазона 2–30 % пальмового масла в жире. В качестве аналитического сигнала предложены соотношения температур экстремумов на кривых плавления ДСК и площадей пиков эндотермических эффектов, характерных для молочного жира. Установлено, что с увеличением доли пальмового масла в смеси с молочным жиром температура минимума в области 9,1–11 °С смещается в сторону более высоких температур при добавлении в молочный жир вплоть до 50 % пальмового масла, в то время как температура максимума в области 13,2–17 °С падает. Сделан вывод, что метод ДСК более чувствителен к изменениям триглицеридного состава жира, чем хроматографические методы.

Указанными выше авторами был проведен анализ жировой фазы полутвердых сыров с целью установления наличия добавок немолочных жиров [11]. Кривые плавления жира регистрировали при температурах от минус 45 °С до плюс 55 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин. Было установлено, что профили термограмм жировой фазы качественного сыра близки профилю чистого молочного жира, с учетом незначительного изменения триглицеридного состава жира сыров в процессе созревания. ДСК продемонстрировал полное соответствие с результатами органолепти-

ческой оценки полутвердых сыров и хроматографического анализа их жировой фазы. По результатам исследований авторы сделали вывод о том, что метод ДСК позволяет эффективно контролировать наличие в сырах добавок немолочных жиров не только совместно с другими методами, но и как самостоятельный способ контроля качества.

В работе [12] показаны возможности контроля с помощью метода ДСК теплотехнических свойств масел и жиров, обусловленных их триглицеридным составом. По получаемым термограммам можно идентифицировать жиры различного происхождения.

Эти же авторы утверждают, что при наличии в исследуемом образце каких-либо эндо- или экзотермических процессов (т.е. процессов, связанных с поглощением или выделением тепла, – плавлением, кристаллизацией, структурным фазовым переходом, испарением и др.) на кривых ДСК и ДТА проявляются характерные пики, локальные максимумы и экстремумы, анализ которых дает информацию о протекающих в образце процессах [13].

В Российском государственном аграрном университете – МСХА им. К.А. Тимирязева исследовали образцы масла какао разных производителей методом дифференциальной сканирующей калориметрии с целью количественной оценки полиморфных форм на основе математического моделирования кривых дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК-кривых) [14]. Эксперименты проводили со скоростью охлаждения 10 К/мин. и нагрева – 5 К/мин. в условиях продувки измерительной ячейки инертным газом – азотом. Результаты экспериментальных исследований были обработаны в виде совокупности распределений по температуре типа Гауссовой кривой. Авторами был предложен подход к разработке метода оценки качества масла какао. Метод основан на обработке экспериментальных данных зависимостей распределения отдельных полиморфных форм масла какао. Были определены полиморфные формы образцов масла какао: легкоплавкая составляющая с интервалом температур плавления ~10–18 °С; полиморфная форма α , с интервалом температур плавления ~17–24 °С; метастабильная форма β' с интервалом температур плавления 27–29 °С и полиморфная форма β со средней температурой плавления порядка 28–30 °С. Рассчитали доленое содержание полиморфных форм масла какао по степени их плавления.

Полученные результаты анализа кривых дифференциального сканирования температур плавления жиров (ДСК-кривых) путём выделения кривых плавления полиморфных форм масла какао и определения количественного соотношения указанных форм могут служить основой для идентификации масел, т.е. определению их принадлежности к тому или иному виду, а также определению соответствия требованиям по качеству. Полученные оценки компонентного состава представленных материалов могут служить данными для расчётов режимов их технологической термической обработки.

Предложенный подход значительно ускоряет процесс оценки качества масла какао, что является важным преимуществом в производстве шоколадных изделий.

В Алматинском технологическом университете, совместно с Воронежским государственным аграрным университетом и Воронежским государственным университетом инженерных технологий определяли возможность экспрессного объективного контроля факторов, формирующих и сохраняющих качество рыбных товаров на различных этапах производства, хранения и реализации в торговой сети [15]. Решение этой задачи сопряжено с разработкой инструментально-методического обеспечения операций объективного экспресс-контроля несанкционированных и недекларированных фактов изменения термического состояния свежей и охлажденной рыбы. Объектом исследования была радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) рода *Oncorhynchus* семейства лососевых (*Salmonidae*). Для проведения термического анализа рыбы в процессе нагревания-охлаждения использовали прибор синхронного термического анализа STA 449 F3, Jupter (NETZSCH-Gerätebau GmbH, Германия), который одновременно фиксирует кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и потери массы (ТГ).

В качестве критерия термического состояния опытной пробы форели был использован экзотермический эффект второго замораживания для эталонного образца. При этом расхождение значений критериального показателя для испытуемого и эталонного образцов свыше погрешности прибора ($\pm 0,5\%$) свидетельствует о факте предварительного замораживания образца форели радужной. В результате доказана целесообразность использования прибора синхронного термического анализа для контроля процессов хранения, переработки, транспортирования свежей и охлажденной рыбы и выявления фактов фальсификации рыбы по термическому состоянию в условиях аналитических лабораторий.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии были изучены теплофизические свойства масла дикорастущей расторопши пятнистой (*Silybum marianum*) из разных районов Дагестана [16]. Установлен диапазон варьирования теплофизических показателей, показан алгоритм установления подлинности масла расторопши пятнистой по данным термического анализа. Выполненные исследования подтверждают тот факт, что фазовые переходы растительного масла взаимосвязаны с определенным фракционным составом триацилглицеринов, который варьирует при изменении фенотипических факторов в довольно широких диапазонах, но не случайным образом, а в соответствии с генотипом и природными закономерностями созревания растительного сырья. Найденные корреляции между тепловыми эффектами и климатическими условиями произрастания сырья могут быть полезными не только с точки зрения термического анализа, но и для химии растительного сырья, биохимии и фармакогнозии.

О.Б. Рудаковым с соавторами [17] были рассмотрены возможности контроля содержания кристаллической лактозы в сухой молочной сыворотке с применением методов дифференциально-термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии. Актуальность этого исследования обусловлена явлением слеживания лактозы, которое создает проблемы для производителей сухой сыворотки и лактозы, т.к. это приводит к снижению стабильности и качества этих продуктов.

Изучение слеживаемости лактозы осложняется наличием в продуктах лактозы в различных твердых формах. Обычно причиной слеживаемости является наличие аморфной лактозы. Для определения степени аморфности или кристалличности лактозы можно использовать термогравиметрический анализ (ТГА), дифференциальный термический анализ (ДТА) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК).

Зарубежными исследователями [18] было подтверждено методом ДТА, что часть лактозы в сухих молочных продуктах находится в нестабильном аморфном состоянии. Изучение лактозы методами ТГА и ДТА показало возможность прямого и одновременного определения абсорбированной и кристаллизационной воды и доли аморфной лактозы в образце.

Метод ДСК сегодня считается более точным и более воспроизводимым, чем ДТА. В работе [19] этот метод использовали для изучения процесса измельчения на молекулярную динамику лактозы в сравнении с сахарозой, поскольку процесс измельчения часто приводит к ее аморфизации.

В работе [20] методом ДСК определяли изменение величины остаточной кристалличности безводной бета-лактозы. Ее оценивали двумя способами: измерением кривых плавления кристаллической части, и измерением девитрификации (растеклования) аморфной части. Были получены достоверные результаты, а компьютерная обработка экспериментальных термограмм позволила досконально измерить количественные характеристики кривых и точно рассчитать все зарегистрированные изменения массы и величины тепловых эффектов, оценить влажность, долю гидратной воды и степень кристалличности лактозы в продукте. Проведенными исследованиями авторы показали, что современная приборная база ДСК позволяет эффективно и синхронно анализировать содержание поглощенной и кристаллизационной воды, содержание лактозы в сухих молочных смесях.

Приведенные выше примеры свидетельствуют о перспективности применения метода дифференциальной сканирующей калориметрии как для изучения свойств различных природных (растительных, животных) и модифицированных жиров, так и для установления фактов фальсификации молочного жира немолочными. Метод ДСК позволяет качественно идентифицировать различные жиры, а также их смеси.

Список использованной литературы:

1. Буданина, Л.Н. Определение состава спредов сливочного масла с пальмовым методами термического анализа / Л.Н. Буданина, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // Food Processing: Techniques and Technology. 2015. Vol. 38. №3. P. 133–138.
2. Терещук, Л.В. Молочно-жировые композиции: аспекты конструирования и использования / Л.В. Терещук, М.С. Уманский; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2006. 209 с.
3. ГОСТ Р 53776-2010 Масло пальмовое рафинированное дезодорированное для пищевой промышленности. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.
4. Верещагин, А.Л. Идентификация подлинности сливочного масла методами термического анализа / А.Л. Верещагин, И.Ю. Резниченко, Н.В. Бычин // Индустрия питания. 2019. Т. 4. № 1. С. 34–46. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2019-4-1-4>

5. Буданина, Л.Н. Распознавание фальсификации молочного жира растительным методом дифференциальной сканирующей калориметрии / Л.Н. Буданина, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // Вестник алтайской науки. 2014. №4. С. 166–167.
6. Рудаков, О.Б. Методы ГЖХ, ДСК и ИК-спектроскопии в изучении коровьего молочного жира/ О.Б. Рудаков [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24, № 3. С. 335–352. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12236>
7. Саранов, И.А. Комплексный контроль качества сливочного масла с применением ГЖХ, ДСК и химического анализа / И.А. Саранов [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25, № 2. С. 160–170. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/12955>
8. Tan, C.P. Differential Scanning Calorimetric Analysis of Edible Oils: Comparison of and Chemical Composition Thermal Properties / C.P. Tan, Y.B. Cheman // Journal of the American Oil Chemists' Society. 2000. Vol. 77. № 2. P. 143–155.
9. Aktaş, N. Detection of beef body fat and margarine in butter fat by differential scanning calorimetry / N. Aktaş, M. Kaş // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2001. Vol. 66. P. 795–801.
10. Рудаков, О.Б. Определение содержания пальмового масла в сливочном масле методом ДСК / О.Б. Рудаков, И.А. Саранов, К.К. Полянский // Сыроделие и маслоделие. 2019. № 3. С. 51–53. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-3-51-53>
11. Рудаков, О.Б. Метод дифференциально-сканирующей калориметрии в контроле качества полутвердых сыров / О.Б. Рудаков, И.А. Саранов, К.К. Полянский, Я.О. Рудаков // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 3. С. 39–41. <https://doi.org/10/31515/2073-4018-2021-3-39-41>
12. Рудаков, О.Б. Дифференциально-сканирующая калориметрия в контроле качества масложировой продукции / О.Б. Рудаков, И.А. Саранов, К.К. Полянский // Переработка молока. 2018. № 11. С. 46–48.
13. Рудаков, О.Б. Термический анализ в контроле качества сливочного масла/ О.Б. Рудаков, И.А. Саранов, К.К. Полянский // Молочная промышленность. 2018. № 11. С. 38–40.
14. Бредихин, С.А. Анализ компонентного состава масла какао методом дифференциальной сканирующей калориметрии / С.А. Бредихин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 3. С. 452–460. <https://doi.org/10/21603/20749414-2024-3-2519>
15. Матеева, А.Е. Использование дифференциальной сканирующей калориметрии для определения количества циклов повторного замораживания биообъектов в технологии живых систем/А.Е. Матеева, И.А. Глотова, И.А. Саранов, О.В. Перегончая, С.В. Шахов, П.В. Груздов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2018. № 2. С. 171–177.
16. Рудаков, О.Б. Дифференциальная сканирующая калориметрия как метод контроля подлинности масла дикорастущей расторопши пятнистой / О.Б. Рудаков [и др.] // Журнал аналитической химии. 2021. Том 76. № 12. С. 1137–1145.
17. Рудаков, О.Б. Термический анализ сухой молочной сыворотки и лактозы/ О.Б. Рудаков, К.К. Полянский, И.А. Саранов // Переработка молока. 2019. № 7. С. 36–39. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-7-36-39>
18. Listiohadi, Y. Thermal analysis of amorphous lactose and α -lactose monohydrate / Y. Listiohadi, J.A. Hourigan, R.W. Sleight, R.J. Steele // Dairy Science & Technology. 2009. Vol. 89. № 1. P. 43–67.
19. Smith, G. Correlation between molecular dynamics and physical stability of two milled anhydrous sugars: Lactose and sucrose / G. Smith, A. Hussain, N.I. Bukhari, I. Ermolina // International journal of pharmaceuticals. 2018. Vol. 551. № 1–2. P. 184–194. <https://doi.org/0.1016/j.jpharm.2018.09.027>
20. Smith, G.H. Quantification of residual crystallinity of ballmilled, commercially available, anhydrous beta-lactose by differential scanning calorimetry and terahertz spectroscopy / G. Smith, B. Amjad, I. Nadeem, I. Ermolina // Journal of thermal analysis and calorimetry. 2015. Vol. 121. № 1. P. 327–333. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4469-4>