

УДК 665.345.4

UDC 665.345.4

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
ЛЬНЯНЫХ МАСЕЛ ЗАДАННОГО ЖИРНО-  
КИСЛОТНОГО СОСТАВА ИЗ СМЕСИ  
СЕМЯН ЛЬНА РАЗНЫХ СОРТОВ**

**THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF  
OBTAINING FLAXSEED OILS WITH  
SPECIFIED FATTY ACID COMPOSITION  
FROM THE MIXTURE OF FLAX SEEDS OF  
DIFFERENT VARIETIES**

Мустафаев Сергей Кязимович  
д.т.н., профессор

Mustafayev Sergey Kyazimovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Заруба Анна Сергеевна

Zaruba Anna Sergeevna

Косачев Вячеслав Степанович  
д.т.н., профессор

Kosachev Vyacheslav Stepanovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Калиенко Екатерина Александровна

Kalienko Ekaterina Alexandrovna

Андржайчак Анастасия Александровна  
*Кубанский государственный технологический  
университет, Краснодар, Россия*

Andrgaychak Anastasia Alexandrovna  
*Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia*

Ефименко Сергей Григорьевич  
к.б.н.  
*Всероссийский научно-исследовательский  
институт масличных культур, Краснодар, Россия*

Efimenko Sergey Grigorievich  
Cand.Biol.Sci.  
*All-Russian Research Institute of Oil Crops,  
Krasnodar, Russia*

Разработаны новая технология получения льняных масел заданного жирно-кислотного состава путем смешивания льняных семян разных сортов и методика расчета соответствующей смеси. Проведено сравнение показателей качества масел заданного жирно-кислотного состава, полученных путем смешивания семян льна разных сортов и купажирования готовых льняных масел

In the article we have developed a new technology for producing linseed oils by mixing linseed seeds of different varieties and method of calculation of the corresponding mixture. It also shows a comparison of indicators of the quality of the oils of specified fatty acid composition obtained by blending flax seed varieties and blending finished with linseed oils

Ключевые слова: СЕМЕНА ЛЬНА, ЛЬНЯНОЕ МАСЛО, МЕТОДИКА РАСЧЁТА, ЖИРНО-КИСЛОТНЫЙ СОСТАВ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Keywords: FLAX SEEDS, FLAXSEED OIL, CALCULATION METHOD, FATTY ACID COMPOSITION, QUALITY METRICS

В соответствии с современными представлениями о правильном питании соотношение жирных кислот в растительных маслах должно быть сбалансированным. Определяющее значение при использовании растительного масла в диетическом питании имеет соотношение в их составе полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 [1].

Важная роль полиненасыщенных жирных кислот в организме человека обусловлена их участием в образовании мембран клеток и клеточных органелл. При этом жирные кислоты семейств  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 не

синтезируются ни в организме человека, ни в организме млекопитающих и должны поступать с пищей. К семейству  $\omega$ -6 относится линолевая кислота, содержащаяся практически во всех растительных маслах. К семейству  $\omega$ -3 относится  $\alpha$ -линоленовая кислота, в больших количествах присутствующая только в льняном масле. Из этих жирных кислот в организме человека далее могут синтезироваться полиненасыщенные жирные кислоты с 20 и 22 атомами углерода. Линолевая кислота метаболизируется в арахидоновую, а  $\alpha$ -линоленовая кислота в эйкозопентаеновую и докозогексаеновую [2].

В соответствии с рекомендациями Института питания РАМН соотношение полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3 для здорового питания должно составлять (5-10):1, а при некоторых заболеваниях и для лечебного питания (3-5):1 [3]. Известно также, что оптимальное соотношение  $\omega$ -6: $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот растительных масел, применяемых в качестве ингредиентов косметических средств, составляет от 4:1 до 1:1 [4]. Таким образом, технология получения масел с заданным жирно-кислотным составом может быть востребованной потребителями из различных отраслей, а исследования в этом направлении являются актуальными.

В триацилглицеролах масла, содержащегося в традиционных сортах семян льна (линум-типа), основной полиненасыщенной жирной кислотой, доля которой может достигать 64-66%, является  $\alpha$ -линоленовая кислота [5]. Далее в порядке убывания по содержанию в жирно-кислотном составе триацилглицеролов идут мононенасыщенная олеиновая  $\omega$ -9 кислота (14,3-22,4%) и полиненасыщенная  $\omega$ -6 линолевая кислота (12,4-13,4%) [5]. Следовательно, в триацилглицеролах льняного масла из семян традиционных сортов льна содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты существенно превышает рекомендации института питания РАМН.

В масле низколиноленовых сортов льна доля  $\alpha$ -линоленовой кислоты составляет 2-6 %. Далее в порядке возрастания по содержанию в жирно-кислотном составе триацилглицеролов идут мононенасыщенная олеиновая  $\omega$ -9 кислота (16,0-23,5%) и полиненасыщенная  $\omega$ -6 линолевая кислота (62,6-66,9%) [5]. Соотношение полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3 в масле низколиноленовых сортов льна более приближено к рекомендуемому для здорового питания.

Однако ни одно из этих отдельно взятых масел не удовлетворяет рекомендациям Института питания РАМН и требованиям к ингредиентам косметических продуктов по соотношению полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3.

В настоящее время для создания жировых продуктов сбалансированным по соотношению  $\omega$ -6: $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот составом растительные масла купажируют. В МГУПП в конце 1990-х гг. была сформирована концепция создания таких продуктов, а совместно с центром инновации и развития «Здоровый продукт» предложена технология их получения, включающая систему расчета оптимального жирно-кислотного состава [6]. Общая технология получения купажированных масел изложена в работе [7]. Для создания купажей из растительных масел рекомендуется брать наиболее доступные, технологически простые в получении и широко используемые в производстве растительные масла. Так согласно приведенным данным [6], россияне потребляют в основном подсолнечное (86,5 %), а кроме него кукурузное (2,2 %), оливковое (1,2 %) и другие (10,1 %) масла. К сегменту «другие» относятся, в основном, рапсовое и соевое масла. Ограниченное использование льняного масла объясняется высоким содержанием в нем полиненасыщенных жирных кислот, следствием чего является неустойчивость льняного масла к окислению. Объясняется это тем, что с увеличением степени ненасыщенности жирных кислот скорость

образования их радикалов и, соответственно, интенсивность последующего взаимодействия с кислородом существенно возрастают [8].

Мы предположили, что при купажировании льняных масел, получаемая смесь с заданным жирно-кислотным составом по соотношению жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3, будет иметь повышенные перекисное и кислотное числа, которые можно снизить.

Высокие перекисное и кислотное числа могут быть связаны с тем, что для создания данных смесей используют уже готовые масла – одно с высоким содержанием легкоокисляемых полиненасыщенных жирных кислот (льняное масло из традиционных сортов льна), другое – с низким (льняное масло, полученное из низколиноленовых сортов льна). В процессе получения легкоокисляемого масла из традиционных сортов льна на стадиях прессования и фильтрации в нём идут интенсивные окислительные и гидролитические процессы.

Целью работы являлась разработка новой технологии получения льняного масла заданного жирно-кислотного состава высокого качества по показателям окислительной порчи.

Для получения льняного масла заданного жирно-кислотного состава высокого качества было предложено формировать заданный жирно-кислотный состав масла путем смешивания разных сортов льняных семян перед прессованием. На первом этапе необходимо было разработать методику расчёта количества семян каждого сорта для смешивания перед прессованием для получения масла с заданным жирно-кислотным составом.

Для разработки методики и проведения дальнейших исследований использовали семена льна масличного двух сортов: новый сорт Сюрприз (низколиноленовый) и известный, широко распространённый сорт семян льна линум-типа ВНИИМК 630. Оба сорта были выращены на ЦЭБ ВНИИМК в 2013 году в одинаковых условиях и собраны в августе того же

года. Жирно-кислотный состав масла семян льна используемых сортов, определённый по методике [9], представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Жирно-кислотный состав исходных семян

Наименование жирной кислоты	Сорт семян льна	
	ВНИИМК 630	Сюрприз
Пальмитиновая	5,21	6,2
Пальмитолеиновая	0,06	0,09
Стеариновая	3,83	5,07
Олеиновая	13,91	18,22
Линолевая	10,32	64,42
Линоленовая	66,4	5,48
Арахидиновая	0,09	0,13
Эйкозеновая	0,07	0,13
Бегеновая	0,1	0,17

Для разработки методики расчета количества семян каждого сорта для смешивания перед прессованием проводили эксперимент следующим образом: на первом этапе определяли для каждого из сортов льна фактический жирно-кислотный состав семян, приведённый в таблице 1, содержание сора в них, массовую долю масла и влаги.

С помощью программы Excel проводили предварительный расчет необходимого количества каждого из сортов семян льна для получения необходимого соотношения  $\omega_6:\omega_3$  полиненасыщенных жирных кислот с учетом определенных показателей. Проводили дозирование семян в соответствии с расчетом и их смешивание. Масло получали прессованием смеси на лабораторном прессе [10], фильтровали и определяли его жирно-кислотный состав.

В случае, если точность однократного расчета достаточна для цели получения масла заданного жирно-кислотного состава (например, в производстве), то расчет на этом заканчивают. В случае, когда необходимо более точное соотношение полиненасыщенных жирных кислот  $\omega_6:\omega_3$  (например, для научных исследований), то в программу Excel вводятся полученные после первого прессования данные и рассчитываются

поправочные коэффициенты (кинетические коэффициенты селективности извлечения целевых компонентов).

С учетом кинетических коэффициентов селективности, характеризующих формирование смеси масличных культур в зависимости от сорта и содержания в нем жирной кислоты составляли систему с ограниченным числом уравнений равном числу неизвестных:

$$\frac{\sum_{i=2}^n x(i)l(i)k(i)}{\sum_{j=2}^n y(j)l(j)k(j)} = K$$

$$\sum_{i=2}^n l(i) = 1$$

$$\sum_{j=2}^n l(j) = 1$$

$$0 < l(i,j) < 1$$

где n- количество извлекаемых масел;

i – текущий компонент;

x(i) – содержание целевого компонента в i-том сорте, %;

y(i) - содержание целевого компонента в j-том сорте, %;

l(ij) – массовая доля i(j)-го сорта в составе смеси;

k(i) – кинетический коэффициент селективности извлечения i-го целевого компонента из j-го сорта;

k(j) – кинетический коэффициент селективности извлечения j-го целевого компонента из i-го сорта;

K – требуемый коэффициент соотношения содержания жирных кислот.

Адекватность полученных уравнений проверяли по критерию Фишера [11]. Полученные уравнения использовали для расчета состава

смеси семян льна разных сортов перед прессованием с целью получения льняных масел заданного жирно-кислотного состава.

Далее изучали основные показатели качества льняных масел с соотношением полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3 в диапазоне от 5:1 до 1:1, полученных прессованием смеси семян льна низколиноленовых и высоколиноленовых сортов и полученных смешиванием предварительно извлеченных из этих семян масел. При этом количество необходимых для купажирования льняных масел определяли по известной методике [6], а показатели качества масел определяли по стандартным методикам [12]. Результаты сравнения показателей качества льняных масел с соотношением полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3 равном 5:1 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели качества льняных масел

Наименование показателя	Значение показателя	
	Масло из смеси семян	Смесь масел
Кислотное число, мг КОН/г	1,31±0,03	1,65±0,03
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	1,76±0,04	2,67±0,04
Цветность, мг I <sub>2</sub>	34	36
Массовая доля неомыляемых веществ, %	0,20±0,2	0,20±0,2
Массовая доля фосфорсодержащих веществ, %, в пересчете на стеаролеолецитин	0,23±0,2	0,25±0,2

Данные таблицы 2 показывают, что технология получения льняного масла с заданным жирно-кислотным составом путем смешивания семян льна разных сортов в сравнении с широко применяемой технологией купажирования готовых масел позволяет получать льняное масло

заданного жирно-кислотного состава более высокого качества по показателям кислотного и перекисного чисел. Остальные показатели качества существенно не различаются.

Такой результат по показателям перекисного и кислотного чисел объясняется тем, что при формировании заданного жирно-кислотного состава на стадии смешивания семян, в которых масло локализовано в липидных сферосомах и защищено от действия кислорода, не происходит ухудшения качества масла по показателям перекисного и кислотного чисел. А при формировании заданного жирно-кислотного состава путем смешивания готовых масел доступ кислорода в процессе смешивания провоцирует повышение перекисного числа. Кроме того, вышеприведенная разница в показателях качества льняных масел формируется и на стадии получения и фильтрации масла с заданным жирно-кислотным составом. Объясняется это тем, что в процессе получения масла прессованием протекают окислительные и гидролитические процессы в масле, катализируемые ферментами липаза и липоксигеназа. Также идёт интенсивное неферментативное окисление получаемого горячего масла. Эти же процессы идут и при дальнейшей фильтрации масла после его получения. При хранении легкоокисляемого фильтрованного масла до смешивания продолжают неферментативные процессы окисления и гидролиза. Кислотное и перекисное числа этого масла повышены еще до составления смеси, что существенно влияет и на показатели кислотного и перекисного чисел самой смеси, а также интенсифицирует рост этих показателей при хранении полученной смеси. А при прессовании смеси семян легкоокисляемое масло будет сразу смешиваться с низкоокисляемым, что снизит интенсивность окислительных и гидролитических процессов при прессовании, фильтрации масла и дальнейшем его хранении. Высокое качество масла по показателям перекисного и кислотного чисел при его получении обеспечивает



увеличение безопасного срока хранения получаемых масел, так как процессы порчи масла, особенно его окисление, протекают по экспоненциальному механизму.

Дальнейшие исследования по сравнению показателей качества смесей масел с соотношением полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3 в диапазоне от 5:1 до 1:1, полученных прессованием смеси семян льна низколиноленовых и высоколиноленовых сортов и полученных смешиванием предварительно извлеченных из этих семян, показали, что в масле, полученном из смеси разных сортов льняных семян, перекисное число ниже на 0,91 - 1,02 ммоль активного кислорода/кг, а кислотное – на 0,34 - 0,41 мг КОН/г ниже. При этом разница в значениях этих показателей увеличивалась с увеличением количества высоколиноленового масла, используемого для смешивания.

Таким образом, технология производства льняных масел с заданным жирно-кислотным составом путем смешивания разных сортов семян льна позволяет получать льняные масла более высокого качества по показателям кислотного и перекисного чисел.

Для расчета состава смеси семян льна разных сортов перед прессованием с целью получения льняных масел заданного жирно-кислотного состава разработана соответствующая методика с использованием программы Excel.

### Литература

1. Рощина Н.Н., Егорова Е.Ю. Разработка рецептуры трехкомпонентных растительных масел, оптимизированных по составу жирных кислот и витаминов // Известия Вузов. Пищевая технология. 2011. № 5-6. С. 32-35.
2. Зайцева Л.В. Баланс полиненасыщенных жирных кислот и развитие алиментарно-зависимых заболеваний // Сборник докладов на XIV Международном форуме «Пищевые ингредиенты XXI века». 2013. С. 100-103.
3. Мустафаев С.К., Ефименко С.Г., Моруженко Е. А. Влияние особенностей новых селекционных сортов льна на показатели качества масла в семенах при хранении //

Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар: КубГАУ, 2014. №03(097).

4. Пелипенко Т.В., Гюлушанян А.П., Калиенко Е.А., Мирзоян А.А. Состав и свойства льняного масла как ингредиента косметических средств // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар: КубГАУ, 2014. № 103(09).

5. Биологическая активность льняного масла как источника омега-3-альфа-линоленовой кислоты /О.М. Ипатова, Н.Н. Прозоровская, В.С. Баранова, Д.А. Гусева //Биомедицинская химия. 2004. Т.50. №.1.

6. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л.В. Ипатова, А.А. Кочеткова, А.П. Нечаев, В.А. Тутельян. М., 2009. 396 с.

7. Кулакова С.Н., Байков В.Г., Бессонов В.В., Нечаев А.П., Тарасова В.В. Особенности растительных масел и их роль в питании // Масложировая промышленность. 2009. № 3. С. 16-20.

8. Окислительная устойчивость льняного масла при хранении /О.И. Шадыро, А.А. Сосновская, И.П. Едимечева, Н.И. Островская // Масложировая промышленность. 2010. №5. С.26-28.

9. ГОСТ 30418-96 Масла растительные. Метод определения жирно-кислотного состава. М.: Изд-во стандартов, 1991. 15 с.

10. Заруба А.С., Мустафаев С.К., Калиенко Е.А., Андржайчак А.А. Изучение качества льняных масла и жмыха, полученных по новой технологии двукратного прессования семян льна с экструдированием // Электронный политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2015. № 2.

11. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. М: Химия, 1982. 288с.

12. Лабораторный практикум по технологии производства растительных масел: Справочное пособие / Копейковский В. М., Мосян А. К., Мхитарьянц Л. А. и др. М.: Агропромиздат, 1990. 191 с.

## References

1. Roshhina N.N., Egorova E.Ju. Razrabotka receptury trehkomponentnyh rastitel'nyh masel, optimizirovannyh po sostavu zhirnyh kislot i vitaminov // Izvestija Vuzov. Pishhevaja tehnologija. 2011. № 5-6. S. 32-35.

2.Zajceva L.V. Balans polinenasysyhennyh zhirnyh kislot i razvitie alimentarno-zavisimyh zabolevanij // Sbornik dokladov na XIV Mezhdunarodnom forume «Pishhevye ingredienty XXI veka». 2013. S. 100-103.

3. Mustafaev S.K., Efimenko S.G., Moruzhenko E. A. Vlijanie osobennostej novyh selekcionnyh sortov l'na na pokazateli kachestva masla v semenah pri hranenii // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Krasnodar: KubGAU, 2014. №03(097).

4. Pelipenko T.V., Gjulushanjan A.P., Kalienko E.A., Mirzozan A.A. Sostav i svojstva l'njanogo masla kak ingredienta kosmeticheskikh sredstv // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Krasnodar: KubGAU, 2014. № 103(09).

5. Biologicheskaja aktivnost' l'njanogo masla kak istochnika omega-3-al'fa-linolenovoj kisloty /О.М. Ipatova, N.N. Prozorovskaja, V.S. Baranova, D.A. Guseva //Biomedicinskaja himija. 2004. Т.50. №.1.

6. Zhirovyje produkty dlja zdorovogo pitaniya. Sovremennyj vzgljad / L.V. Ipatova, A.A. Kochetkova, A.P. Nechaev, V.A. Tutel'jan. M., 2009. 396 s.
7. Kulakova S.N., Bajkov V.G., Bessonov V.V., Nechaev A.P., Tarasova V.V. Osobennosti rastitel'nyh masel i ih rol' v pitanii // Maslozhirovaja promyshlennost'. 2009. № 3. S. 16-20.
8. Okislitel'naja ustojchivost' l'njanogo masla pri hranenii /O.I. Shadyro, A.A. Sosnovskaja, I.P. Edimecheva, N.I. Ostrovskaja // Maslozhirovaja promyshlennost'. 2010. №5. S.26-28.
9. GOST 30418-96 Masla rastitel'nye. Metod opredelenija zhirno-kislotnogo sostava. M.: Izd-vo standartov, 1991. 15 s.
10. Zaruba A.S., Mustafaeв S.K., Kalienko E.A., Andrzhajchak A.A. Izuchenie kachestva l'njanyh masla i zhmyha, poluchennyh po novej tehnologii dvukratnogo pressovanija semjan l'na s jekstrudirovaniem // Jelektronnyj politematicheskij zhurnal «Nauchnye trudy KubGTU». 2015. № 2.
11. Zakgejm A.Ju. Vvedenie v modelirovanie himiko-tehnologicheskikh processov. M: Himija, 1982. 288s.
12. Laboratornyj praktikum po tehnologii proizvodstva rastitel'nyh masel: Spravochnoe posobie / Kopejkovskij V. M., Mosjan A. K., Mhitar'janc L. A. i dr. M.: Agropromizdat, 1990. 191 s.