ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-115-123
УДК 547.915:637.1

Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Высокоэффективные методы модификации жиров для применения в составе молокосодержащих продуктов

Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

**e-mail: centol@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 03.05.2018
Дата принятия в печать: 20.09.2018

© Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова, 2018

Аннотация. Ввиду ограниченности ресурсов натуральных твердых жиров, применяемых в различных отраслях пищевой промышленности, широкое применение находят жиры, подвергшиеся химической и физической модификации. До недавнего времени гидрогенизация являлась основным методом модификации жиров, позволяющим получать продукты с высокой твердостью и достаточной сопротивляемостью к процессу окисления за счет содержания в них большого количества транс-изомеров. В условиях меняющегося законодательства в сфере производства пищевых продуктов производители должны искать новые решения при получении жиросодержащих продуктов с учетом требований по ограничению содержания транс-изомеров жирных кислот в их составе. В статье приведен обзор современных методов получения модифицированных жиров со сниженным содержанием трансизомеризованных жирных кислот. Рассмотрены теоретические и практические аспекты процесса многостадийного фракционирования тропических масел. Представлена характеристика продуктов, полученных при фракционировании пальмового масла, и даны рекомендации по применению различных фракций в производстве молокосодержащих продуктов. Проведен сравнительный анализ способов переэтерификации, применяемых в мировой практике для получения консистентных жиров. Разработаны рецептуры и проведена переэтерификация смесей фракционированных твердых и жидких растительных масел с получением продуктов, пригодных для использования в составе молокосодержащих продуктов. Показано, что регуляция соотношения сырьевых ингредиентов исходной смеси позволяет добиться требуемых технологических свойств конечного продукта, а также повысить биологическую эффективность за счет присутствия достаточного количества линолевой кислоты. Использование переэтерифицированных пластичных жиров в производстве молокосодержащей продукции позволяет уменьшить или полностью снизить расход гидрированных жиров и одновременно повысить пищевую ценность, стабильность при хранении и качественные показатели готового продукта по содержанию транс-изомеров.

Ключевые слова. Транс-изомеры жирных кислот, твердые триглицериды, плавление, переэтерификация, фракционирование

Для цитирования: Терещук, Л. В. Высокоэффективные методы модификации жиров для применения в составе молокосодержащих продуктов / Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 3. С. 115–123. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-115-123.

Original article

Available online at http://fptt.ru/

Highly Effective Methods of Modification of Fats in Milk-Containing Products

L.V. Tereshchuk, K.V. Starovoytova*

Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

**e-mail: centol@mail.ru*

Received: May 03, 2018
Accepted: Septembre 20, 2018

© L.V. Tereshchuk, K.V. Starovoytova, 2018

Abstract. The resources of natural solid fats that used in various branches of the food industry are limited. As a result, they are often substituted by chemically and physically modified fats. Until recently, hydrogenation was the main method of modification of fats. Modification allows for products with a high hardness and sufficient resilience to oxidation due to a large amount of trans-isomers. Since the legislation in the sphere of food industry is changing, producers have to look for new solutions for fat-containing products that would correspond with the new restrictions for trans-isomers of fatty acids. The present paper contains a review of modern methods of modified fats production with a reduced content of trans-isomers of fatty acids. It also features some theoretical and practical aspects of multistage fractionation of tropical oils. The authors describe the characteristic of the products of palm oil fractionation and give some recommendations on how various fractions can be applied in milk-containing products. The research included a comparative analysis of various ways of interesterification applied in world practice of jellied fats production. The experiment included interesterification of

mixes of the fractioned solid and liquid vegetable oils that can be used in milk-containing products. A specific ratio of raw ingredients in the initial makes it possible to achieve the required technological properties of the final product, as well as to increase its biological efficiency due to linoleic acid. Plastic fats reduce or completely cut the consumption of hydrogenated fats in milk-containing products while increasing their nutrition value, shelf life, and trans-isomeric indicators.

Keywords. Trans-isomers of fatty acids, solid triglycerides, melting, interesterification, fractionation

For citation: Tereshchuk L.V. and Starovoytova K.V. Highly Effective Methods of Modification of Fats in Milk-Containing Products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 3, pp.115–123. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-115-123.

Введение

В настоящее время основной тенденцией в области производства молокосодержащих продуктов, является использование высококачественных модифицированных жиров, содержание которых, с учетом особенностей рецептуры, может составлять до 50 % жировой основы. В соответствии с действующим законодательством, с 2018 года максимально возможное содержание транс-изомеров жирных кислот в модифицированных жирах и продуктах их содержащих может составлять не более 2 %. К этой группе продуктов относятся: переэтерифицированные, фракционированные, гидрогенизированные жиры; растительно-сливочные и растительно-жировые спреды; топленые растительно-сливочные и растительно-жировые смеси; заменители молочного жира и другие жиры специального назначения. Значительная часть этих продуктов может использоваться для непосредственного употребления в пищу, а также в качестве компонентов в производстве разнообразных пищевых продуктов, включая молокосодержащие. Жирные кислоты, входящие в состав природных растительных масел, имеют цис-конфигурацию. В результате воздействия таких технологических факторов, как высокие температуры и действие катализаторов (преимущественно, металлов переменной валентности), происходит модификация нативных свойств жиров и масел. В процессе гидрогенизации происходит накопление трансформ жирных кислот за счет изменения пространственной конфигурации как входящих в состав триглицеридов, так и свободных жирных кислот.

В технологической практике применяют различные методы снижения уровня транс-изомеров жирных кислот в продуктах питания [20].

Возможно изготовление продуктов на основе природных твердых жиров и масел, свободных от транс-изомеров, с высоким содержанием насыщенных жирных кислот [18]. Согласно нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах, потребление насыщенных (предельных) жирных кислот не должно составлять более 10 % от суммарной калорийности суточного рациона. В связи с этим при разработке новых рецептур молокосодержащих продуктов необходимо регулировать количество насыщенных жиров. При этом невозможно их полное исключение из рецептурного состава, так как они регулируют структурные свойства готового продукта.

До недавнего времени гидрогенизация являлась основным методом модификации жиров, позволяющим получать продукты с высокой твердостью и достаточной сопротивляемостью к процессу окисления за счет содержания в них большого количества транс-изомеров. Исследования, проводимые в течение многих лет, показали отрицательное воздействие трансизомеризованных жирных кислот на метаболические процессы, происходящие в организме человека. Неоднократно подтверждалось, что транс-изомеры жирных кислот повышают уровень ЛПНП-холестерина и понижают уровень ЛПВП-холестерина, что является причиной развития сердечнососудистых заболеваний [20].

Современными методами получения модифицированных жиров со сниженным содержанием трансизомеризованных жирных кислот и с требуемыми структурно-реологическими характеристиками, в том числе имеющих оптимальные профили кривых плавления, являются фракционирование и переэтерификация.

Разработка новых высококачественных модифицированных жиров, удовлетворяющих всем технологическим и медико-биологическим требованиям, предъявляемым к консистентным жирам для различных отраслей пищевой промышленности, является актуальным направлением изысканий в пищевой науке и технологии.

Целью проведения работы является получение модифицированных жиров со сниженным содержанием транс-изомеров жирных кислот, предназначенных для использования в составе молокосодержащих продуктов.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

– осуществить сравнительный анализ современных методов модифицикации жиров;
– изучить теоретические и практические аспекты процесса многостадийного фракционирования тропических масел;
– провести многостадийное фракционирование пальмового масла в лабораторных условиях с получением фракций, предназначенных для разного целевого использования;
– осуществить подбор компонентов и разработать рецептуру смесей фракционированных твердых и жидких растительных масел, предназначенных для переэтерификации;
– провести переэтерификацию разработанных жировых смесей.

Объекты и методы исследования

В процессе исследования были использованы следующие методы: сравнительный и аналитический

– при проведении сравнительного анализа способов модификации, применяемых в мировой практике для получения консистентных жиров.

При выборе и обосновании сырьевых компонентов для получения модифицированных жиров использовали общепринятые экспериментальные методы исследований.

Основные исследования проводились в ФГБОУ ВО «КемГУ» (Кемерово), а также на базе инновационной технологической лаборатории АО «Евразиан Фудс» (Караганда, Республика Казахстан).

В качестве объектов исследования выступали современные технологии получения модифицированных жиров, а также сырьевые компоненты для получения консистентных жиров специального назначения и полученные модифицированные жиры.

Отбор и подготовку проб проводили согласно требованиям ИСО 5555-91 «Масла и жиры животные и растительные. Отбор проб» и ИСО 661-89 «Масла и жиры животные и растительные. Подготовка испытуемой пробы».

Жирнокислотный состав масел и жиров определяли методом газожидкостной хроматографии. Определению жирнокислотного состава предшествует перевод жирных кислот в метиловые эфиры. Полученные хроматограммы метиловых эфиров жирных кислот идентифицировали и рассчитывали количественное содержание жирных кислот по площадям пиков в процентах, используя стандартную методику.

Определение содержания твердых триглицеридов в жирах проводили на спектрометре JBM PC/20 Series NMR Analyzer (Minispec) согласно ГОСТ Р 53158-2008 и ИСО 8292:2008. Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) определяет процентное содержание твердых триглицеридов в образце жира при определенной температуре. Метод ЯМР обеспечивает возможность оценки массовой доли твердых триглицеридов (ТТГ) с высокой точностью и воспроизводимостью получаемых данных и минимальной длительностью измерений.

Результаты и их обсуждение

Актуальные приемы фракционирования природных масел включают кристаллизацию с применением органических растворителей, таких как ацетон, гексан и прочие. Также возможно осуществление фракционирования при регулируемом охлаждении расплавленного жира или масла с отделением твердой (высокоплавкой) фазы от жидкой (низкоплавкой) фазы фильтрацией или центрифугированием [21].

Оптимизация условий фракционирования позволит обеспечить получение жировых основ для различных молокосодержащих продуктов, обладающих требуемыми технологическими свойствами.

В качестве компонента жировой фазы спредов может использоваться стеариновая фракция, полученная при фракционировании (вымораживании) масел стеариновой и пальмитиновой группы.

В производстве молокосодержащих продуктов и различных специальных жиров для молочной и других отраслей пищевой промышленности широко используют пальмовое масло и его фракции. Это позволяет получить новый ассортимент продукции, которая свободна от транс-изомеров жирных кислот [1].

Многостадийное фракционирование пальмового масла включает нагревание сырья до 70 °С с последующим медленным охлаждением до 20–22 °С, экспозицию в течение установленного времени и фильтрацию, в результате которой масло разделяется на жидкие и твердые фракции. Способы фракционирования и технологические режимы определяются целями использования получаемых фракций.

Продукты, получаемые при фракционировании пальмового масла, представлены на рисунке 1.

На первом этапе фракционирования пальмового масла выделяли олеиновую фракцию, которая является жидкой, и стеарин, который является твердой фракцией. Состав полученных продуктов и их показатели качества приведены в табл. 1

Исследование жирнокислотного состава (табл. 2) пальмового масла и его фракций показало [14], что преобладающими жирными кислотами в составе является пальмитиновая и олеиновая, что позволяет отнести его к пальмитолеиновой группе, наряду с маслом какао. На твердость и температуру плавления влияет не только жирнокислотный, но и глицеридный состав фракций.

Анализ данных показал, что в олеине превалирующими жирными кислотами являются пальмитиновая и олеиновая. При этом содержание линолевой кислоты составляет более 10 % от всех жирных кислот. Это позволяет использовать олеин в производстве спредов диетического назначения с пониженной температурой плавления и улучшенной пластичностью. Поэтому продукт отличается более низкой температурой плавления. Следует отметить, что в процессе фракционирования жирорастворимые витамины и провитамины обычно остаются в мягких или жидких фракциях.

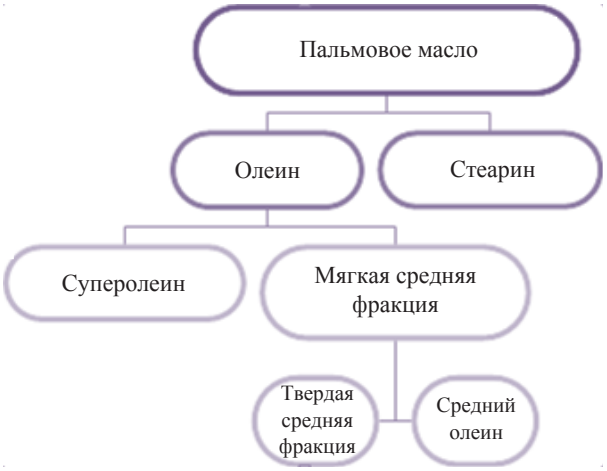

Рисунок 1 – Схема получения фракций пальмового масла

Figure 1 – Scheme for obtaining palm oil fractions

Таблица 1 – Фракционный состав пальмового масла

Table 1 – Fractional composition of palm oil

Показатель	Пальмовое масло	Пальмовый олеин	Пальмовый стеарин
Йодное число, гJ_2/100 г	52,1	56,9	32,4
Температура плавления, °С	36,9	24,6	56,7
Выход, %	100	80,4	19,6
Пальмитдиолеин (ПОО), % несимметричный триглицерид	22,5	25,4	11,5
Дипальмитолеин ПОП, % симметричный триглицерид	29,6	29,5	30,7
Твердая фаза, %:			
25 °С	19,3	0	70,9
30 °С	10,4	0	59,9
35 °С	5,2	0	50,2
40 °С	1,1	0	40,6

На следующей стадии фракционирования олеин подвергается повторной кристаллизации с целью получения дополнительных фракций, обладающих заданными свойствами. Самая жидкая фракция, получаемая на этом этапе, «суперолеин» отличается более высоким содержанием олеиновой кислоты (до 50 %) и содержит до 15 % линолевой кислоты. Вторая фракция, называемая «средняя мягкая фракция», характеризуется мягкой пластичной консистенцией и оптимальной температурой плавления. Её выход составляет 35 %. Среднюю фракцию можно использовать как рецептурный компонент жировых продуктов, а также можно подвергнуть дальнейшему фракционированию с получением более твердых фракций, в составе которых преобладают симметричные триглицериды, в частности диолеопальмитин.

Средние значения физико-химических показателей олеиновых и стеариновых фракций приведена в табл. 3

Таблица 2 – Жирные кислоты пальмового масла и его фракций

Table 2 – Palm oil fatty acids and its fractions

Жирные кислоты	Содержание, %		
	Пальмовое масло	Фракции	
		Олеин	Стеарин
Лауриновая $C_{12:0}$	0,21	0,13	0,42
Миристиновая $C_{14:0}$	1,33	1,51	1,22
Пальмитиновая $C_{16:0}$	42,64	38,12	55,25
Пальмитолеиновая $C_{16:1}$	0,44	0,51	0,19
Стеариновая $C_{18:0}$	4,97	4,05	5,68
Олеиновая $C_{18:1}$	39,52	43,96	30,19
Линолевая $C_{18:2}$	10,47	11,18	6,92
Линоленовая $C_{18:3}$	0,42	0,54	0,13

Для пальмового стеарина, который является высокоплавкой фракцией пальмового масла, характерно высокое содержание пальмитиновой и стеариновой жирных кислот. Температура плавления этой фракции варьируется в диапазоне 45–51 °С. Наилучшими технологическими свойствами при производстве молокосодержащих продуктов обладают мягкая средняя и твердая средняя фракции, так как имеют температуру плавления 30 и 34 °С.

Стеариновая фракция используется в составе жиров и заменителей специального назначения. Получение фракций, не содержащих транс-изомеров жирных кислот, с требуемыми технологическими характеристиками возможно также при переработке других тропических масел, такие как ши, масло из ядер манго, эллипе, борнео и других.

Альтернативой гидрогенизации и фракционированию является способ переэтерификации, который позволяет контролировать изменения глицеридного состава жиров и получать продукт с требуемыми характеристиками.

При переэтерификации смеси жиров происходит перераспределение остатков жирных кислот. За счет этого происходит изменение глицеридного состава жировой композиции [2]. Жир из нативного состояния переходит в модифицированное. Возможно проведение процесса переэтерификации по двум направлениям. Первое направление – внутримолекулярная переэтерификация, при которой происходит перераспределение радикалов внутри молекулы триглицерида. Второе направление – межмолекулярная переэтерификация, в процессе которой осуществляется обмен радикалами между молекулами триглицеридов.

Таблица 3 – Общая характеристика олеиновых и стеариновых фракций пальмового масла

Table 3 – General characteristics of oleic and stearin fractions of palm oil

Показатель	Фракции			
	суперо-леин	мягкая средняя фракция	средний олеин	твердая средняя фракция
Йодное число, г J_2/100 г	66,1	45,9	57,8	35,4
Температура плавления, °С	–	30,4	16,9	34,2
Выход, %	45	35	16	18
Диолеопаль-митин (ПОО), %	32,6	15,3	28,4	5,4
Дипаль-митолеин ПОП, %	15,9	47,1	26,8	65,2
Твердая фаза, %:				
25 °С	–	20,9	–	51,2
30 °С	–	1,5	–	16,9
35 °С	–	0	–	2,7
40 °С	–	–	–	0

В мировой практике для производства пластичных и консистентных жиров метод переэтерификации является наиболее прогрессивным, так как конечный продукт не содержит жирных кислот, имеющих трансконфигурацию. В модифицированной смеси, которая получается из, например, пальмового стеарина и жидких растительных масел, возможно варьирование технологических характеристик: температуры плавления и твердости без изменения жирнокислотного состава, что является преимуществом процесса переэтерификации (рис. 2).

Выделяют химическую и энзимную [19] переэтерификацию. В первом случае для того, чтобы вести процесс при температуре не выше 90 °С, применяют в качестве катализаторов алкоголяты и оксиды щелочных металлов (натрий, калий). Во втором случае используют фермент липазу и процесс проводят при температуре не выше 70 °С, так как более высокая температура вызывает дезактивацию фермента. К продуцентам липаз относят: Aspergillus flavus, Brevibacterium linens, Candida lypolytica, Mucor javanicus, Rhizopus arrhizus и некоторые другие [9, 12, 19]. Энзимная переэтерификация может проводиться с помощью двух видов ферментов: специфических и неспецифических. Специфические ферменты обеспечивают перераспределение жирных кислот в крайних положениях триглицеридов, то есть в положениях 1 и 3, тем самым позволяя получать жиры желаемого состава [3]. Неспецифические липазы участвуют в перераспределении жирных кислот во всех трех положениях триглицерида. Процесс неспецифичной переэтерификации аналогичен процессу химической переэтерификации, который также характеризуется ненаправленным воздействием на жирные кислоты триглицеридов.

Ферменты для проведения переэтерификации используют в иммобилизованном виде, то есть искусственно связанным с каким-либо нерастворимым носителем. В отличие от свободных ферментов иммобилизованные имеют ряд преимуществ: легкость выведения из реакционной среды, многократное использование, обеспечение непрерывности процесса [3, 9, 12].

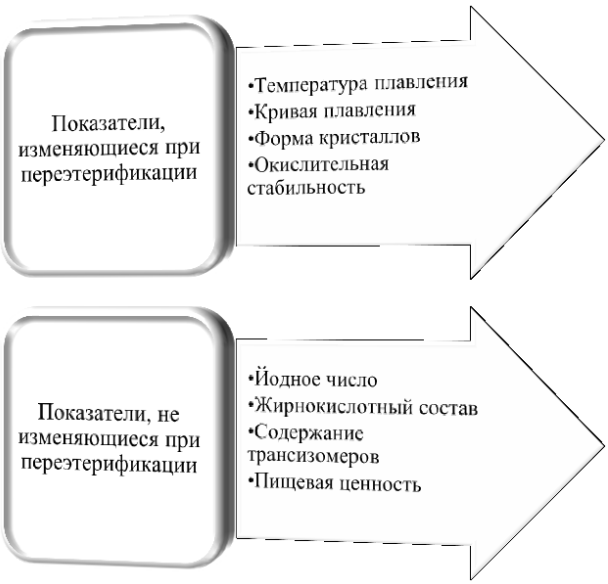

Рисунок 2 – Показатели качества жиров, контролируемые при переэтерификации

Figure 2 – Fat quality indicators controlled during transesterification

Иммобилизирующие материалы (носители) способны замедлять активность ферментов в несколько тысяч раз. Это объясняет возможность их многократного использования. Носители можно разделить на органические и неорганические. К первой группе относят целлюлозу, агарозу, хитин, кератин, коллаген, желатин, имеющих природное происхождение, а также стирол, полиуретановые полимеры, поливиниловый спирт, относящихся к веществам синтетического происхождения. Ко второй группе относят глину, стекло, графитовую сажу, керамику.

Согласно гигиеническим требованиям, к использованию пищевых добавок, как материалов и твердых носителей для иммобилизации ферментных препаратов, разрешено применять альгинат натрия, диатомит (диатомная земля), глутаровый альдегид, желатин, диэтиламиноэтилцеллюлоза, ионообменные смолы для пищевой промышленности, каррагинан, керамика, полиэтиленимин, стекло [5].

Достоинства химической переэтерификации:

– использование новых порций катализатора для каждой следующей партии масла, что позволяет получать продукт с постоянными физико-химическими характеристиками;

– доступность катализаторов.

Недостатки химической переэтерификации:

– использование некоторых катализаторов с высокой химической активностью, например, алкоголятов щелочных металлов, которые взаимодействуют со свободными жирными кислотами, гидроперекисями, что приводит к образованию побочных продуктов реакции;

– способность алкоголятов щелочных металлов самопроизвольно воспламеняться в условиях повышенной влажности, а при попадании на кожу вызывать ожоги;

– полученные жиры имеют в своем составе большее количество самой тугоплавкой фракции ТГЦ (тристеарина), по сравнению с продуктом, полученным энзимной переэтерификацией;

– требует проведения тщательной очистки готового продукта с целью выведения катализатора, что влечет дополнительные потери продукта.

Достоинства энзимной переэтерификации:

– позволяет сохранять содержание токоферолов, в то время как в процессе химической переэтерификации их количество снижается в несколько раз;

– получение жиров с необходимым распределением жирных кислот в молекуле триглицерида;

– экологически чистый и безопасный процесс.

Недостатки энзимной переэтерификации:

– относительно высокая стоимость ферментов;

– высокая чувствительность ферментов к pH среды, к свободным жирным кислотам, содержащимся

в маслах, а также к продуктам их окисления, что требует тщательной подготовки исходных жиров перед проведением переэтерификации.

Требования к качеству жиров специального назначения различны и зависят от области и условий их применения. Для создания рецептур жиров специального назначения на основе переэтерифицированных жиров необходимо учитывать следующие общие критерии [2]: определенный сбалансированный жирнокислотный состав (контроль количества полиненасыщенных жирных кислот) в зависимости от назначения жира [1, 15]; устойчивость к окислению через подбор эффективных антиокислителей; образование в процессе технологических операций β-кристаллической формы продукта (в случае производства твердого жира); количество транс-изомеров не более 2 % от содержания жира в продукте. Наряду с общими критериями по созданию жиров специального назначения существуют особые, относящиеся к каждому виду жиров отдельно.

Например, топленая смесь для кулинарных целей даже после неоднократного использования, должна обладать высокой термостабильностью. Это достигается ограничением в ее рецептурном составе непредельных жирных кислот, в частности линолевой и линоленовой. Рекомендуемое содержание их в готовом продукте не должно превышать 10 % от общего количества жирных кислот. Для повышения термической устойчивости жировых продуктов необходимо вносить в их рецептуру антиоксиданты [2, 13, 15]. При использовании переэтерифицированных жиров, полученных в щадящих температурных режимах (до 90 °С), внесение антиоксидантов в рецептуру требуется в небольших количествах, так как такой вид модификации жиров позволяет сохранять токоферолы, которые являются природными антиокислителями [2, 13]. Для того чтобы топленая смесь не разбрызгивалась в процессе жарки, нами предлагается вносить в ее рецептуру насыщенные моноглицериды (Е471) с низким йодным числом (2−3 I_2/100 г) и содержанием моноглицеридов не более 80 %.

Эмульгаторы этой группы не имеют выраженной эмульгирующей способности, но оказывают существенное влияние на кристаллическую структуру топленой смеси жиров, предотвращая разбрызгивание жидкого масла в процессе жарения. Для улучшения потребительских свойств нами рекомендуется вносить в рецептуру фритюрного жира натуральные ароматизаторы пряной группы. Таким образом, рецептура жиров специального назначения с минимальным содержанием транс-изомеров включает следующие компоненты: переэтерифицированный жир, топленое коровье масло, подсолнечное масло, эмульгатор (насыщенные моноглицериды), возможно использование ароматизатора.

Перспективным направлением в производстве молокосодержащих продуктов является получение

Таблица 4 – Характеристика полученных переэтерифицированных жиров

Table 4 – Properties of the transesterified fats

Соотношение стеарин/подсолнечное масло, %	ТТГ, %						
	5	10	20	30	35	40	Т.пл., °С
50 / 50	25,04	20,2	12,8	5,9	2,79	0,11	30
60/40	41,5	38,7	21,5	10,5	5,2	2,3	34
70 / 30	51,85	48,9	31,2	16,2	10,0	4,81	40
80 / 20	63,41	60,0	40,6	22,9	13,9	3,11	42,3

эквивалентов природных масел, имеющих близкий к ним жирнокислотный состав. Ферментная переэтерификация с использованием специфичной липазы дает возможность получения жиров с определенным содержанием триглицеридов POS, SOS и POP типа, обуславливающих необходимую твердость [4]. Также можно получать переэтерифицированные жиры в мягком и жидком виде за счет преобладания в их рецептурах жидких растительных масел, а не твердых жиров. Жир в таком виде удобен в использовании, так как легко дозируется и не расслаивается. Известно, что переэтерифицированные жиры благотворно влияют на высоту подъема теста и показывают результаты, превосходящие таковые при использовании сливочного масла. Это связано с тем, что тесто, в случае использования переэтерифицированных жиров, приобретает хорошую газоудерживающую способность и упругость [4]. Также для улучшения технологических свойств жиров в качестве эмульгатора используются различные пищевые фосфатидные концентраты (подсолнечный, соевый), моноглицериды дистиллированные. Из вышесказанного следует, что исследования по разработке жиров специального назначения с использованием переэтерифицированных жиров являются актуальными в настоящее время.

Нами проводятся исследования по конструированию рецептурного состава переэтерифицированных жиров, предназначенных для молокосодержащих продуктов специализированного использования, в том числе, растительно-сливочных топленых смесей для жарения и кулинарных целей.

В качестве рецептурных компонентов переэтерифицированной смеси выбраны: стеариновая фракция, полученная на первом этапе фракционирования пальмового масла и жидкое растительное масло (подсолнечное).

Процесс осуществлялся при температуре 80 °С, с внесением этилата натрия в качестве катализатора.

Соотношение компонентов рецептуры смеси для переэтерификации варьировалось. Различные соотношения стеарина и жидкого растительного масла позволили получить конечные продукты

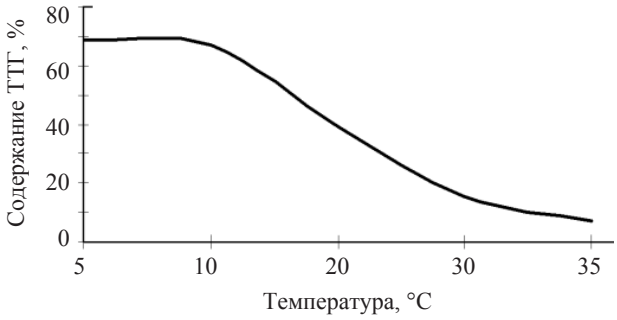

Рисунок 3 – Кривая плавления переэтерифицированного жира в диапазоне температур 5–35 °С

Figure 3 – Melting curve of interesterified fat at 5–35 °C

Таблица 5 – Температура плавления и содержание твердых триглицеридов в переэтерифицированном жире

Table 5 – The melting point and the content of solid triglycerides in the interesterified fat

Наименование образца	Т.пл., °С	Содержание ТТГ, % в диапазоне температур				
		5 °С	10 °С	20 °С	30 °С	35 °С
Переэтерифицированный жир (60 % пальмового стеарина: 40 % подсолнечного масла)	35,6	69	67	39	15,5	6,93

с разным содержанием твердой фазы и разными характеристиками плавления.

Каждый вариант рецептуры позволяет получить продукт для определенного целевого назначения. Жир, полученный при переэтерификации 60 % пальмового стеарина и 40 % подсолнечного масла, характеризуется оптимальными технологическими характеристиками: температурой плавления и содержанием твердых триглицеридов в диапазоне температур 20–30 °С и одновременно наилучшими пластическими свойствами. Характеристика показателей качества наилучшего с технологической точки зрения образца приведена на рисунке 3 и в таблицах 5, 6.

Переэтерификация позволяет получить разнообразный ассортимент жиров: жидких, полужидких, твердых. Следует обратить внимание, что при использовании ограниченного набора доступного сырья можно получить различные по свойствам продукты, регулируя соотношение компонентов исходной жировой смеси. Варьирование жидких и твердых ингредиентов переэтерифицированной смеси дало возможность получить определенное соотношение жирных кислот, представленное в таблице 6.

Таблица 6 – Жирнокислотный состав образца переэтерифицированного жира (60 % пальмового стеарина: 40 % подсолнечного масла)

Table 6 – The fatty acid composition of the sample of interesterified fat (60% palm stearin; 40% sunflower oil)

Жирные кислоты	Содержание, %
Насыщенные	37,09
в том числе:	
лауриновая $C_{12:0}$	0,12
миристиновая $C_{14:0}$	0,58
пальмитиновая $C_{16:0}$	30,27
стеариновая $C_{18:0}$	5,18
арахиновая $C_{20:0}$	0,37
бегеновая $C_{22:0}$	0,57
Мононенасыщенные	22,15
в том числе:	
пальмитолеиновая $C_{16:1}$	0,09
олеиновая $C_{18:1}$	22,05
гадолеиновая $C_{20:1}$	0,1
эруковая $C_{22:1}$	
Полиненасыщенные	40,66
в том числе:	
линолевая $C_{18:2}$	40,55
линоленовая $C_{18:3}$	0,11

Выводы

Проведен сравнительный анализ способов переэтерификации, применяемых в мировой практике для получения консистентных жиров. Разработаны рецептуры и проведена переэтерификация смесей фракционированных твердых и жидких растительных масел с получением продуктов, пригодных для использования в составе молокосодержащих продуктов.

Предлагаемые рецептуры переэтерифицированных жиров с регулируемым соотношением пальмового стеарина и подсолнечного масла отличаются сбалансированностью глицеридного состава, биологической эффективностью за счет присутствия достаточного количества линолевой кислоты. Использование переэтерифицированных пластичных жиров в производстве молокосодержащей продукции позволяет уменьшить или полностью снизить расход гидрированных жиров и одновременно повысить пищевую ценность, стабильность при хранении и качественные показатели готового продукта по содержанию трансизомеров.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству и сотрудникам АО «Евразиан Фудс» за оказанную поддержку при проведении исследований в производственных условиях.

Финансирование.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Список литературы

1. A new methodology capable of characterizing most volatile and less volatile minor edible oils components in a single chromatographic run without solvents or reagents. Detection of new components / J. Alberdi-Cedeño, M. L. Ibargoitia, G. Cristillo [et al.] // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 221. – P. 1135–1144. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.046.

2. Azizkhani, M. Effects of tocopherols on oxidative stability of margarine / M. Azizkhani, A. Kamkar, A. S. M. Nejad // Journal of the Chemical Society of Pakistan. – 2011. – Vol. 33, № 1. – P. 134–137.

3. Adhikari, P. Enzymatic and Chemical Interesterification of Rice Bran Oil, Sheaolein, and Palm Stearin and Comparative Study of Their Physicochemical Properties / P. Adhikari, P. Hu // Journal of Food Science. – 2012. – Vol. 77, № 12. – P. 1285–1292. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02977.x.

4. On the fractional crystallization of palm olein: Solid solutions and eutectic solidification / G. Calliauw, F. Fredrick, V. Gibon [et al.] // Food Research International. – 2010. – Vol. 43, № 4. – P. 927–981. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.01.002.

5. Da Costa Filho, P. A. Developing a rapid and sensitive method for determination of trans-fatty acids in edible oils using middle-infrared spectroscopy / P. A. da Costa Filho // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 158. – P. 1–7. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.084.

6. European food and nutrition action plan 2015-2020. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2014. – Available at: http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/european-food-and-nutrition-action-plan-20152020-2014. – Accessed: 01.04.2018.

7. Ganguly, R. The toxicity of dietary trans fat / R. Ganguly, G. N. Pierce // Food and Chemical Toxicology. – 2015. – Vol. 78. – P. 170–176. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.004.

8. Ilyasoglu, H. Production of human fat milk analogue containing α-linolenic acid by solvent-free enzymatic interesterification / H. Ilyasoglu // LWT – Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 54, № 1. – P. 179–185. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.036.

9. Lipases as Biocatalysts for the Synthesis of Structured Lipids / R. C. R. Jala, P. Hu, T. Yang [et al.] // Methods in Molecular Biology. – 2012. – Vol. 861. – P. 403–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-600-5_23.

10. Tropical vegetable fats and butters: properties and new alternatives: Oilseeds and fats / J. J. Salas, M. A. Bootello, E. Martínez-Force [et al.] // OCL – Oleagineux Corps Gras Lipides. – 2009. – Vol. 16, № 4. – P. 254–258. DOI: https://doi.org/10.1051/ocl.2009.0278.

11. Analysis of Trans Fat in Edible Oils with Cooking Process / J. Song, J. Park, J. Jung [et al.] // Toxicological Research. – 2015. – Vol. 31, № 3. – P. 307–312. DOI: https://doi.org/10.5487/TR.2015.31.3.307.

12. Рекомбинантные штаммы-продуценты термостабильной липазы из Thermomyces Lanuginosus. Биокаталитические процессы переэтерификации и этерификации компонентов растительных масел / Г. А. Коваленко, А. Б. Беклемишев, Л. В. Перминова [et al.] // Актуальная биотехнология. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 27.

13. Martin-Rubio, A. S. A thorough insight into the complex effect of gamma-tocopherol on the oxidation process of soybean oil by means of 1H Nuclear Magnetic Resonance. Comparison with alpha-tocopherol / A. S. Martin-Rubio, P. Sopelana, M. D. Guillén // Food Research International. – 2018. – Vol. 114. – P. 230–239. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.064.

14. Rapid FT-NIR analysis of edible oils for total SFA, MUFA, PUFA, and Trans FA with comparison to GC / M. M. Mossoba, H. Azizian, C. Tyburczy [et al.] // JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2013. – Vol. 90, № 6. – P. 757–770. DOI: https://doi.org/10.1007/s11746-013-2234-z.

15. Bazan, N. G. Docosanoids and elovanoids from omega-3 fatty acids are pro-homeostatic modulators of inflammatory responses, cell damage and neuroprotection / N. G. Bazan // Molecular Aspects of Medicine. – 2018. – Vol. 64. – P. 18–33. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.09.003.

16. Influence of roasting conditions on fatty acid composition and oxidative changes of cocoa butter extracted from cocoa bean of Forastero variety cultivated in Togo / D. Żyżelewicz, G. Budryn, W. Krysiak [et al.] // Food Research International. – 2014. – Vol. 63. – P. 328–343. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.053.

17. A quick method for routine analysis of C18 trans fatty acids in nonhydrogenated edible vegetable oils by gas chromatographymass spectrometry / M. Zhang, X. Yang, H. T. Zhao [et al.] // Food Control. – 2015. – Vol. 57. – P. 293–301. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.04.027.

18. Особенности использования твердых природных масел в производстве спредов / К. В. Старовойтова, М. А. Тарлюн, Л. В. Терещук [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 44, № 1. – С. 44–51. DOI: https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-1-44-51.

19. Ферментативная переэтерификация растительных масел в получении диетических жировых продуктов / С. А. Шеламова, Н. М. Дерканосова, О. А. Василенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 57, № 2. – С. 131–139. DOI: https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.131.

20. Stender, S. Tracing artificial trans fat in popular foods in Europe: a market basket investigation / S. Stender, A. Astrup, J. Dyerberg // BMJ Open. – 2014. – Vol. 4, № 5. DOI: https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-005218.

21. Оптимизация состава жировых композиций для спредов / Л. В. Терещук, А. С. Мамонтов, К. В. Краева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – Т. 35, № 4. – С. 63–71.

22. Workshop. Trans Fats. Brussels: European Union, 2014. – Available at: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/workshop/join/2014/518744/IPOL-ENVI_AT%282014%29518744_EN.pdf. – Accessed: 01.04.2018.

References

1. Alberdi-Cedeño J., Ibargoitia M.L., Cristillo G., Sopelana P., and Guillén M.D. A new methodology capable of characterizing most volatile and less volatile minor edible oils components in a single chromatographic run without solvents or reagents. Detection of new components. *Food Chemistry*, 2017, vol. 221, pp. 1135–1144. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.046.

2. Azizkhani M., Kamkar A., and Nejad A.S.M. Effects of tocopherols on oxidative stability of margarine. *Journal of* the *Chemical Society of Pakistan*, 2011, vol. 33, no. 1, pp. 134–137.

3. Adhikari P. and Hu P. Enzymatic and Chemical Interesterification of Rice Bran Oil, Sheaolein, and Palm Stearin and Comparative Study of Their Physicochemical Properties. *Journal of Food Science*, 2012, vol. 77, no. 12, pp. 1285–1292. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02977.x.

4. Calliauw G., Fredrick F., Gibon V., et al. On the fractional crystallization of palm olein: Solid solutions and eutectic solidification. *Food Research International*, 2010, vol. 43, no. 4, pp. 927–981. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.01.002.

5. Da Costa Filho P.A. Developing a rapid and sensitive method for determination of trans-fatty acids in edible oils using middle-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 2014, vol. 158, pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.084.

6. European food and nutrition action plan 2015–2020. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe Publ., 2014. Available at: http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/european-food-and-nutrition-action-plan-20152020-2014. (accessed 01 April 2018).

7. Ganguly R. and Pierce G.N. The toxicity of dietary trans fat. *Food and Chemical Toxicology*, 2015, vol. 78, pp. 170–176. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.004.

8. Ilyasoglu H. Production of human fat milk analogue containing α-linolenic acid by solvent-free enzymatic interesterification. *LWT – Food Science and Technology*, 2013, vol. 54, no. 1, pp. 179–185. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.036.

9. Jala R.C.R., Hu P., Yang T., et al. Lipases as Biocatalysts for the Synthesis of Structured Lipids. *Methods in Molecular Biology*, 2015, vol. 861, pp. 403–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-600-5_23.

10. Salas J.J., Bootello M.A., Martínez-Force E., and Garcés R. Tropical vegetable fats and butters: properties and new alternatives: Oilseeds and fats. *OCL – Oleagineux Corps Gras Lipides*, 2009, vol. 16, no. 4, pp. 254–258. DOI: https://doi.org/10.1051/ocl.2009.0278.

11. Song J., Park J., Jung J., et al. Analysis of Trans Fat in Edible Oils with Cooking Process. *Toxicological Research*, 2015, vol. 31, no. 3, pp. 307–312. DOI: https://doi.org/10.5487/TR.2015.31.3.307.

12. Kovalenko G.A., Beklemishev A.B., Perminova L.V., and Mamaev A.L. Rekombinantnye shtammy-produtsenty termostabil′noy lipazy iz Thermomyces Lanuginosus. Biokataliticheskie protsessy pereehterifikatsii i ehterifikatsii komponentov rastitel′nykh masel [Recombinant strains-producers of thermostable lipase from Thermomyces Lanuginosus. Biocatalytic processes of transesterification and esterification of components of vegetable oils]. *Aktual′naya biotekhnologiya* [Current biotechnology], 2017, vol. 21, no. 2, pp. 27. (In Russ.).

13. Martin-Rubio A.S., Sopelana P., and Guillén M.D. A thorough insight into the complex effect of gamma-tocopherol on the oxidation process of soybean oil by means of 1H Nuclear Magnetic Resonance. Comparison with alpha-tocopherol. *Food Research International*, 2018, vol. 114, pp. 230–239. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.064.

14. Mossoba M.M., Azizian H., Tyburczy C., et al. Rapid FT-NIR analysis of edible oils for total SFA, MUFA, PUFA, and Trans FA with comparison to GC. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2013, vol. 90, no. 6, pp. 757–770. DOI: https://doi.org/10.1007/s11746-013-2234-z.

15. Bazan N.G. Docosanoids and elovanoids from omega-3 fatty acids are pro-homeostatic modulators of inflammatory responses, cell damage and neuroprotection. *Molecular Aspects of Medicine*, 2018, vol. 64, pp. 18–33. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.09.003.

16. Żyżelewicz D., Budryn G., Krysiak W., et al. Influence of roasting conditions on fatty acid composition and oxidative changes of cocoa butter extracted from cocoa bean of Forastero variety cultivated in Togo. *Food Research International*, 2014, vol. 63, pp. 328–343. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.053.

17. Zhang M., Yang X., Zhao H.T., et al. A quick method for routine analysis of C18 trans fatty acids in nonhydrogenated edible vegetable oils by gas chromatographymass spectrometry. *Food Control*, 2015, vol. 57, pp. 293–301. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.04.027.

18. Starovoytova K.V., Tarlyun M.A., Tereshchuk L.V., and Mamontov A.S. Features of using of solid natural oils in production of spreads. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2017, vol. 44, no. 1, pp. 44–51. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-1-44-51.

19. Shelamova S.A., Derkanosova N.M., Vasilenko O.A., and Kashirina N.A. Enzymatic interesterification of vegetable oils in the production of dietetic fat products. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 2018, vol. 57, no. 2, pp. 131–139. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.131.

20. Stender S., Astrup A., and Dyerberg J. Tracing artificial trans fat in popular foods in Europe: a market basket investigation. *BMJ Open*, 2014, vol. 4, no. 5. DOI: https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-005218.

21. Tereshchuk L.V., Mamontov A.S., Kraeva K.V., and Subbotina M.A. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2014, vol. 35, no. 4, pp. 63–71. (In Russ.).

22. Workshop. Trans Fats. Brussels: European Union Publ., 2014. Available at: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/workshop/join/2014/518744/IPOL-ENVI_AT%282014%29518744_EN.pdf. (accessed 01 April 2018).

Терещук Любовь Васильевна
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: terechuk_l@mail.ru

Старовойтова Ксения Викторовна
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: centol@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4012-7570

Ljubov' V. Tereshchuk
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of Department of Technology of food from vegetable raw materials, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-51,
e-mail: terechuk_l@mail.ru

Ksenia V. Starovoytova
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of food from vegetable raw materials, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: centol@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4012-7570