



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.544:663.51

doi: 10.17308/sorpchrom.2024.24/12236

Методы ГЖХ, ДСК и ИК-спектроскопии в изучении коровьего молочного жира

**Игорь Александрович Саранов¹✉, Ярослав Олегович Рудаков^{2,3},
Олег Борисович Рудаков³, Владимир Федорович Селеменев²,
Константин Константинович Полянский³, Анатолий Николаевич Лукин²**

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия,
mr.saranov@mail.ru ✉

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

³Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Для целей надежной идентификации натурального коровьего молочного жира получены газохроматографические данные с применением ионизационно-пламенного детектора (ГЖХ-ПИД) о жирнокислотном составе молока 4 пород – красно-пестрой, черно-пестрой, голштинской и джерсейской в переходный период от пастбищного к стойловому содержанию, по методике, рекомендованной ГОСТ 32261-2013; получены также газохроматографические данные (ГЖХ-ПИД) о триглицеридном составе по ГОСТ Р 70238-2022. В комплексе с хроматографическими методиками изучены термограммы молочного жира методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), а также проанализированы ИК-спектры образцов молочного жира. При статистическом анализе данных о суммарном влиянии генетических и фенотипических факторов на химический состав жиров и масел, на 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. Нарушение выявленных корреляций может указывать на внесение в продукт жиров-заменителей, фракционирование, переэтерификацию или иное физико-химического воздействие на образец масложирового сырья. Применение комплекса методик ГЖХ-ПИД, ДСК и ИК-спектроскопии позволяет не только надежно идентифицировать натуральное сырье, но и зачастую его происхождение, т.е. породу скота и условия, в которых произведена сельхозпродукция.

Ключевые слова: коровий молочный жир, газожидкостная хроматография, пламенно-ионизационный детектор, дифференциальная сканирующая калориметрия, инфракрасная спектроскопия

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01166. <https://rscf.ru/project/23-73-01166/>

Для цитирования: Саранов И.А., Рудаков Я.О., Рудаков О.Б., Селеменев В.Ф., Полянский К.К., Лукин А.Н. Методы ГЖХ, ДСК и ИК-спектроскопии в изучении коровьего молочного жира // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2024. Т. 24, № 3. С. 335-352. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12236>

Original article

GLC, DSC, and IR spectroscopy methods in the study of bovine milk fat

**Igor A. Saranov¹✉, Yaroslav O. Rudakov^{2,3}, Oleg B. Rudakov³,
Vladimir F. Selemenov², Konstantin K. Polyansky³, Anatoliy N. Lukin²**

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia, mr.saranov@mail.ru ✉

²Voronezh State University, Voronezh, Russia

³Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. In order to achieve reliable identification of natural bovine milk fat, we obtained gas chromatography data using a flame ionization detector (GLC-FID) on the fatty acid composition of milk of 4 breeds: Red Pied, Black Pied, Holstein, and Jersey. The milk was obtained during the transition period from pasture to indoor housing using the method recommended by GOST 32261-2013. Gas chromatographic data (GLC-FID) on the triglyceride composition were obtained according to GOST R 70238-2022. In addition to chromatographic techniques, we also studied thermograms of milk fat by differential scanning calorimetry (DSC) and analysed the IR spectra of milk fat samples. The statistical analysis of data on the total influence of genetic and phenotypic factors on the chemical composition of fats and oils, on thermophysical parameters (temperatures and thermal effects of melting, polymorphic transformations) revealed close natural correlations between some individual fatty acids, triglycerides, and DSC thermophysical parameters characteristic of certain lipids. Violation of the revealed correlations may indicate the use of fat substitutes in the product, fractionation, transesterification, or other physicochemical impacts on fat and oil raw materials. Using a set of GLC-FID, DSC, and IR spectroscopy techniques makes it possible not only to reliably identify natural raw materials, but often their origin as well, i.e. the breed of livestock and the production conditions of agricultural products.

Keywords: bovine milk fat, gas-liquid chromatography, flame ionisation detector, differential scanning calorimetry, infrared spectroscopy.

Acknowledgements. The study was supported by Russian Science Foundation grant No. 23-73-01166. <https://rscf.ru/project/23-73-01166/>

For citation: Saranov I.A., Rudakov Ya.O., Rudakov O.B., Selemenev V.F., Polyansky K.K., Lukin A.N. GLC, DSC, and IR spectroscopy methods in the study of bovine milk fat. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2024. 24(3): 335-352. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12236>

Введение

Молочный жир – ценный продукт переработки коровьего молока, один из наиболее распространённых в кулинарии животных жиров, основная фаза (дисперсионная среда) в сливочном масле, которое с физико-химической точки зрения является эмульсией типа «вода в масле». Сливочное масло разных сортов содержит 50-82.5% молочного жира (чаще – 72.5-82.5%; в топленом масле – около 99%). Молочный жир состоит преимущественно из триглицеридов, содержащих остатки различных насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Основная доля приходится на олеиновую, пальмитиновую, миристиновую и стеариновую кислоты. Имеются полиненасыщенные незаменимые кислоты – линолевая, линоленовая и арахидоновая. Присутствие заметного (7-8 % в сумме) количества низкомолекулярных жирных кислот (масляной, капроновой, каприловой и каприновой) – отличительная особенность химического состава глицеридов молочного жира, другие животные жиры и растительные масла содержат низкомолекулярные кислоты в меньших количествах. Содержание насыщенных жиров в молочном жире может достигать $\approx 70\%$ [1-2].

Разработано и внедрено в пищевую индустрию большое количество заменителей молочного жира (ЗМЖ). Заменители молочного жира производят из немодифицированных или модифицированных растительных масел (пальмоядровое, пальмовое, кокосовое, подсолнечное, соевое и др.), для улучшения потребительских характеристик (например, для придания сливочного вкуса, улучшения реологических свойств) производители применяют различные пищевые добавки: эмульгаторы (лецитин, моно- и диглицериды и другие). Кроме этого, сливочное масло из натурального коровьего молочного жира фальсифицируют добавками в сливочное масло частично гидрогенизированных жиров, полученных из сырья морских промыслов, добавками фракций пальмового масла или говяжьего жира [1-6], ЗМЖ и фальсифицирующие добавки имеют существенно более низкую стоимость, чем молочный жир, поэтому производители молочной и масложировой продукции имеют соблазн частично или полностью заменить в продукции молочный жир и не всегда довести этот факт до потребителей. ГОСТ 32261-2013 «Масло сливочное. Технические условия», ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры



животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот», ГОСТ 33490-2015 «Молоко и молочная продукция. Обнаружение растительных масел и жиров на растительной основе методом газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием», ГОСТ ISO 17678-2015 «Молоко и молочная продукция. Определение отсутствия примеси в молочном жире с помощью анализа триглицеридов методом газовой хроматографии (контрольный метод)» и ГОСТ Р 70238-2022 «Метод идентификации состава жировой фазы и определение массовой доли молочного жира», распространяются на сливочное масло, изготавливаемое из коровьего молока и/или молочных продуктов и побочных продуктов переработки молока, предназначенные для непосредственного употребления в пищу, кулинарных целей и использования в других отраслях пищевой промышленности. В этих стандартах приведены способы определения состава жирных кислот (ЖК) и фракций триглицеридов (ТГ), характерных для молочного жира, установлены нормативы и на диапазоны природных колебаний химического состава жира. Однако, из-за широких диапазонов варьирования жирно-кислотного состава в натуральном молочном жире и достаточно больших границах относительной погрешности хроматографических измерений, 25-50% замены в сливочном масле молочного жира на ЗМЖ может быть не обнаружено по результатам только одной стандартизированной методики. Дополнительные возможности обнаружения фальсификации молочного жира дает проверка характерных для натурального продукта природных корреляций между отдельными жирными кислотами. Как показано в [7,8], наиболее чувствительны к изменению суммарного состава ЖК три кислоты – каприновая (C10:0), лауриновая (C12:0) и миристиновая (C14:0), между их содержанием в молочном жире наблюдаются и самые тесные линейные

корреляции. ГОСТ 32261-2013 также нормирует соотношения между отдельными жирными кислотами. При наличии фальсифицирующих добавок эти соотношения могут нарушаться.

Если жирно-кислотный состав можно искусственно «подогнать» под натуральный, то триглицеридный состав молочного жира из-за большого количества вариаций триненасыщенных (UUU), моносaturенных, диненасыщенных (SUU), динасaturенных, моносaturенных (SSU) и тринасaturенных (SSS) триглицеридов фальсификации не подлежит; это совершенно нерентабельно, и, по-видимому, это не осуществимо (обозначение жирнокислотного остатка U от англ. unsaturated, а S – saturated). Не случайно была разработана и аттестована методика газохроматографического определения фракционного состава триглицеридов (ГОСТ Р 70238-2022), хотя, по нашему мнению, метод ВЭЖХ был бы более уместен для контроля над составом триглицеридов молочного и других жиров [9], однако методика с использованием обращенно-фазовой ВЭЖХ к настоящему времени не валидизирована. В ГОСТ ИСО 17678-2015 и ГОСТ Р 70238-2022 выделено 16 фракций триглицеридов ТГ, которые обозначены как C24, C26, C28, C30 и так с шагом 2 до C54 включительно (рис. 1-2), где число равно сумме атомов углерода в трех остатках ЖК в триглицеридах. В нормативных документах не обозначено, какой молочный жир считать стандартным.

Используя ГОСТ 32261-2013 и ГОСТ Р 70238-2022, ни по хроматограммам метиловых эфиров ЖК образца жира, ни по хроматограммам фракций триглицеридов достоверно нельзя обнаружить наличие в нем смеси моно- и диглицеридов – пищевой добавки E471, которая используется в сельском хозяйстве (корма для животных) и в масложировой промышленности в качестве эмульгатора. В основном ее изготавливают из пальмового масла. В высококачественных марках добавка E471 на

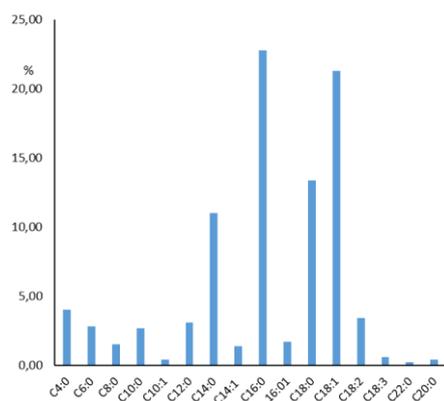


Рис. 1. Диаграмма содержания ЖК в молочном жире коров джерсейской породы

Fig. 1. Diagram of fatty acid content in milk fat from Jersey cows

95% состоит из моностеаратглицерина, в менее дорогих – 95% это смесь моноглицеридов: моностеарата, монопальмитата, монолаурата и мономиристата; 5% диглицеридов: 1,2- и 1,3-дистеарата; 1,2- и 1,3-дипальмитата и др. В некоторых марках E471 моно- и диглицериды содержатся примерно в равных количествах [10]. По числу атомов углерода в остатках ЖК эти смеси должны соответствовать фракциям моноглицеридов C8-C18 и диглицеридов C26-C36, однако свободные одна или две группы -ОН в молекуле глицерида могут за счет «якорного» взаимодействия с неподвижной фазой повлиять на хроматографическое удерживание моно- и диглицеридов, «замаскировав» их на хроматограммах среди фракций ТГ с более высоким числом С.

Цель работы – исследовать образцы натурального молочного жира, подключив к комплексу валидизированных газохроматографических методик определения жирно-кислотного и триглицеридного состава методики ДСК и ИК-спектроскопии.

Термический анализ, в частности метод ДСК, показал, что он не только до-

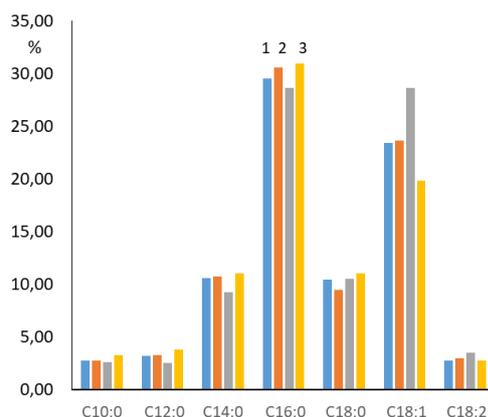


Рис. 2. Содержание 7 основных ЖК в молочном жире коров разных пород:

1 – красно-пестрая порода; 2 – голштинская порода; 3 – черно-пестрая порода; 4 – джерсейская порода

Fig. 2. Content of 7 main fatty acids in milk fat from cows of different breeds: 1 – Red Pied; 2 – Holstein; 3 – Black Pied; 4 – Jersey

полняет хроматографические методы исследования жиров, но может служить альтернативным и самостоятельным методом идентификации масложировой продукции, так как тепловые эффекты, наблюдаемые на термограммах, весьма чувствительны к жирно-кислотному и триглицеридному составу масел и жиров [3,11-16].

ИК-спектроскопия жиров фиксирует инфракрасные колебания различных функциональных групп, позволяет обнаружить, например, *транс*-изомерные двойные связи ЖК [17], наличие фосфолипидов [18,19], а также наличие свободных или ассоциированных групп -ОН, что поможет выявить присутствие моно- и диглицеридов в молочном жире, если это имеет место из-за особенностей кормов или генотипических факторов. По некоторым данным [18-22] в натуральном коровьем молочном жире может находиться от 0.5 до нескольких процентов моно- и диглицеридов. Их концентрации в пахте в три раза выше, чем в безводном молочном жире. В молочных липидах преобладают изомеры 1,2-диацилглицеридов, почти полностью исключая 1,3-изомеры.

Экспериментальная часть

Образцы масел произведены в лабораторных условиях ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Молоко сепарировалось на бытовом сепараторе «Ротор» при температуре 40-45°C, с получением сливок и обраты. Соотношение объема сливок и объема обезжиренного молока (обрата) 1:7.5. Молочный жир получали методом сбивания из сливок, охлажденных в бытовом холодильнике до 3°C и последующим отделением жировой фазы от пахты промыванием ледяной водой. Разделение сливочного масла на жир и плазму проводили по ГОСТ Р 70238-2022 «Молоко и молочная продукция. Метод идентификации состава жировой фазы и определение массовой доли молочного жира». В стакан вместимостью 150 см³ помещали 50-70 г продукта. Стакан с образцом продукта помещали в термостат и выдерживают при температуре (55±5) °C до разделения продукта на жир и молочную плазму. Верхнюю жировую фракцию отделяли, аккуратно перелив ее в другой стакан, и фильтровали через сухой складчатый фильтр при той же температуре.

Для проведения термического анализа использовали прибор синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter® фирмы NETZSCH. Для анализа брали навески образцов жира в количестве 15-22 мг. Измерения теплофизических свойств проводили в диапазоне температур от -150 до -60°C, скорость нагрева 5 град/мин. Охлаждение системы проводили жидким азотом. Измерения выполняли в атмосфере гелия (расход продувочного газа – 10 см³/мин, расход защитного газа – 10 см³/мин). Точность измерения температуры составляла ±0.3°C. Жирно-кислотный состав образцов молочного жира определяли методом ГЖХ в аккредитованной испытательной лаборатории Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и бла-

гополучия человека Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» (ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области. Газовый хроматограф Кристалл 2000 М, капиллярная колонка SP-2560 (100 м; 0.25 мм), пламенно-ионизационный детектор. Триглицеридный состав определяли в испытательной лаборатории «Молоко» ВГАНУ «ВНИМИ», газовый хроматограф Кристаллюкс 4000М, капиллярная колонка с неподвижной фазой 65% фенилметилсиликон (30 м; 0.25 мм).

ИК-спектры зарегистрированы в Центре коллективного пользования Воронежского государственного университета на приборе ИК-Фурье-спектрометр исследовательский BRUKER VERTEX 70 с алмазным модулем Platinum ATR однократного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), угол 45°.

Обсуждение результатов

Был определен состав ЖК в молочном жире коров четырех пород – красно-пестрой, черно-пестрой, голштинской и джерсейской, в переходный период от пастбищного к стойловому содержанию (сентябрь-ноябрь), 18 образцов. Место локации всех коров – Воронежская область, Анненский, Лискинский, Новоусманский, Павловский районы, т.е. в практически одинаковых климатических условиях средней полосы России.

Как известно, красно-пестрая порода коров выведена в России при скрещивании коров симментальской породы с голштинскими быками красно-пестрой масти (для скрещивания использовали генетически ценных быков-производителей из США и Канады). Порода была утверждена в конце 90-х. Красно-пестрые коровы отличаются выраженным молочным типом, схожим с типом голштинского скота. Молоко этих коров используют для производства сливочного масла и твердых сыров. Чёрно-пёстрая порода – порода крупного рогатого скота, прежде

всего, молочного направления продуктивности. Чёрно-пёстрая порода является родственной голландской породе. Выведена в СССР в 1930-1940-е гг. в результате скрещивания местного скота, разводимого в различных зонах страны, с чёрно-пёстрым скотом остфризской, чёрно-пёстрой шведской и других пород, происходящих от голландской породы. Порода утверждена в 1959 г., когда от неё отделили животных с красными окрасами.

Голштинская порода является самой распространённой породой молочного скота в мире. Эта порода коров считается одной из лучших в мире по удойности. Голштинская порода была создана в США и Канаде в результате селекции голландской и чёрно-пёстрой породы коров по продуктивности.

Джерсейская порода относится к мелким породам коров молочного направления. Одна из самых старых и жирномолочных культурных пород. Ещё совсем недавно неизвестная в России джерсейская порода занимает сегодня по численности 2-е место в мире после голштинской породы, причём её популяция стремительно растёт из-за того, что при меньших потребностях в жизненном пространстве, меньшем потреблении корма (более низких затратах на кормление, составляющих 60% себестоимости молока), джерсейская порода показывает конверсию корма на 30% превосходящую голштинскую породу, а её молоко ценится как минимум на 20% выше молока других пород. Джерсейская порода выведена в Англии на острове Джерси путём улучшения местного нормандского и британского скота и отбора его по жирномолочности.

В табл. 1 приведены результаты определения состава ЖК в молочном жире. Для наглядности на диаграмме (рис.1) в качестве примера дано распределение ЖК по молекулярной массе для джерсейской породы.

По отдельным ЖК, как видно из табл. 1, наблюдаются определенные отклонения от норматива. Фальсификация молочного жира исключена, поскольку молоко было отобрано под непосредственным контролем авторов и самими экспериментаторами получена жировая фаза в лабораторных условиях. Отсюда можно было бы сделать вывод, что ГОСТ 32261-2013 даёт несколько зауженный диапазон варьирования ЖК, не вполне учитывающий индивидуальные особенности жирно-кислотного состава коров разных пород, сезон, климатические условия и рацион питания этих коров.

В ГОСТ 32261-2013 допустимый диапазон содержания ЖК уже был расширен для отдельных кислот по сравнению с ГОСТ Р52253-2004. Возможно, норматив следует еще раз пересмотреть. Если взглянуть на цифры в табл. 1, то можно отметить, что в пределах допустимых границ погрешностей определения (для содержания менее 5% $\Delta=\pm 0.4$, а для более 5% $\Delta=\pm 2.2$), большинство показателей соответствуют нормативам, но находятся близко к нижней или верхней границам допустимых диапазонов содержания ЖК. Т.е. для содержания, например, 1.0% допустимы значения 1.0 ± 0.4 (т.е. ± 40 отн.%); а для 10.0 имеем 10.0 ± 2.2 (т.е. ± 22 отн.)

Если содержание той или иной жирной кислоты (ЖК) в триглицеридах натурального жира или масла, не подвергшихся фракционированию, химическим и термическим воздействиям, падает или возрастает в зависимости от породы, питания, сезона и других климатических факторов (для животных жиров), сорта (для растительного сырья) и т.д., содержание другой ЖК может симбатно возрастать или уменьшаться. Соблюдение диапазонов, в рамках которых содержание ЖК может варьировать, сохраняя при этом природные корреляции, обусловленные генотипическими и фенотипическими факторами, является признаком натуральности данного жира. Проверим на нашей выборке соблюдение природных

корреляций, выявленных в [7] на основании статистических данных для 50 образцов коровьего молочного жира (табл. 2).

при прочих равных условиях содержания, климата и питания джерсейской породе характерно сравнительно большее

Таблица 1. Жирно-кислотный состав коровьего молочного жира, %
 Table 1. Fatty acid composition of bovine milk fat, %

Жирная кислота	Норма ГОСТ 32261-2013	1	2	3	4
Масляная C4:0	2.4-4.2	2.32-3.45	2.10-3.50	3.30-3.50	2.98-4.00
Капроновая кислота C6:0	1.5-3.0	1.30-2.51	1.30-2.52	1.30-1.50	1.95-2.80
Каприловая кислота C8:0	1.0-2.0	0.80-1.45	0.70-1.55	0.70-1.00	1.50-1.55
Каприновая кислота C10:0	2.0-3.8	1.80-3.25	1.40-3.80	1.40-2.20	2.70-3.31
Деценвая кислота C10:1	0.2-0.4	0.24-0.52	0.2-0.4	0.2-0.21	0.31-0.40
Лауриновая кислота C12:0	2.0-4.4	2.3-3.96	1.70-4.70	1.7-1.9	3.1-4.35
Миристиновая кислота C14:0	8.0-13.0	9.5-12.08	6.80-13.10	6.8-8.0	10.88-11.19
Миристолеиновая кислота C14:1	0.6-1.5	0.71-2.0	0.70-1.90	0.7-1.10	0.96-1.40
Пальмитиновая C16:0	21.0-33.0	23.9-38.31	22.4-38.2	22.4-24.8	22.8-34.13
Пальмитолеиновая кислота 16:1	1.5-2.4	1.2-2.97	1.90-2.50	2.0-2.2	1.58-1.71
Стеариновая кислота C18:0	8-13.5	4.54-14.74	5.8-13.2	6.9-13.2	9.45-13.4
Олеиновая кислота C18:1	20-32	17.21-31.6	15.5-36.6	20.74-36.6	19.04-21.30
Линолевая кислота C18:2	2.2-5.5	2.0-3.91	2.10-4.0	2.7-4.0	2.43-3.48
Линоленовая кислота C18:3	до 1.5	0.05-1.44	0.3-1.00	0.8-0.9	0.24-0.60
Бегеновая кислота C22:0	до 0.1	0.02-0.30	0-0.30	0-0.1	0-0.2
Арахидовая кислота C20:0	до 0.3	0-0.3	0.1-0.21	0.2-0.3	0.02-0.4

Примечание: 1 – красно-пестрая порода; 2 – голштинская; 3 – черно-пестрая; 4 – джерсейская порода

Низшие ЖК C6:0, C8:0, C10:0, среднемолекулярные C12:0, C14:0, как правило, изменяют свое содержание симбатно относительно друг друга, но при этом наблюдаются отрицательные корреляции их содержания к содержанию высокомолекулярных кислот – стеариновой и олеиновой (C18:0 и C18:1), такая же закономерность характерна для пальмитиновой кислоты (C16:0), ее количество обратно пропорционально количеству стеариновой и олеиновой кислот.

Можно ли оценить по составу ЖК молочный жир коров разных пород? На рис. 2. представлена диаграмма сопоставления содержания 7 основных ЖК молочного жира 4 пород, из которой заметно, что

количество насыщенных ЖК C10:0, C12:0, C14:0, C16:0 и заметно меньшее количество ненасыщенных кислот C18:1 и C18:2, в то время как для черно-пестрой породы характерны обратные соотношения. Голштинская и красно-пестрая породы характеризуются промежуточными значениями C16:0, C18:0 и C18:1. Жирным шрифтом в табл. 2 выделены наиболее тесные корреляции.

Рассмотрим триглицеридный состав молочного жира (табл.3). На рис. 3 представлена последовательность удерживания триглицеридов, согласно ГОСТ ISO 17678-2015. Из табл.3 видно, что нормированные диапазоны содержания ТГ несколько уже для отдельных фракций ТГ,

Таблица 2. Корреляции между содержанием в коровьем молочном жире ЖК, n=18
 Table 2. Correlations between fatty acid content in bovine milk fat, n=18

Соотношение ЖК	Корреляция	Коэффициент парной корреляции R
C6:0/C8:0	$y=0.48x+0.26$	0.852
C8:0/C10:0	$y=2.47x-0.23$	0.931
C8:0/C12:0	$y=2.68x-0.05$	0.792
C8:0/C14:0	$y=5.22x+4.12$	0.766
C8:0/C18:1	$y=46.98-18.99x$	-0.839
C10:0/C12:0	$y=1.14x+0.05$	0.895
C10:0/C14:0	$y=2.16x+4.48$	0.843
C10:0/C16:0	$y=5.62x+14.16$	0.755
C10:0/C18:0	$y=45.09-7.65x$	0.898
C10:1/C14:0	$y=17.38x+5.03$	0.762
C10:1/C18:1	$y=41.47-56.06x$	0.739
C12:0/C14:0	$y=1.88x+4.45$	0.932
C12:0/C16:0	$y=5.02x+15.66$	0.858
C12:0/C18:0	$y=16.75-2.02x$	0.727
C12:0/C18:1	$y=44.24-6.34x$	-0.947
C14:0/C16:0	$y=2.28x+5.88$	0.785
C14:0/C18:0	$y=20.51-0.98x$	-0.708
C14:0/C18:1	$y=57.14-3.17x$	-0.955
C16:0/C18:0	$y=23.75-0.46x$	-0.925
C16:0/C18:1	$y=50.21-0.88x$	-0.752

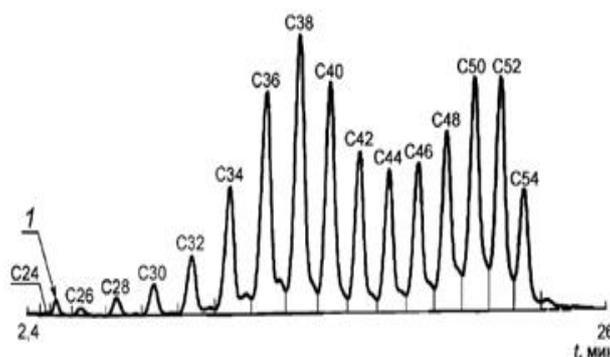


Рис. 3. Порядок удерживания ТГ молочного жира: 1 – холестерин. ГОСТ ISO 17678-2015
 Fig. 3. The retention order of milk fat triglycerides: 1 – cholesterol. GOST ISO 17678-2015

следовательно, их следует расширить хотя бы с учетом погрешностей определения как минимум на $\Delta=\pm 3\%$. На рис. 4 для наглядности представлена диаграмма усредненного содержания ТГ в молочном жире коров джерсейской породы. С некоторыми вариациями, обусловленными содержанием в ТГ жирных кислот, также выглядят графики для двух других пород.

Оценим наличие природных корреляций между отдельными фракциями ТГ

(табл. 4). Как видно из табл. 4, между содержанием ТГ существуют более тесные и более многочисленные корреляции, чем между содержанием жирных кислот. Для отдельных фракций триглицеридов абсолютное значение $R>0.900$. При этом наблюдаются симбатный рост содержания низко- и среднемолекулярных ТГ, например, C30, C32, C34, C38, C42, C44, и асимбатное этому росту понижение концентрации высших ТГ C50, C52 и C54. В качестве примера на рис. 6 и 7 в

качестве примера приведены 2 тесные корреляции.

На рис. 7-8 представлен ИК-спектр типичного образца молочного жира коров

Таблица 3. Триглицеридный состав коровьего молочного жира, %
 Table 3. Triglyceride composition of bovine milk fat, %

Фракция ТГ	Норматив по ГОСТ	1	2	4
C24	0.15-0.39	0.44-0.72	0.49-0.50	0.26-0.46
C26	0.51-1.05	0.99-1.09	0.95-0.96	0.69-1.02
C28	0.76-1.19	1.04-1.10	0.99-1.00	0.61-1.16
C30	1.27-1.78	1.70-1.86	1.64-1.67	1.07-1.96
C32	2.54-3.34	3.12-3.72	3.08-3.21	2.34-3.77
C34	4.01-8.02	6.66-8.22	6.46-6.68	5.77-7.64
C36	9.08-14.01	11.61-13.02	11.08-11.35	11.63-12.09
C38	11.04-15.09	11.54-13.32	11.93-13.30	12.57-13.69
C40	9.02-13.01	8.40-10.3	9.18-11.06	9.85-9.92
C42	6.57-7.57	5.81-8.43	7.05-7.36	6.40-8.10
C44	4.52-7.04	5.18-8.28	6.23-7.74	6.11-7.87
C46	5.01-6.59	5.78-9.23	6.52-8.21	8.67-7.97
C48	6.51-10.40	7.36-10.39	7.72-9.79	7.87-8.77
C50	8.06-12.08	9.30-10.22	9.74-10.82	9.04-11.69
C52	7.08-11.02	4.66-10.72	8.99-7.92	6.15-10.41
C54	2.01-4.07	0.72-5.48	2.21-4.38	1.70-3.77

Примечание: 1 – красно-пестрая порода; 2 – голштинская порода; 4 – джерсейская порода

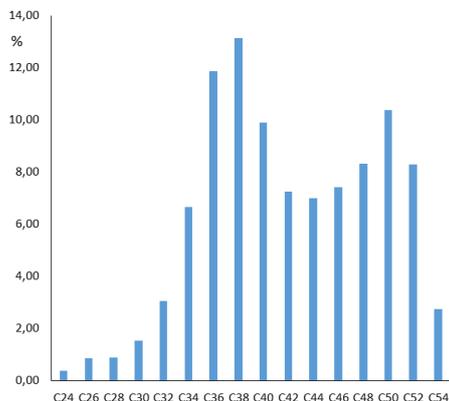


Рис. 4. Содержание фракций ТГ в молочном жире коров джерсейской породы
 Fig. 4. Content of triglyceride fractions in milk fat of Jersey cows

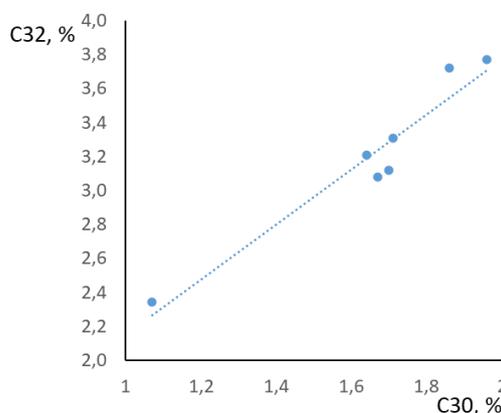


Рис. 5. Корреляция между содержанием в молочном жире ТГ C30 и C32
 Fig. 5. Correlation between the content of C30 and C32 triglycerides in milk fat

На соотношения ТГ влияют и генотипические, и фенотипические факторы, которые можно выявить в дальнейшем при проведении специальных опытов. Очевидно лишь то, что при изменении любого из них состав ТГ не меняется случайным образом, а в соответствии с биохимическими процессами, формирующими этот состав.

(полученного сразу после дойки [8]), а также образца сливочного масла, приобретенного в торговой сети. В табл. 5 дана интерпретация выявленных колебаний функциональных групп [24-28].

Сравнение ИК-спектров образцов молочного жира показывает, что общими полосами поглощения являются максимумы в области 2924-2923 см⁻¹, которые

Таблица 4. Матрица корреляций между содержанием ТГ в натуральном молочном жире, n=7
 Table 4. Correlation matrix between the triglyceride content in natural milk fat, n=7

Соотношение ТГ	Корреляция	Коэффициент парной корреляции R
C24/C26	$y=0.72x+0.60$	0.855
C26/C50	$y=15.33-5.48x$	-0.752
C26/C32	$y=2.87x+0.47$	0.764
C26/C30	$y=1.96x-0.23$	0.880
C 26/C28	$y=1.35x-0.30$	0.958
C28/C30	$y=1.54x+0.12$	0.977
C28/C32	$y=2.40x+0.84$	0.900
C28/C34	$y=3.21x+3.68$	0.731
C28/C50	$y=14.45-4.41x$	-0.853
C30/C50	$y=14.88-2.90x$	-0.888
C30/C34	$y=2.30x+3.07$	0.827
C30/C32	$y=1.62x+0.53$	0.965
C32/C34	$y=1.53x+1.95$	0.925
C32/C50	$y=15.36-1.65x$	-0.849
C32/C52	$y=20.55-3.93x$	-0.820
C34/C52	$y=25.02-2.49x$	-0.859
C34/C38	$y=18.30-0.80x$	-0.795
C34/C36	$y=0.64x+7.45$	0.790
C38/C52	$y=2.16x-19.78$	0.754
C38/C48	$y=25.63-1.33x$	-0.948
C38/C46	$y=25.35-1.24x$	-0.844
C38/C40	$y=0.86x-1.19$	0.827
C40/C46	$y=18.53-1.13x$	0.796
C42/C44	$y=1.20x-1.68$	0.942
C42/C46	$y=0.98x+0.36$	0.786
C42/C52	$y=23.82-2.19x$	0.898
C42/C54	$y=14.80-1.64x$	0.888
C44/C54	$y=12.94-1.44x$	-0.987
C44/C52	$y=20.69-1.82x$	-0.949
C44/C48	$y=0.78x+3.15$	0.834
C44/C46	$y=0.93x+0.97$	0.943
C46/C48	$y=0.91x+1.82$	0.954
C46/C52	$y=21.19-1.77x$	-0.908
C46/C54	$y=13.64-1.44x$	-0.972
C48/C54	$y=14.45-1.34x$	-0.865
C48/C52	$y=22.19-1.55x$	-0.808
C52/C54	$y=0.71x-2.78$	0.937

характерны для валентных асимметричных колебаний ν_{as} CH и CH₂ групп; 2855-2853 см⁻¹, которые характерны для валентных симметричных колебаний ν_s этих групп [23-27]. Наличие данных групп подтверждается также присутствием в ИК-спектрах полос поглощения 1465-1462 см⁻¹ (ножничные колебания σ CH₂ в группах -CH₂-C=O); 1378-1374 см⁻¹ (ножничные колебания σ_s групп -CH₃ в

алифатических цепочках)[23-25]; 1174-1160 см⁻¹ (маятниковые колебания метильных групп γ_t); 1114-1105 см⁻¹ (ножничные колебания σ_s в группах CH, CH₂ и CH₃); 722-713 см⁻¹ (крутильные колебания γ_t CH в группах RCH=CHR'). Наряду с этим, во всех ИК-спектрах образцов молочного жира наличествуют пики 1746-1742 см⁻¹ (валентные колебания C=O в группах -C-O-C(R)=O); 1239-1235 см⁻¹

(валентные асимметричные колебания ν_{as} –C-O-C– в сложных эфирах) [23-25] (см. табл. 5).

пестрой, джерсейской и голштинской пород содержат преимущественно триацил-L-глицериды:

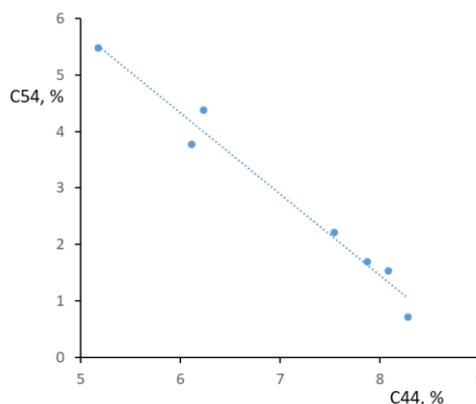


Рис. 6. Корреляция между содержанием в молочном жире ТГ C44 и C54
 Fig. 6. Correlation between the content of C44 and C54 triglycerides in milk fat

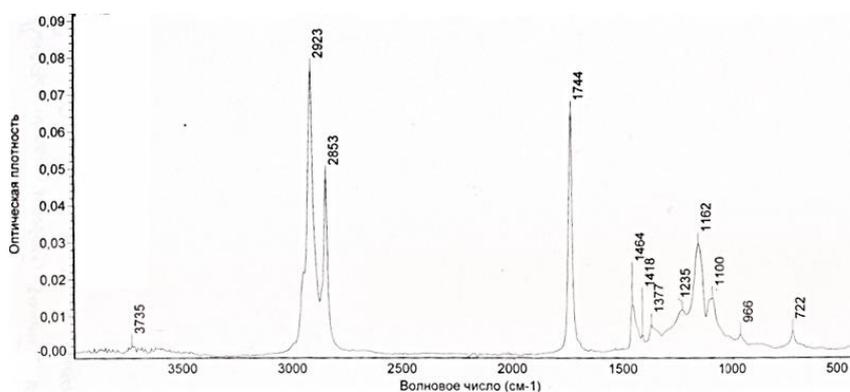


Рис.7. ИК-спектр молочного жира коровы красно-пестрой породы, луговой выпас, частное хозяйство. с. Ямное Воронежской области
 Fig.7. IR spectrum of milk fat from a Red Pied cow, pasture grazing, private farm. Yamnoye village in the Voronezh Region.

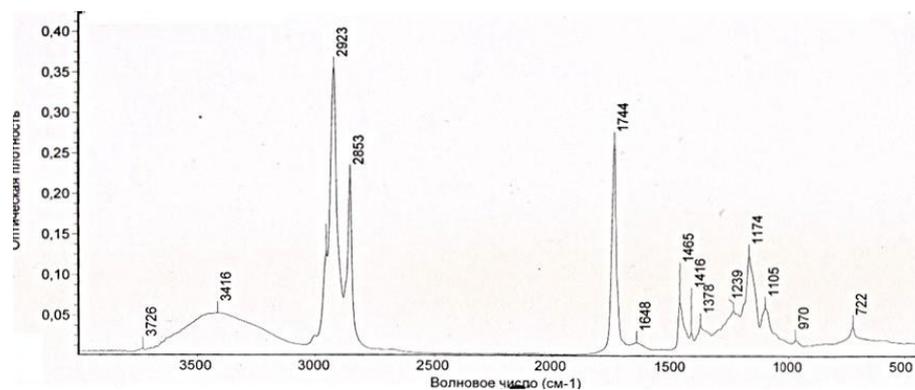


Рис. 8. ИК-спектр сливочного масла, произведенного из молока коров голштинский породы
 Fig. 8. IR spectrum of butter produced from the milk of Holstein cows

Многочисленные факты свидетельствуют в пользу того, что образцы молочного жира коров черно-пестрой, красно-

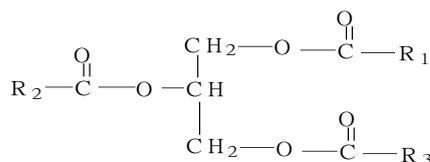


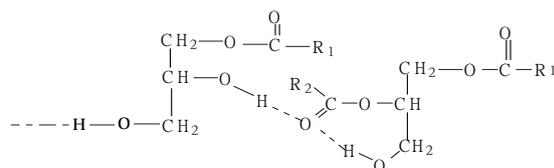
Таблица 5. Отнесение полос поглощения в ИК-спектрах образцов молочного жира. см⁻¹
Table 5. Assignment of the absorption bands in the IR spectra of milk fat samples, cm⁻¹

Черно-пестрая, красно-пестрая, джерсейская породы	Голштинская	Сливочное масло из молочного жира голштинской породы	Отнесение полос поглощения, колебания функциональных групп
-	3739*	3726*	ν OH в спиртах, свободные
-	3408	3416	ν OH...O в спиртах ассоциированных
2924	2923	2923	ν CH и CH ₂ асимметричные
2854	2855	2853	ν CH и CH ₂ симметричные
1746	1742	1744	ν C=O в группах C-O-C(R)=O
-	1645	1648*	ν C=C в RCH=CHR' (транс)
-	1549	-	ν C=O в β -кетозэфирах
1465 1418	1462 1416	1465 1416	Ножничные CH ₂ ; σ CH ₂ В -CH ₂ -CO-
1378	1374	1378	σ_s CH ₃ в алифатических цепях
1239	1235	1238	ν_{as} в -C-O-C- в сложных эфирах
1165	1160	1174	Маятниковые γ_t метильной группы
1114	1108	1105	Ножничные CH в CH ₂ и CH ₃
966	-	970	Веерные γ_w CH в RCH=CHR'
722	713	722	Крутильные γ_t CH в RCH=CHR'
-	647	-	

*слабые колебания

где R_i – остатки жирных кислот. Однако в ИК-спектрах молочного жира коров голштинской породы имеются полосы поглощения 3739-3726 см⁻¹ (валентные колебания ν неассоциированных групп – OH); 3416-4308 см⁻¹ (валентные колебания ν OH...O в спиртовых группах); 1549 см⁻¹ (валентные колебания в β -кетозэфирах) [24-28]. Указанные максимумы отсутствуют в ИК-спектрах образцов молочного жира коров других пород.

Очевидно, в молочном жире коров голштинской породы наряду с триацил-Г-глицеридами присутствуют 1,2-диацилглицериды и/или 1-ацилглицериды, способные образовывать водородные связи:



Заслуживает внимания максимум в ИК-спектре коров голштинской породы при 1645 см⁻¹ (валентные колебания ν C=C в RCH=CHR') и 673 см⁻¹ (крутильные γ_t колебания CH в RCH=CHR'), которые обусловлены наличием остова ненасыщенной жирной кислоты, преимущественно располагающейся у второй гидроксильной группы глицерина. Сливочное масло, приобретенное в торговой сети, имеет размытую широкую полосу с максимумом при 3416 см⁻¹ и слабую по-

лосу при 1648 см^{-1} . Полоса 3416 см^{-1} отвечает колебаниям группам $-\text{OH}$, связанных водородными связями в ассоциатах, а полоса 1648 см^{-1} характерна для двойной связи в *транс*-изомерах. Вероятней всего в этом образце полоса 3416 см^{-1} обусловлена наличием в сливочном масле смеси моно- и диглицеридов, используемых в качестве кормовой или пищевой добавки E471, как эмульгатор-стабилизатор. При проверке ИК-спектра молочного жира коров голштинской породы, полученного непосредственно после дойки на предприятии той же фирмы, выпускающей сливочное масло, опять же найдена полоса группы $-\text{OH}$, отсутствующая в молочном жире других пород. Это может означать, что в кормах коров скорее всего содержалась добавка E471. Специалисты считают, что эта добавка повышает удои коров. Пищевая добавка E471 имеет международный статус GRAS, который позволяет использовать ее без ограничений. В качестве эмульгатора E471 улучшает реологические свойства сливочного масла [20-22]. Следует отметить, что в ИК-спектрах, например, пальмового масла имеются полосы поглощения 1221 см^{-1} и 1099 см^{-1} , которые отсутствуют в ИК-спектрах коровьего жира и отвечают за валентные колебания метильных групп в третичнометильных группировках и валентные колебания в ацеталах, фрагменты которых могут присутствовать в жирно-кислотных цепочках пальмового масла [24]. Характерными только для растительных масел являются полосы в области $3009\text{-}3006 \text{ см}^{-1}$ ($\nu \text{ CH}$ в $\text{RCH}=\text{CHR}'$), не выраженные для молочного жира. Является ли наличие заметных количеств моно- и диглицеридов особенностью жира голштинских коров, или это результат приема кормов с пищевой добавкой E471? Содержание моно- и диглицеридов в молоке может быть результатом липолиза молочной жира из-за неправильного обращения с молоком и его хранения. Однако было ранее пока-

зано, что диглицериды естественным образом содержится в свежесдоенном молоке, что позволяет предположить, что некоторые из диглицеридов, содержащихся в молоке, являются промежуточными звеньями в биосинтезе ТГ, а не продуктами распада [20], даже незначительные количества таких липидов, содержащихся в молочном жире, даже в тех низких концентрациях, которые обычно встречаются в природе, могут существенно влиять на кристаллизацию и плавление молочного жира.

Остановимся на теплофизических свойствах исследуемых образцов молочного жира. Коль жирно-кислотный и триглицеридный состав молочного жира вариативен, зависит от генотипических и фенотипических факторов, а профиль термограмм ДСК чувствителен к химическому составу молочного жира, представилось интересным найти различия в теплофизических свойствах молочного жира в зависимости от породы коров. Полиморфное поведение молочного жира, конечно, усложняет интерпретацию термограмм, полученных для молочного жира. Кривые ДСК образцов представлены на рис. 9. В табл. 6 приведены количественные параметры термограмм.

На рис. 9 отмечены характеризующие процесс плавления, такие параметры как температура первого пика - t_1 ; температура впадины - t_1' , температура второго пика - t_2 , температура третьего пика - t_3 и площадь под кривой S , которая характеризует общую теплоемкость жира.

Отношение температур t_2/t_3 наиболее чувствительно реагирует на замену молочного жира посторонними жировыми продуктами и в целом на соотношение ТГ [29]. Все кривые ДСК имеют три типичных эндотермических пика, характерного для молочного жира [30]. Данные пики имеют сложный геометрический профиль, поскольку они образованы в результате фазовых (полиморфных) переходов различных групп ТГ. Первый эндотермический пик образован группой ТГ с

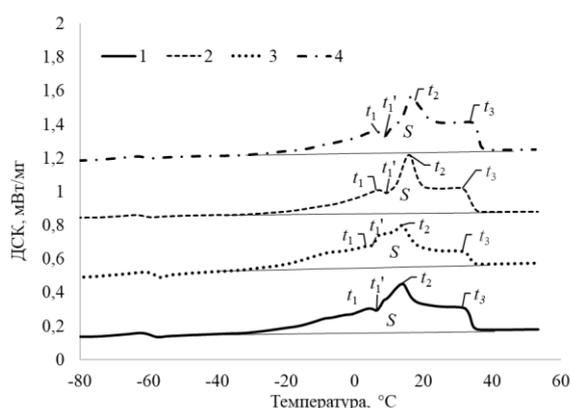


Рис. 9. Кривые ДСК образцов молочного жир различных пород коров: 1 – красно-пёстрой; 2 – голштинской. 3 – черно-пестрая, 4 – джерсейской
 Fig. 9. DSC curves of milk fat samples from different breeds of cows: 1 – Red Pied; 2 – Holstein; 3 – Black Pied; 4 – Jersey

Таблица 6. Параметры плавления образцов молочного жира
 Table 6. Melting parameters of milk fat samples

№	t_2 , °С	t_3 , °С	t_2/t_1'	S , Дж/г
1	12.3	16.7	1.36	88.7
2	10.1	16.2	1.60	94.4
3	9.6	16.4	1.71	93.2
4	8.6	18.0	2.09	93.2

*1 – красно-пестрая порода; 2 – голштинская порода; 4 – джерсейская порода.

низкой температурой плавления (Low melting point, LMP). Второй эндотермический пик образован более многочисленной группой ТГ со средней температурой плавления (Medium melting point, MMP). Третий эндотермический пик образован группой ТГ с высокой температурой плавления (High melting point, HMP). Границей между LMP и MMP служит впадина при t_1' , граница между MMP и HMP размыта и может быть определена только приблизительно [30]. Группы ТГ – LMP, MMP и HMP, не только плавятся раздельно, но и ведут себя как твердые растворы. Эндотерма LMP соответствует плавлению ТГ с высоким содержанием длинноцепочечных ненасыщенных жирных кислот и насыщенных жирных кислот с короткой цепью, UUS, таких как ВОО, ВРО и РРО (В – масляная кислота C4:0; О – олеиновая кислота C18:1; Р – пальмитиновая кислота C16:0). Фракция LMP является жидкой при комнатной температуре. Основные триглицериды, плавящиеся во фракции MMP, содержат

одну короткую насыщенную цепь или одну ненасыщенную USS и SSS, такие как ВРР и РРО. Фракция HMP богата ЖК с длинными насыщенными цепями, такие как РРР. Интересно отметить, что было обнаружено, что триглицерид РРО плавится под тремя эндотермами. Плавление триглицеридов фракции MMP наиболее важно для сенсорных свойств молочного жира во рту [30].

Таким образом, у всех образцов молочного жира наблюдаются группы пиков LMP, MMP и HMP, однако у образца молочного жира голштинской породы впадина при t_1' практически не наблюдается так как пики при t_1 и t_2 расположены ближе друг к другу, чем в других образцах. Это различие обусловлено скорее всего породой и рационом питания животного.

На кривых ДСК образцов 1 и 2 у самого основания второго эндотермического пика явно проявляется плечо (подпик), которое на кривой красно-пестрой

Таблица 7. Тренды значений t_3 от содержания отдельных фракций ТГ
Table 7. Trends in t_3 values depending on the content of individual triglyceride fractions

Содержание фракции ТГ (x)	t_3
C54	$y=11.6x-13.8$
C52	$y=1.7x+3.4$
C50	$y=2.8x-11.1$
C48	$y=50-3.9x$
C46	$y=76.8-7.9x$
C44	$y=84-9.5x$
C42	$y=144.2-17.4x$
C40	$y=4.9x-30.4$
C38	$y=3.8x-32.1$
C36	$y=75-4.8x$
C34	$y=38.5-3.1x$
C32	$y=34.6-5.5x$
C30	$y=29.2-7.7x$
C28	$y=26.4-9.6x$
C26	$y=26.5-10.1x$
C24	$y=20.4-7.2x$

жирным шрифтом выделены асимбатные тренды

коровы имеет гораздо более яркий характер. При этом у образцов джерсейской и черно-пестрой коровы данный пик существенно сглаживается в небольшой перегиб. Третий пик ДСК на всех кривых имеет разный характер, так в образцах 1 и 2 при переходе от второго пика до самого окончания плавления наблюдается плавные спуски, в случае третьего образца – имеется плато, а в случае 4-го образца имеется даже максимум пика 3. Однако температура максимума 3 пика имеет четкие тренды в зависимости от содержания всех фракций ТГ (табл. 7).

Обращает на себе внимание, что с увеличением концентрации C50-C54 и C38-C40 температура t_3 растет, а с увеличением содержания C42-C48 и увеличением содержания C24-C36 падает (степень детерминации $R^2 \approx 0.94$), таким образом, этот пик можно отнести к суперпозиции ТГ с длинными насыщенными цепями USS и SSS, такими как PPP, PPO, а также ТГ содержащими кроме C16:0 еще C18:0 или C20:0. Другие параметры термограмм не показали тесных трендов. Таким образом, джерсейская порода наиболее сильно отличается от других пониженным значением t_2 и максимальным

значением t_3 , что согласуется с составом ЖК и ТГ. В работе [22] также отмечается, что молочный жир джерсейской породы имеет более высокое содержание летучих ЖК, чем, например, голштинской.

Заключение

Подтверждено наличие тесных природных корреляций между некоторыми отдельными жирными кислотами, впервые выявлены еще более тесные природные корреляции между содержанием в молочном жире фракций триглицеридов, обнаружены тренды между количеством триглицеридов и отдельными теплофизическими параметрами, измеренными методом ДСК. Найденные корреляции и тренды могут служить критериями натуральности молочного жира и отнесения образца молочного жира к определенной породе коров. Нарушение выявленных корреляций может указывать на внесение в продукт жиров-заменителей, фракционирование, переэтерификацию или иное физико-химическое воздействие на образец масложирового сырья. Методом

ИК-спектроскопии обнаружено присутствие в молочном жире моно- и диацилглицеридов. Применение комплекса методик ГЖХ-ПИД, ДСК и ИК-спектроскопии позволяет не только надежно идентифицировать натуральное сырье, но и зачастую его происхождение, т.е. породу скота и условия, в которых произведена сельхозпродукция.

Список литературы/References

1. Rudakov O.B., Korol'kova N.V., Polyanskij K.K., Rudakova L.V., Kotik O.A. *Texnoximicheskij kontrol` v tehnologii zhirov i zhirozamenitelej*. SPb, Lan`. 2024. 576 p. (In Russ.)
2. Rudakov O.B., Lesnikova E.P., Polyanskij K.K., Semenova I.N. *Tovarnyj menedzhment. e`kspertiza i ocenka kachestva zhirov`x tovarov*. SPb: Lan`. 2020. 304 p. (In Russ.)
3. Polyanskij K.K., Snegirev S.A., Rudakov O.B. *Differencial`ny`j termicheskij analiz pishhevy`x zhirov*. M., DeliPrint. 2004. 86 p. (In Russ.)
4. Rudakov O.B., Ponomarev A.N., Polyanskij K.K., Lyubar` A.V. *Zhiry`. Ximicheskij sostav i e`kspertiza kachestva*. M., Deli Print. 2005. 312 p. (In Russ.)
5. Rudakov O.B., Rudakova L.V., Parinov D.B., Snegirev S.A., Polyanskij K.K. *E`kspertnaya sistema po optimizacii receptury` spredov. Masla i zhiry`*. 2009; 3: 20-24. (In Russ.)
6. Rudakov O.B., Polyanskij K.K., Rudakova L.V. *Kontrol`ny`e karty` v pomoshh` e`kspertu. Pererabotka moloka*. 2016; 5(199): 28-31. (In Russ.)
7. Rudakov O.B., Selemenev V.F., Plotnikova O.V., Sezin I.M., Dubinina T.V. *Statisticheskij podxod v opredelenii natural`nosti zhirov po xromatograficheskim dannym. Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2002; 2(3): 295-303. (In Russ.)
8. Rudakov O.B., Saranov I.A., Polyanskij K.K. *Zhirno-kislotny`j sostav molochного zhira korov razny`x porod. Pere-rabotka moloka*. 2024; 5: 66-69. (In Russ.)

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

9. An` V.N., Dejneka V.I., Xien Ch.T.N., Dejneka L.A., Rudakov O.B. *Ustanovlenie podlinnosti sy`rov metodom obrashhenno-fazovoj VE`ZhX. Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2018; 18(6): 816-824. (In Russ.)
10. Zykov A.V., Krysanov V.A., Mokshina N.Ya. *Gazoxromatograficheskoe opredelenie kolichestvennogo sostava pishhevy`x e`mul`gatorov E471. Analitika i kontrol*. 2015; 19(2): 169-174. (In Russ.)
11. Rudakov O.B., Saranov I.A., An` Nguen Van An`, Rudakova L.V., Polyanskij K.K. *Differencial`naya skaniruyushhaya kalorimetriya kak metod kontrolya podlinnosti rastitel`ny`x masel. Zhurn. analit. khimii*. 2021; 76(2): 183-192. (In Russ.)
12. Ramazanov A.Sh., Balaeva Sh.A., Rudakov O.B., Saranov I.A. *Vliyanie klimaticheskix uslovij Respubliki Dagestan na sodержание zhirного masla i drugix biologicheskix aktivny`x veshhestv v plodax rastoropshi pyatnistoj. Khimiya rastitelnogo syrya*. 2021; 4: 207-215. (In Russ.)
13. Rudakov O.B., Saranov I. A., Balaeva Sh.A., Ramazanov A. Sh., Rudakov Ya.O. *Differencial`naya skaniruyushhaya kalorimetriya kak metod kontrolya podlinnosti masla dikorastushhej rastoropshi pyatnistoj. Zhurnal analiticheskoy khimii*. 2021; 76(12): 1137-1145. (In Russ.)
14. Rudakov O.B., Saranov I.A., Polyanskij K.K. *Termicheskij analiz v kontrole kachestva slivochnого masla. Molochnaya promyshlennost`*. 2018; 11: 38-40. (In Russ.)
15. Rudakov O.B., Polyanskij K.K., Griбанov A.Yu., Dejneka V.I. *Mozhno li s pomoshh`yu DTA obnaruzhit` minorny`e dobavki zamenitelej molochного zhira v*



slivochnom masle? *Syrodellie i maslodellie*. 2015; 5: 50-53. (In Russ.)

16. Rudakov O.B., Saranov I.A., Polyan-skij K.K. Vy`yavlenie pal`movogo masla v fal`sifirovannom slivochnom masle metodom DSK. *Syrodellie i maslodellie*. 2019; 3: 51-53. (In Russ.)

17. Rudakov O.B., Rudakova L.V. Trans-izomerny`e zhirny`e kisloty`: vzglyad ximika-analitika. *Pererabotka moloka*. 2019; 3: 37-39. (In Russ.)

18. Selemenev V.F., Rudakova L.V., Rudakov O.B., Belanova N.A., Nazarova A.A. Fosfolipidy` na fone prirodny`x matricz. Voronezh: IPCz Nauchnaya kniga, 2020, 318 p. (In Russ.)

19. Fagan R., Wijesundera Ch., Watkins P. Determination of mono- and di-acylglycerols in milk lipids. *Journal of Chromatography A*. 2004; 1054(1-2): 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.04.052>

20. Selemenev V.F., Rudakova L.V., Rudakov O.B. Lipidomika. Voronezh, Nauchnaya kniga. 2023, 316 p. (In Russ.)

21. Pishhevye dobavki: enciklopediya. L.A. Sarafanova (sost.). SPb., Professiya, 2012. 776 p. (In Russ.)

22. Richard D.O`Brajen. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye / per. s angl. 2-go izd. V.D. Shirokov. D.A. Babekina. N.S. Selivanova. N.V. Magda. SPb.: Professiya. 2007. 752 p. (In Russ.)

23. Kazicina L.A., Kupletskaya N.B. Primeneniye UF-, IK- i YaMR-spektroskopii v organicheskoy khimii. M., Vy`sshaya shkola. 1971. 264 s. (In Russ.)

24. Pimentell D., Mak-Klellan O. Vodnorodnaya svyaz`. M., Mir. 1964. 462 p. (In Russ.)

25. Nakanisi K. Infrakrasnaya spektroskopiya i stroeniye organicheskix soedinenij. M., Mir. 1965. 216 p. (In Russ.)

26. Karpov S.I., Selemenev V.F. Infrakrasnaya spektroskopiya sorbentov. Voronezh: Nauchnaya kniga. 2024. 376 p. (In Russ.)

27. Dexant I., Dancz R., Kimmer V., Shmol`ke R. Infrakrasnaya spektroskopiya polimerov. M., Ximiya. 1976. 472 p. (In Russ.)

28. Rudakov O.B., Saranov I.A., Polyan-skij K.K. Kontrol` sodержaniya pal`movogo masla v smesyax s molochny`m zhirom metodom DSK. *Analitika i kontrol`*. 2019; 23(1): 127-135. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.1.010> (In Russ.)

29. Ten Grotenhuis E. et al. Polymorphism of milk fat studied by differential scanning calorimetry and real-time X-ray powder diffraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1999; 76(9): 1031-1039.

30. Lopez C. Crystallization properties of milk fats. *Crystallization of lipids: Fundamentals and applications in food, cosmetics, and pharmaceuticals*. 2018, 283-321.

Информация об авторах / Information about the authors

И.А. Саранов – к.т.н., доцент кафедры информационной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий, Воронеж, Россия

Я.О. Рудаков – аспирант кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, инженер кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия

О.Б. Рудаков – д.х.н., зав. кафедрой химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия

I.A. Saranov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Security of the Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia, mr.saranov@mail.ru

Ya.O. Rudakov – Postgraduate student of the Department of Analytical Chemistry of Voronezh State University, Engineer of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials of the Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

O.B. Rudakov – Doctor of Chemical Sciences, Head of Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials of Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia



В.Ф. Селеменев – д.х.н., проф. каф. аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

К.К. Полянский – д.т.н., профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия

А.Н. Лукин – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Центра коллективного пользования Воронежского государственного университета, Россия

V.F. Selemenev – DSci in chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: common@chem.vsu.ru

K.K. Polyansky – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials of Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

A.N. Lukin – Candidate of Physical Sciences, Senior Researcher the Center for Collective Use of Voronezh State University, Russia

Статья поступила в редакцию 1.06.2024; одобрена после рецензирования 10.07.2024; принята к публикации 17.07.2024.

The article was submitted 01.06.2023; approved after reviewing 10.07.2024; accepted for publication 17.07.2024.