

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.544:663.51

doi: 10.17308/sorpchrom.2025.25/12955

Комплексный контроль качества сливочного масла с применением ГЖХ, ДСК и химического анализа

**Игорь Александрович Саранов^{1✉}, Владимир Федорович Селеменев²,
Олег Борисович Рудаков³, Александр Викторович Востроилов⁴,
Константин Константинович Полянский⁵**

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

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

³Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

⁴Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж, Россия

⁵Воронежский филиал Российского университета экономики им. Плеханова Г.В., Воронеж, Россия

Аннотация. В работе изучен методом ГЖХ состав жирных кислот (ЖК), триацилглицеринов (ТАГ), методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) определены теплофизические свойства сливочного масла, прослежена взаимосвязь между результатами, полученными этими методами. 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. Установлено, что состав ЖК и ТАГ за 18 суток хранения при комнатной температуре остается в пределах нормируемых диапазонов, в тоже время всеми использованными методами фиксируется образование продуктов окисления. Установлена относительно лучшая хранимоспособность сливочного масла из молока голштинской породы в сравнении с сливочным маслом из молока коров монбельярдской и джерсейской пород.

Ключевые слова: коровий молочный жир, хранимоспособность, окислительная порча, газожидкостная хроматография, дифференциальная сканирующая калориметрия, перекисное число, анизидиновое число, кислотное число.

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

Для цитирования: Саранов И.А., Селеменев В.Ф., Рудаков О.Б., Востроилов А.В., Полянский К.К. Комплексный контроль качества сливочного масла с применением ГЖХ, ДСК и химического анализа // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2025. Т. 25, № 2. С. 160-170.
<https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/12955>

Original article

Comprehensive quality control of butter using GRF, DSC and chemical analysis

**Igor A. Saranov^{1✉}, Vladimir F. Selemeney², Oleg B. Rudakov³,
Alexander V. Vostroilov⁴, Konstantin K. Polyansky⁵**

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

²Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

³Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

⁴Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Voronezh, Russian Federation

⁵Voronezh Branch of the Russian University of Economics, Plekhanova G.V, Voronezh, Russian Federation

Abstract. The composition of fatty acids (FA), triacylglycerols (TAG), and differential scanning calorimetry (DSC) were studied by the GC method, the thermophysical properties of butter were determined, and the relationship between the results obtained by these methods was traced. The dynamics of the oxidation of butter by atmospheric oxygen at room temperature has been studied using a set of certified chromatographic techniques, an alternative technique based on the DSC method, as well as chemical methods for determining integral oxidation indices (determination of peroxide, anisidine and acid numbers). The objects of the study were samples of butter produced from the milk of cows of Holstein, Montbilliard and Jersey breeds, which are bred in the south of the Voronezh region. It was found that the composition of LC and TAG for 18 days of storage at room temperature remains within the normalized ranges, at the same time, the formation of oxidation products is recorded by all methods used. The relatively better storage capacity of butter from milk of the Holstein breed has been established in comparison with butter from milk of cows of the Montbilliard and Jersey breeds.

Keywords: cow's milk fat, storage capacity, oxidative damage, gas-liquid chromatography, differential scanning calorimetry, peroxide number, anisidine number, acid number.

Acknowledgments: the research was carried out at the expense of the Russian Science № 23-73-01166. <https://rscf.ru/project/23-73-01166/>

For citation: Saranov I.A., Selemenov V.F., Rudakov O.B., Vostroilov A.V., Polyansky K.K. Comprehensive quality control of butter using GRF, DSC and chemical analysis. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. 2025. 25(2): 160-170. (In Russ.).* <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/12955>

Введение

На хранимоспособность сливочного масла влияет множество факторов [1-5]. Сливочное масло, в частности, имеет значительную склонность к окислению кислородом воздуха, а глубина процессов окисления зависит от конкретных условий хранения или переработки, от внесения в сливочное масло добавок тех или иных натуральных или синтетических антиоксидантов. Оценку степени окисления сливочного масла можно осуществить различными аналитическими методами, но преимущественно, определяют перекисное число, кислотное число, Тотох-число, анизидиновое и тиобарбитуровое число [2]. Эти интегральные показатели характеризуют только наличие и количество образовавшихся функциональных групп в продуктах окисления. Вместе с тем представляет интерес насколько стабильным в процессе хранения остается содержание основных компонентов жировой фазы сливочного масла, выработанного из молока коров разных пород. Важным свойством с точки зрения технологии переработки молока является также стабильность теплофизических характеристик жировой фазы при хранении

сливочного масла. На эти вопросы, помимо стандартного определения приведенных выше чисел, может ответить только комплексное исследование методами ГЖХ и ДСК.

Цель работы - исследовать образцы сливочного масла, приготовленного из натурального молочного жира без внесения каких-либо антиоксидантов, на хранимоспособность в условиях хранения при комнатной температуре методом ГЖХ (аттестованными методиками определения жирно-кислотного и триглицеридного состава), методом ДСК и химическим анализом (определением перекисного, анизидинового и кислотного чисел).

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись три образца сливочного масла, изготовленные из молока трех различных пород коров: голштинская, монбельярдская и джерсейская. Все образцы молочного жира получены в ЦКП «Испытательный Центр» ВГУИТ из сырого молока различных хозяйств Воронежской области при контроле каждой дойки. Молоко сепарировалось на бытовом сепараторе «Ротор» при температуре 40-45°C, с получением сливок и обрат. Соотношение объема

сливок и обезжиренного молока (обрата) 1:7.5. Сливочное масло получали методом сбивания из сливок, охлажденных в бытовом холодильнике до 3°C и последующим отделением жировой фазы от пахты промыванием ледяной водой.

Газохроматографические определения жирно-кислотного и триглицеридного состава аттестованными методиками осуществляли по ГОСТ 31663-2012, ГОСТ 32261-2013, ГОСТ 33490-2015, ГОСТ ISO 17678-2015 и ГОСТ Р 70238-2022.

Перекисное число определяли по ГОСТ ISO 27107-2016, анизидиновое – по ГОСТ Р 31756-2012, а кислотное число – по ГОСТ Р 50457-92.

Измерения методом ДСК проводились на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter. Предварительно проводилась калибровка Е-сенсора по температуре и энтальпии, снятых с калибровочных веществ (In, Bi, Zn). Образец массой 20-30 мг в расплавленном состоянии помещался в алюминиевый тигель вместимостью 30 мкл, накрывался алюминиевой крышкой и помещался в ячейку для образца на сенсоре прибора. ДСК измерения проводили по следующей температурной программе: 1) нагрев от комнатной температуры до 70°C для полного расплавления молочного жира и снятия тепловой предыстории; 2) изотермическая выдержка при 70°C для стабилизации прибора (с параллельной подачей жидкого азота в рубашку печи); 3) охлаждение со скоростью 5 К/мин до температуры -170°C для полной кристаллизации образца, а также исключения влияния инерционной составляющей работы печи прибора на кривую ДСК на интересующем нас диапазоне от -80°C и выше; 4) изотермическая выдержка для стабилизации прибора с подачей в рубашку печи жидкого азота; 5) нагрев до +60°C со скоростью 5 град/мин. Охлаждение системы проводили жидким азотом с помощью системы СС300. Измерения выполняли в ат-

мосфере особо чистого гелия (6 класс) (расход продувочного газа – 50 см³/мин, расход защитного газа – 10 см³/мин.

Обсуждение результатов

В табл. 1-3 представлены результаты ГЖХ по оценке жирнокислотного и триглицеридного состава образцов сливочного масла в начале и в конце хранения в течение 18 суток при комнатной температуре. Из табл. 1 следует, что состав основных ЖК во всех 3 образцах практически не меняется (содержание основных ЖК или их соотношения не возрастают и не уменьшаются в пределах нормируемой погрешности определения) при хранении в течение 18 суток при комнатной температуре и соответствуют норме по ГОСТ 32261-2013, в тоже время обращает на себя внимание, что на 7 % возрастает количество так называемых «прочих» жирных кислот у двух образцов масла, что может говорить о том, что процесс окисления можно заметить при анализе состава ЖК. Нормируемые ГОСТ 32261-2013 соотношения ЖК в течение 18 суток для всех 3-х образцов также не претерпевают существенных изменений (табл.2).

В табл. 3 представлен состав фракций триацилглицеринов CN, где N – сумма атомов С в ацильных фрагментах ТАГ образцов молочного жира. Фракции CN, определяемые методом ГЖХ, не учитывает строение ТАГ, а в табл. 4 дано вероятное распределение ацильных остатков во фракциях ТАГ. Как видно из ГЖХ-хроматограммы (рис.1) и данных табл. 3, вероятное распределение ТАГ по фракциям (табл. 4) хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Остатки ненасыщенных кислот (С18:1, С18:2, С18:3), судя по хроматограммам (рис.1) и вероятному распределению ацилов по фракциям (табл. 4), скорее всего, сосредоточены в ТАГ С36-С40, С46-С50. Именно они подвержены мягкому окислению кислородом воздуха с образованием на начальном стадиях гидропероксидных



Таблица 1. Жирнокислотный состав образцов сливочного масла (% отн.) при хранении 0 и 18 суток
Table 1. Fatty acid composition of butter samples (% rel.) during storage for 0 and 18 days

Жирная кислота	Норма по ГОСТ 32261- 2013	1-е сутки			18-е сутки		
		1	2	3	1	2	3
Масляная (C4:0)	2.4-4.2	3.03	3.09	3.17	3.05	3.05	3.21
Капроновая (C6:0)	1.5-3.0	2.19	2.14	2.47	2.19	2.09	2.46
Каприловая (C8:0)	1.0-2.0	1.10	1.08	1.25	1.09	1.06	1.24
Каприновая (C10:0)	2.0-3.8	2.43	2.31	2.76	2.38	2.28	2.71
Деценная (C10:1)	0.2-0.4	0.30	0.24	0.32	0.29	0.23	0.32
Лауриновая (C12:0)	2.0-4.4	3.29	3.27	3.71	3.31	3.24	3.66
Миристиновая (C14:0)	8.0-13.0	10.99	9.75	10.91	10.91	9.63	10.71
Миристолеиновая (C14:1)	0.6-1.5	1.17	0.75	1.04	1.17	0.74	1.02
Пальмитиновая (C16:0)	21.0-33.0	34.79	32.14	35.29	34.35	31.93	34.71
Пальмитолеиновая (C16:1)	1.5-2.4	2.01	1.94	1.72	2.00	1.95	1.71
Стеариновая (C18:0)	8.0-13.5	8.54	9.49	10.44	8.74	9.62	10.48
Олеиновая (C18:1)	20.0-32.0	22.28	25.87	19.27	22.24	26.09	19.35
Линолевая (C18:2)	2.2-5.5	2.50	2.36	2.05	2.52	2.43	2.15
Линоленовая (C18:3)	До 1.5	0.38	0.38	0.31	0.41	0.45	0.46
Арахидовая (C20:0)	До 0.3	0.14	0.16	0.16	0.14	0.16	0.20
Бегеновая (C22:0)	До 0.1	0.010	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002
Прочие жирные кислоты	4.0-6.5	4.85	5.04	5.12	5.21	5.03	5.61

Примечание: неопределенность $\pm 3.0\%$ отн. Образцы сливочного масла: 1 – голштинская порода, 2 – монбельярдская порода, 3 – джерсейская порода.

Таблица 2. Соотношения концентраций жирных кислот сливочных масел
Table 2. Ratios of fatty acid concentrations in butter

Соотношение ЖК	Норма по ГОСТ 32261- 2013	1-е сутки			18-е сутки		
		1	2	3	1	2	3
C16:0/C12:0	5.8-14.5	10.6	9.8	9.5	10.4	9.9	9.5
C18:0/C12:0	1.9-5.9	2.6	2.9	2.8	2.6	3.0	2.9
C18:1/C14:0	1.6-3.6	2.0	2.7	1.8	2.0	2.7	1.8
C18:2/C14:0	0.1-0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2
$\Sigma(C18:1+C18:2)$ $\Sigma(C12:0+C14:0+C16:0+C18:0)$	0.4-0.7	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4

Таблица 3. Триглицеридный состав молочного жира, масс.%.
Table 3. Triglyceride composition of milk fat, mass%.

Фракция ТАГ, CN	Норма по ГОСТ 32261-2013	1-е сутки			18-е сутки		
		1	2	3	1	2	3
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
C24	0.15-0.39	0.33	0.29	0.33	0.41	0.16	0.25
C26	0.51-1.05	0.87	0.91	0.88	0.86	0.72	0.72
C28	0.76-1.19	0.80	0.86	0.85	0.77	0.79	0.82
C30	1.27-1.78	1.25	1.33	1.34	1.23	1.25	1.31
C32	2.54-3.34	2.23	2.47	2.44	2.33	2.51	2.55
C34	4.01-8.02	4.85	5.00	5.13	5.01	5.12	5.13
C36	9.08-14.01	10.61	10.81	11.81	10.68	10.95	11.51
C38	11.04-15.09	10.71	11.38	12.01	10.76	11.53	11.79

1	2	3	4	5	6	7	8
C40	9.02-13.01	8.33	8.82	9.39	8.41	8.95	9.26
C42	6.57-7.57	6.62	6.32	7.63	6.67	6.43	7.51
C44	4.52-7.04	8.09	7.13	8.61	8.1	7.31	8.63
C46	5.01-6.59	8.98	7.44	8.4	8.95	7.70	8.80
C48	6.51-10.04	12.63	10.73	10.8	12.49	10.89	11.33
C50	8.06-12.08	13.31	13.22	11.56	13.08	13.35	11.82
C52	7.08-11.02	8.70	10.74	7.46	8.53	9.76	7.30
C54	2.01-4.07	1.68	2.54	1.35	1.67	2.56	1.27

Примечание: неопределенность $\pm 3.0\%$ отн. Образцы сливочного масла: 1 – голштинская порода, 2 – монбельярдская порода, 3 – джерсейская порода.

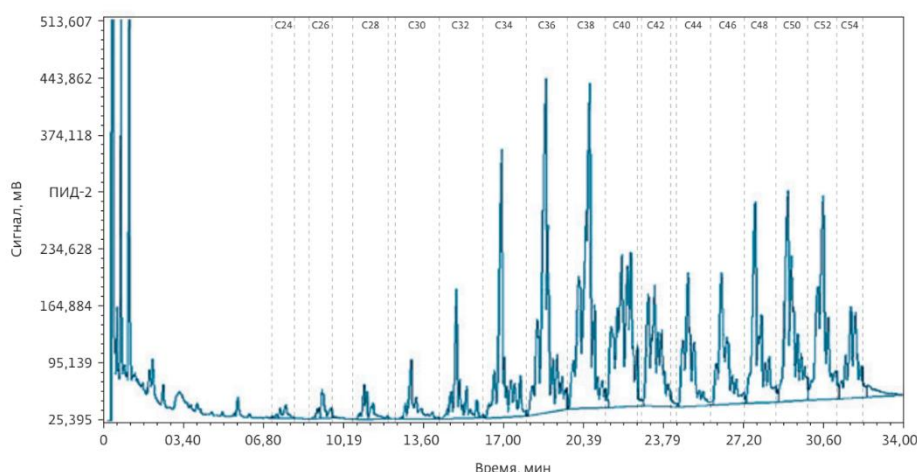


Рис. 1. Типичная ГЖХ-хроматограмма ТАГ молочного жира

Fig. 1. Typical GLC chromatogram of milk fat TAG

Таблица 4. Наиболее вероятные комбинации состава жирных кислот во фракциях ТАГ

Table 4. The most probable combinations of fatty acid composition in TAG fractions

Фракции ТАГ															
C24	C26	C28	C30	C32	C34	C36	C38	C40	C42	C44	C46	C48	C50	C52	C54
C10	C10	C10	C10	C10	C10	C18	C16	C16	C14	C16	C16	C18	C18	C18	C18
C10	C8	C10	C10	C10	C12	C12	C18	C18	C14	C16	C16	C18	C18	C18	C18
C4	C8	C8	C10	C12	C12	C6	C4	C8	C14	C12	C14	C12	C14	C16	C18
C8	C10	C10	C10	C12	C16	C16	C18	C14	C16	C18	C18	C18	C18	C18	C20
C8	C10	C12	C12	C10	C12	C10	C10	C14	C18	C16	C16	C16	C18	C20	C18
C8	C6	C6	C8	C10	C6	C10	C10	C12	C8	C10	C12	C14	C14	C14	C16
				C10	C16	C18	C18	C16	C16	C18	C18	C18	C18		
				C14	C10	C14	C12	C12	C16	C14	C14	C16	C18		
				C8	C8	C4	C8	C22	C10	C12	C14	C14			
								C16	C16	C16	C16				
								C14	C12	C10	C4	C16	C18		
								C18	C18						
						C18	C8					C14	C20		
						C10	C12					C18	C14		
						C18	C18								
						C12	C14								
						C6	C6								

производных, затем диольных групп по месту нахождения двойной связи, которые впоследствии рвутся с образованием альдегидных групп, образующих в свою очередь карбоксильные группы. Остатки

ненасыщенных кислот (C18:1, C18:2, C18:3), судя по хроматограммам (рис.1) и вероятному распределению ацилов по фракциям (табл. 4), скорее всего, сосредоточены в ТАГ C36-C40, C46-C50.

Именно они подвержены мягкому окислению кислородом воздуха с образованием на начальных стадиях гидропероксидных производных, затем диольных групп по месту нахождения двойной связи, которые впоследствии рвутся с образованием альдегидных групп, образующих в свою очередь карбоксильные группы. Альдегидные группы также могут вступать в различные реакции конденсации. Наряду с диольными фрагментами возможно образование оксирановых циклов [6]. Полиненасыщенные ацилы окисляются легче мононенасыщенных. Можно предположить, что именно в этих фракциях ТАГ должны быть максимальные изменения. В тоже время за 18 суток фракционный состав образцов молочного жира, как и ЖК, изменился несущественно, особенно для голштинской породы, состав ТАГ джерсейской породы оказался наиболее подвержен изменениям при хранении.

У гидропероксидных, диольных и оксирановых производных ТАГ углеродный состав (число CN) не изменяется, но они могут элюировать медленнее ТАГ с ненасыщенными связями за счет увеличения кислородсодержащих функциональных групп, образующихся при мягком окислении.

При разрыве двойных связей с образованием короткоцепочных карбоновых кислот можно ожидать увеличение масляной и других низших кислот, которые могут вступать в реакцию переэтерификации, вызывая рост содержания ТАГ с меньшим числом CN. В тоже время окисленные ТАГ со свободной карбоксильной группой в ацильном фрагменте, имея меньшее число CN, могут в тоже время элюироваться медленнее за счет «якорного» эффекта группы -COOH.

Анализ изменения состава ТАГ по хроматографическим данным (табл. 3) показывает, что на 18 сутки количество минорной фракции C24 в сливочном масле коров голштинской породы увеличивается на 20%, а монбельярдской и

джерсейской – на 25-55 % падает, что явно выше декларируемой ГОСТ погрешности определения $\pm 3\%$, аналогично в этих образцах на 8-25% уменьшается содержание фракции C26. При этом примерно на 5% возрастает доля фракций C46-C48 и на 5-9% уменьшается доля C52-C54. Содержание этих фракций в масле голштинской породы остается в пределах точности измерений примерно одинаковой.

Напрашивается вывод, что газохроматографическими гостированными методами определения ЖК и ТАГ заметить окисление сливочного масла можно, если есть данные для свежеприготовленного образца. Одновременно можно сделать вывод, что химический состав молочного жира коров разных пород различается в пределах установленных усредненных диапазонов, различия обусловлены генотипическими (порода) и фенотипическими факторами (условия содержания и питания) [7,8]. Эти различия отражаются в том числе на ходе окислительных процессов.

В работах [9,10] показана взаимосвязь между содержанием ЖК и ТАГ в молочном жире и его теплофизическими свойствами. Метод ДСК дополняет хроматографическую информацию об особенностях свойств молочного жира разных пород коров. Рассмотрим возможности этого метода в контроле процессов окисления.

Результаты исследования методом ДСК изменения процессов плавления молочного жира, полученного из исследуемых образцов сливочных масел при хранении до 18 суток представлены на рис. 2-4. Характеристические пики и экстремумы кривой ДСК исследуемых породы коров представлены в табл. 5.

Анализ данных ДСК показывает, что температуры, при которых проявляются экстремумы термических эффектов молочного жира разных пород, близки друг другу, но имеются некоторые особенности, и в значениях температуры эффекта, и в динамике их изменения (табл. 5 и 6).

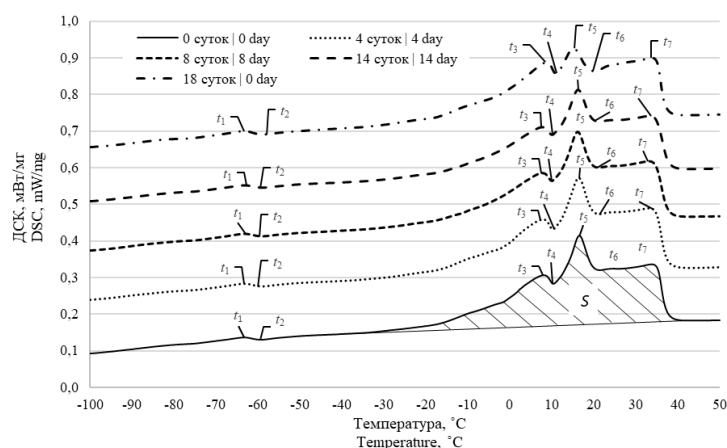


Рис. 2. ДСК плавления молочного жира голштинской породы коров при хранении
Fig. 2. Melting range of milk fat from Holstein cows during storage

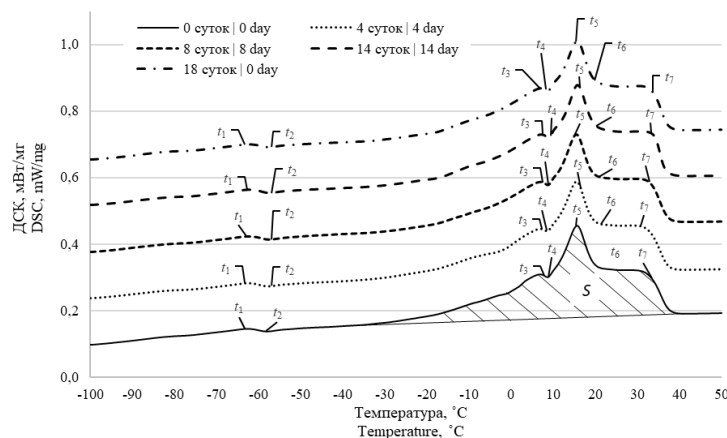


Рис. 3. ДСК плавления молочного жира монбельярдской породы коров при хранении
Fig.3. DSC melting of milk fat of the Montbéliard breed of cows during storage

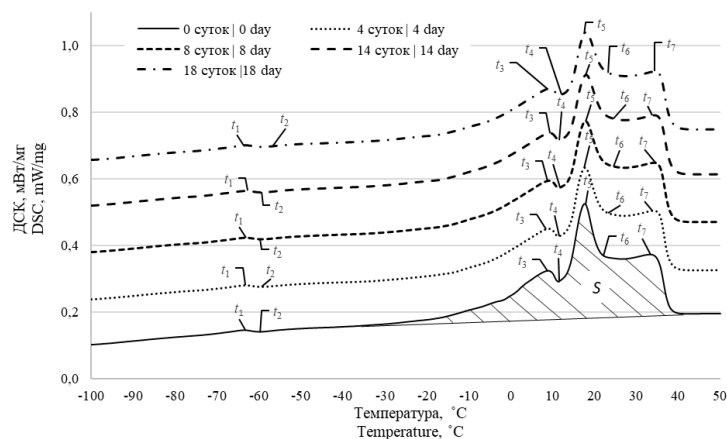


Рис. 4. ДСК плавления молочного жира джерсейской породы коров при хранении
Fig. 4. Melting range of milk fat of Jersey cow breed during storage

Диапазон температур плавления основных фракций молочного жира составляет от -40 до 37°C. ТАГ с более высокой температурой плавления растворяются в расплавленных фракциях с более низкой

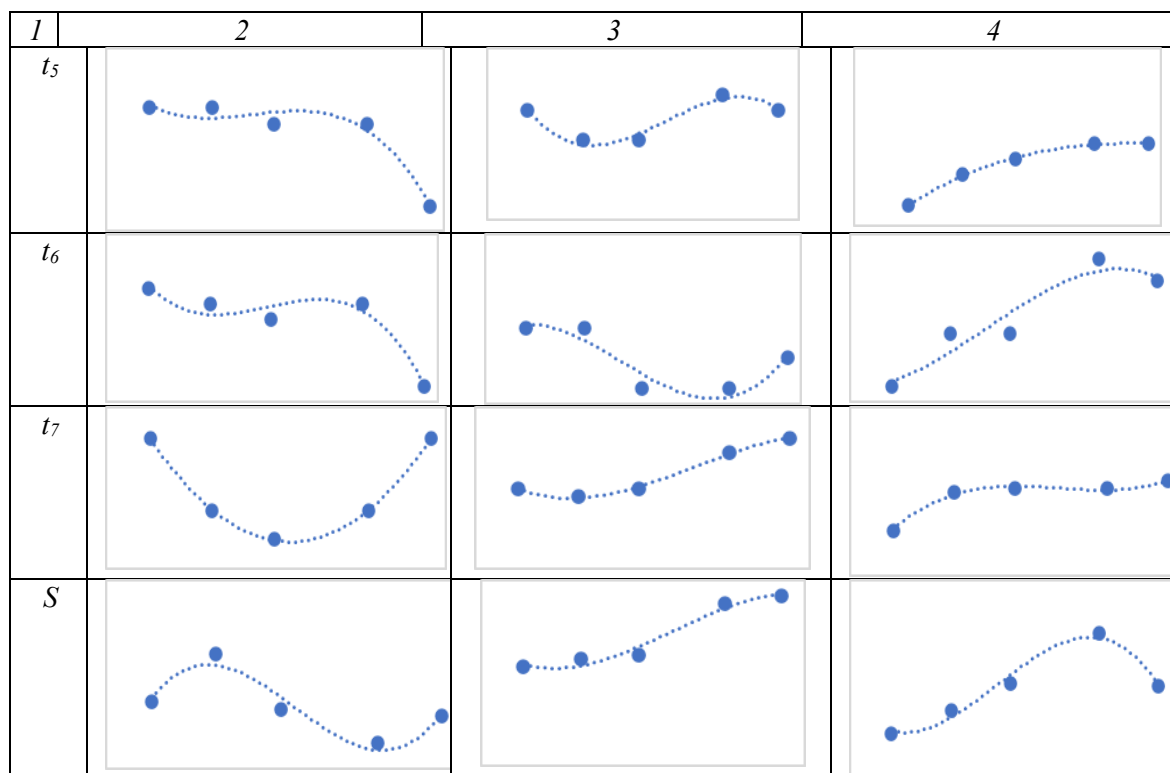
температурой плавления. Пики и впадины, обусловленные эндо- или экзоэффектами полиморфных переходов фиксируются при разных температурах, с разной интенсивностью.

Таблица 5. Характеристические термические эффекты на термограммах ДСК плавления молочного жира различных пород коров при хранении от 0 до 18 суток при t комнатной
Table 5. Characteristic thermal effects on thermograms of DSC melting of milk fat of various breeds of cows during storage from 0 to 18 days at room temperature

Порода	Кол-во суток хранения	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	Площадь, Дж/г
Голштинская	0	-63.4	-59.3	8.0	10.4	16.5	21.5	33.9	71,00
	4	-63.2	-59.1	7.9	10.3	16.5	21.3	33.4	75,14
	8	-63.2	-59.0	7.8	10.0	16.3	21.1	33.2	70,27
	14	-63.3	-58.8	7.8	10.1	16.3	21.3	33.4	67,34
	18	-63.2	-58.7	8.9	11.0	15.3	20.2	33.9	69,74
Монбельярдская	0	-62.4	-58.1	7.0	8.6	15.7	23.5	34.1	69,84
	4	-62.4	-57.9	6.9	8.6	15.5	23.5	34.0	70,32
	8	-62.3	-57.4	7.1	8.7	15.5	23.1	34.1	70,50
	14	-62.3	-57.4	7.3	8.9	15.8	23.1	34.6	73,60
	18	-62.3	-57.6	7.2	8.7	15.7	23.3	34.8	74,07
Джерсейская	0	-63.4	-60.1	8.9	11.4	17.6	24.2	33.2	77,52
	4	-63.3	-59.5	9.3	11.5	17.8	24.9	34.2	78,29
	8	-63.3	-59.5	9.3	11.5	17.9	24.9	34.3	79,20
	14	-63.2	-59.5	9.4	11.6	18.0	25.9	34.3	80,90
	18	-63.1	-59.1	9.3	11.6	18.0	25.6	34.5	79,12
Тип ТАГ		UUU	UUU	USS	SSS	SSS	SSS	SSS	

Таблица 6. Матрица трендов изменения характеристичных температур на кривых ДСК
Table 6. Matrix of characteristic temperature change patterns on DSC curves

t_i	Голштинская порода	Монбельярдская порода	Джерсейская порода
1	2	3	4
t_1			
t_2			
t_3			
t_4			



Полиморфное поведение молочного жира усложняет интерпретацию термограмм, полученных для молочного жира. Вместе с тем, триглицеридный состав молочного жира, состоящий из триненасыщенных (UUU), мононенасыщенных, диненасыщенных (SUU), диенасыщенных, мононенасыщенных (SSU) и триненасыщенных (SSS) ТАГ формирует определенную последовательность теплофизических эффектов на термограммах ДСК. ТАГ типа UUU, UUS плавятся при отрицательных температурах, USS и SSS – при положительных. Максимумы при $t_i \leq -36$ относят [9] к фракциям триненасыщенных триацилглицеринов (UUU), имеющих самые низкие $T_{пл}$. Максимумы при $t_i \geq -28.5$ до ≈ -1.5 формируются смесью фракций триненасыщенных (UUU) и диненасыщенных, мононенасыщенных триацилглицеринов (UUU, UUS). Максимумы при t_i от -1.5 до 9.0 образуются при плавлении фракций мононенасыщенных триацилглицеринов (преимущественно USS и короткоцепочечных SSS), $t_i \geq 9$ образуют SSS. В молочном жире преобладают USS и SSS. В соответствии с этими

наблюдениями в табл. 5 тепловые эффекты отнесены к той или иной фракции ТАГ с разной степенью насыщенности. В отличие от ГОСТ 32261-2013, учитывающий только число атомов С в ацилах, термограммы ДСК позволяют учесть степень ненасыщенности. Следует отметить, что степень ненасыщенности должна сказываться и на временах удерживания, известно, что ненасыщенные ЖК элюируются быстрее в условиях хроматографирования по ГОСТ 32261-2013.

Видна некая согласованность теплофизических свойств и хроматографических данных. При нагревании вначале плавятся ТАГ с короткоцепочечными и ненасыщенными остатками жирных кислот, в конце – ТАГ с насыщенными, содержащими преимущественно остатки пальмитиновой и стеариновой кислоты. В условиях ГЖХ наиболее летучими также являются ТАГ с ненасыщенными и короткими остатками жирных кислот, ТАГ типа SSS (C50-C54) удерживаются в колонке максимально долго. Но из-за большой вариабельности состава ТАГ с

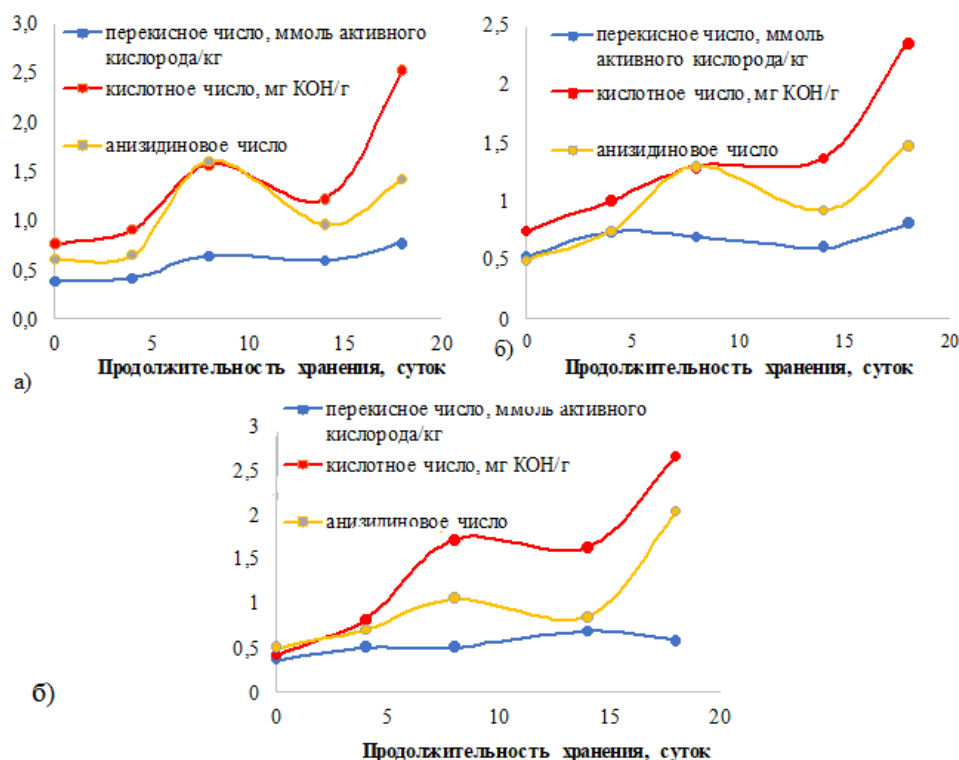


Рис. 5. Диаграммы изменения показателей перекисных, кислотных и анизидиновых чисел при хранении сливочного масла: а) голштинской; б) монбельярдской; в) джерсейской пород

Fig. 5. Diagrams of changes in peroxide, acid, and anisidine numbers during butter storage: а) Holstein; б) Montbel Yard; в) Jersey breeds

одинаковыми углеродными числами CN, из-за полиморфизма точная интерпретация термограмм и хроматограмм молочного жира затруднена.

Глядя на тренды смещения t_i (табл. 6.) можно сделать вывод, что степень ненасыщенности по мере окисления суммы ТАГ уменьшается из-за образования кислородсодержащих функциональных групп. Поскольку механизм окисления радикальный и последовательно-параллельный, одновременно идет несколько процессов: от образования гидропероксидов до диольных групп и оксирановых циклов с разрывом π -связей ненасыщенных остатков ацилов, затем эти связи рвутся с образованием альдегидных групп, а альдегиды окисляются до карбоновых групп или конденсируются, радикалы частично рекомбинируют, или диспропорционируют. Это приводит к сложной динамике брутто-процесса, которая

наблюдается на термограммах плавления. Аналогичная картина наблюдается при определении перекисного, анизидинового и кислотного чисел (рис.5).

Жировая фаза сливочного масла, согласно данным ГЖХ, ДСК и химического анализа, показала относительно более высокую хранимостпособность для голштинской породы и наименьшую для джерсейской породы, но эти различия не носят критического характера.

Заключение

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.

Список литературы/References

1. Vyshemirskij F.A. Hranimosposobnost' slivochного masla russкого i klassicheskого metoda proizvodstva. *Syrodelie i maslodelie*. 2017; 4: 52-55. (In Russ.)
2. Makarova N.V., Voronina M.S. Issledovanie okislitel'noj stabil'nosti slivochного masla. *Syrodelie i maslodelie*. 2019; 5: 48-51. (In Russ.)
3. O'Brajen R.D. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye / per. s angl. 2-go izd. SPb.: ID «Professiya». 2007. 752 p. (In Russ.)
4. Rudakov O.B., Korol'kova N.V., Polyanskij K.K., Rudakova L.V., Kotik O.A. Tekhnicheskij kontrol' v tekhnologii zhirov i zhiroza-menitelej. SPb: Lan'. 2024. – 576 p. (In Russ.)
5. Rudakov O.B., Lesnikova E.P., Polyanskij K.K., Semenova I.N. Tovarnyj menedzhment. ekspertiza i ocenka kachestva zhirovyyh tovarov. SPb: Lan'. 2020. 304 p. (In Russ.)
6. Shikhaliyev Kh., Stolpovskaya N.V., Krysin M.Yu. Production and Emulsifying Effect of Esters on The Basis of Polyglycerol and

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.

Epoxidized Derivatives of Sunflower and Soybean Oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2018; 95: 1561-1574. <https://doi.org/10.1002/aocs.12154>

7. Saranov I.A., Rudakov O.B., Polyanskij K.K. Zhirno-kislotnyj sostav molochного zhiра korov raznyh porod. *Pererabotka moloka*. 2024; 5(295): 66-69. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2024-5-66-69>

8. Rudakov O.B., Saranov I.A., Rudakov Ya.O. Trigliceridy korov'ego molochного zhiра. *Pererabotka moloka*. 2024; 10(300): 65-67. (In Russ.)

9. Saranov I.A., Rudakov Ya.O., Rudakov O.B. Metody GZhH, DSK i IK-spektroskopii v izuchenii korov'ego molochного zhiра. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2024; 24(3): 335-352. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12236> (In Russ.)

10. Saranov I.A., Rudakov O.B., Rudakov Ya.O. Differencial'naya skaniruyushchaya kalorimetriya v opredelenii kachestva produktsii na osnove molochного zhiра. *Laboratoriya i proizvodstvo*, 2024; 3-4: 102-111. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

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

В.Ф. Селеменев – д.х.н., профессор кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

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

А. В. Востроиллов – д.с.-х.н., зав. кафедрой частной зоотехнии Воронежского государственного аграрного университета им. Петра I, Воронеж, Россия

К.К. Полянский – д.т.н., профессор кафедры управления социально-экономическими системами и бизнес-процессами Воронежского филиала РЭУ им. Г.В. Плеханова, 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, Russian Federation

V.F. Selemeneyev – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Analytical Chemistry of Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

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

A.V. Vostroilov – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Private Zootechny of Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russian Federation

K.K. Polyansky – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Management of Socio-Economic Systems and Business Processes of the Voronezh Branch of Plekhanov Russian University of Economics, Voronezh, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 03.04.2025; одобрена после рецензирования 20.04.2025; принята к публикации 21.04.2025.

The article was submitted 03.04.2025; approved after reviewing 20.04.2025; accepted for publication 21.04.2025.