

С. И. Вакула, аспирант ИГиЦ НАН Беларуси;  
 Н. В. Анисимова, науч. сотрудник ИГиЦ НАН Беларуси;  
 Л. В. Корень, вед. науч. сотрудник ИГиЦ НАН Беларуси;  
 И. В. Лайковская, мл. науч. сотрудник;  
 В. В. Титок, зав. лабораторией ИГиЦ НАН Беларуси

## РОЛЬ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И СРЕДОВЫХ ФАКТОРОВ В ИЗМЕНЧИВОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЕМЯН ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

The comparative analysis of lipids and the free fatty acids content of 25 flaxseed cultivars of two vegetation years was carried out. The purpose of this work was an estimation of agro-ecological influence of climatic conditions on flaxseed biochemical structure. The analysis revealed ecological variability of oil and fatty acid contents. Temperate humidity and environmental temperature (17–18°C) during seeds formation leads to increasing in the lipids contents and to nonsaturated fatty acids impoverishment in flax oil. Biochemical features with the highest ecological variability have been shown. Principal components analysis was applied to classification of flaxseed cultivars under the investigated parameters.

**Введение.** Лен – многоцелевая техническая культура. В промышленности используется почти все растение, подтверждая название, данное Линнеем, – *L. usitatissimum*, что означает «лен полезный» [1]. В зависимости от морфологических особенностей и направлений использования лен культурный (*Linum usitatissimum* L.) подразделяют на три типа: лен масличный, лен-долгунец и промежуточные виды – межеумки. Семена всех типов льна содержат значительное количество масла, наибольшее – семена льна масличного, наименьшее – льна-долгунца.

Объектом нашего исследования является лен масличный – основное сырье для получения льняного масла. Льняное масло можно употреблять в пищу, но преимущественно его используют в промышленных целях. Льняное масло применяют в производстве красок, покрытий и линолеума, высокое содержание линоленовой кислоты (45–60%) делает его эффективным сиккативом [2]. Пищевое назначение льняного масла определяется высоким содержанием омега-3 жирных кислот, обладающих противовоспалительными свойствами и использующихся при терапии воспалительных и аутоиммунных заболеваний [3].

Основные направления селекции льна масличного – повышение урожайности и масличности семян, оптимизация жирно-кислотного состава масла, сокращение продолжительности вегетационного периода, повышение устойчивости к болезням [4]. Для количественных показателей характерна значительная экологическая вариабельность. Доля погодно-климатических условий в общей дисперсии урожайности льна высока и достигает 63–75% [5].

Цель нашей работы состояла в оценке агро-экологического влияния погодно-климатических условий на биохимический состав семян льна масличного.

**Материал и методы.** В работе использованы семена 25 сортов льна масличного коллек-

ции ИГиЦ НАН Беларуси. В 2005–2006 гг. сорта коллекции высевали на территории ЦБС НАН Беларуси, проводили анализ количественных признаков продуктивности и биохимического состава семян.

Определение содержания масла в семенах льна масличного проводили с использованием аппарата Сокслета, в основе работы которого лежит многократная экстракция липидов из измельченного материала. Экстракцию и определение жирных кислот проводили по модифицированному методу Welch [6] на базе БГТУ. Статистический анализ данных осуществляли в программной среде Statistica 6.0.

**Результаты и обсуждение.** В семенах большинства сортов льна масличного содержание липидов в среднем составляет 43%. Различия между районированными сортами по среднему содержанию липидов сравнительно небольшое (2–3%). Однако колебание масличности в пределах одного сорта может достигать 4–5% [7].

На рис. 1 отражено содержание липидов в семенах сортов льна масличного урожая 2005 и 2006 гг. На рисунке отмечено содержание масла в семенах сортов-стандартов Ручеек и Липа. Стандартам масличности соответствуют сорта К-5621, К-5627 и селекционные формы LM-1, LM-2 (урожай 2006 г.). Устойчиво высокое содержание липидов в семенах характерно для сортообразцов К-5621, К-5627, Циан. Низкие значения отмечены у сортов Glenelg, Linota, Воронежский, К-2398, Mivast. Содержание масла в семенах сортов Antares, Atalante, LM-1, LM-2, Mivast в значительной степени подвержено влиянию условий среды.

Погодно-климатические условия оказывают существенное влияние на содержание масла в семенах льна. Результаты анализа влияния среды на масличность льна показаны на рис. 2.

Среднее содержание масла в семенах льна урожая 2005 г. составило 42,73% (стандартное отклонение – 3,42).

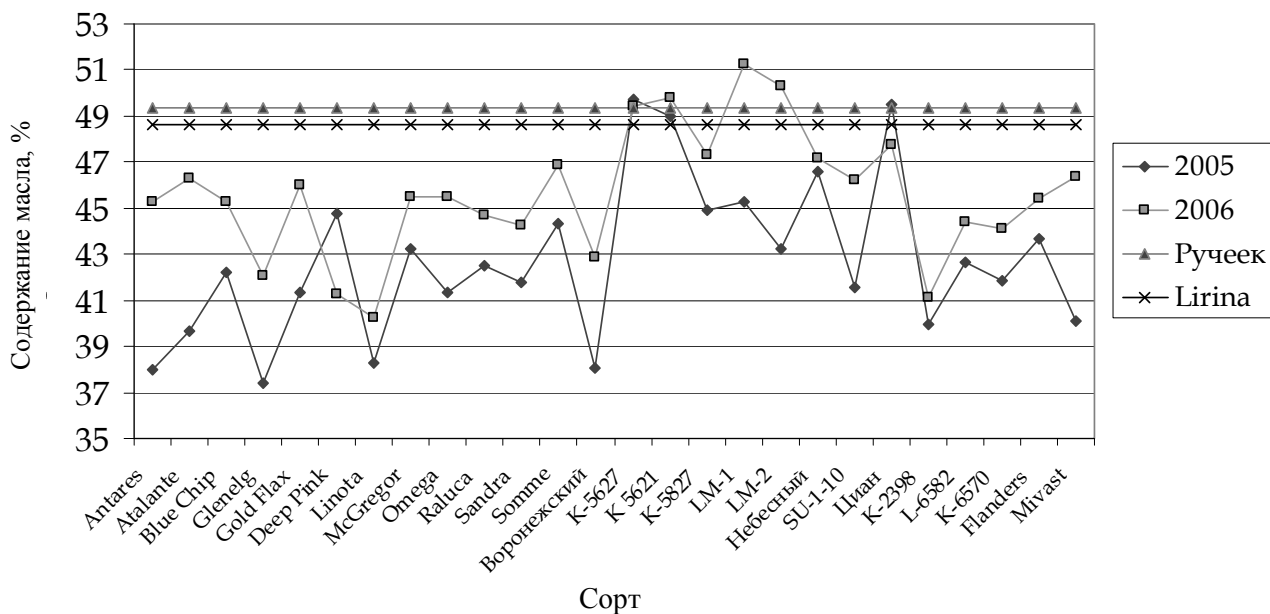


Рис. 1. Содержание масла в семенах сортов льна масличного

В 2006 г. масличность выше и достигает 45,65%, при этом стандартное отклонение снизилось до 2,78. Минимальное и максимальное содержание масла в семенах выборки 2006 г. (40,24–51,22%) превышает соответствующие показатели в 2005 г. (37,39–49,72%). Размах варьирования исследуемого признака в 2006 г. (10,98%) ниже, чем в 2005 г. (12,33%), что свидетельствует о большей выравненности фенотипов в данных условиях среды. Среднесуточная температура июля 2005 г. (период созревания семян) почти на 5°C превышала данные многолетних наблюдений, а количество выпавших в этот период осадков было почти в два раза ниже среднего. Погодные условия 2006 г. характеризовались умеренной среднесуточной температурой и высоким количеством осадков. Очевидно, более низкие температуры в период налива семян способствуют увеличению содержания липидов в семенах льна.

Тем не менее, коэффициент непараметрической корреляции Спирмана между показателями содержания масла в семенах урожаев 2005 и 2006 гг. составляет 0,64. Корреляционная связь достоверная ( $p = 0,0005$ ), по шкале Дворецкого значимая. Следовательно, в разных погодных условиях соотношение содержания липидов по генотипам льна сохраняется. Степень выраженности исследуемого признака определяется как генотипом, так и воздействием окружающей среды.

Оптимальный жирнокислотный состав растительных масел определяется не только питательной ценностью той или иной кислоты, но и его пригодностью для хранения и переработки. В состав льняного масла входит 5 основных жирных кислот: пальмитиновая – 5%, стеариновая – 3%, олеиновая – 15–25%, линолевая – 15%,  $\alpha$ -линоленовая (АЛК) 50–60% [8]. Коллекция ИГЦ включает как высоколиноленовые сорта (Antares, Somme, LM-2 и Flanders), содержащие более 50% АЛК, так и сорт группы Линола (солитный сорт) Gold Flax, содержащий около 2% АЛК. Снижение содержания АЛК в льняном масле приближает его качество к подсолнечному и продлевает срок хранения. В настоящее время в ряде зарубежных селекционных центров осуществляются такие изменения в составе жирных кислот, как увеличение содержания олеиновой, пальмитиновой и пальмитолетовой кислот [9, 10].

Химический состав льняного масла в значительной степени зависит от условий окружающей среды. Сравнение данных 2005 и 2006 гг. (рис. 3–7) показало снижение содержания ненасыщенных кислот в масле семян урожая 2006 г. и увеличение содержания насыщенных олеиновой, стеариновой и пальмитиновой кислот.

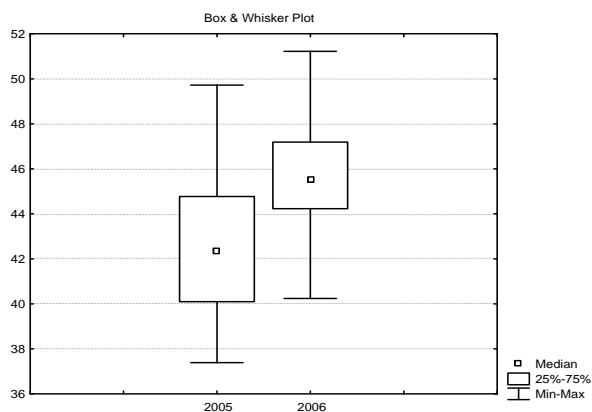


Рис. 2. Содержание масла, %, в семенах сортов льна, 2005 и 2006 гг.

В сравнении с 2005 г. содержание АЛК в 2006 г. снизилось на 3%, линолевой – на 2%, тогда как на 3% увеличилось содержание олеиновой, на 1,5% стеариновой, на 0,5% пальмитиновой. Содержание АЛК в масле сорта Gold Flax урожая 2006 г. составило 8,25%, что значительно превышает характерные для солинных сортов 2% АЛК.

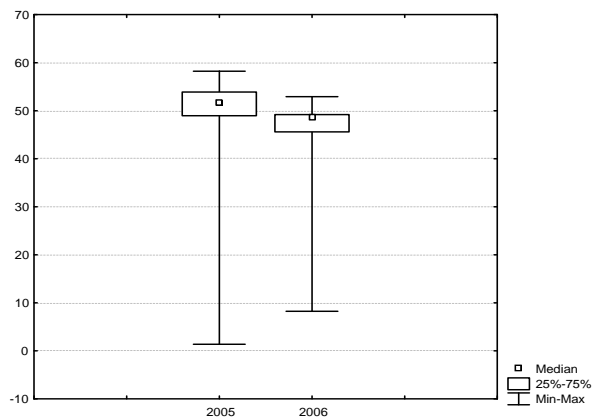


Рис. 3. Содержание АЛК, %, в семенах сортов льна, 2005 и 2006 гг.

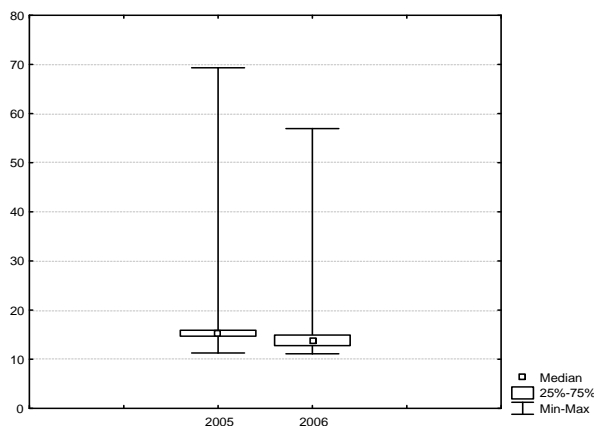


Рис. 4. Содержание линолевой кислоты, %, в семенах сортов льна, 2005 и 2006 гг.

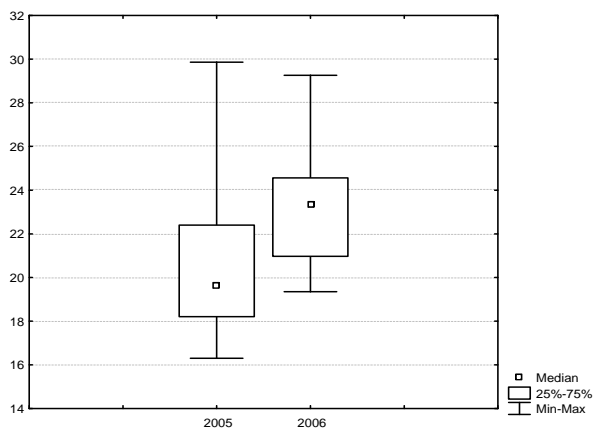


Рис. 5. Содержание олеиновой кислоты, %, в семенах сортов льна, 2005 и 2006 гг.

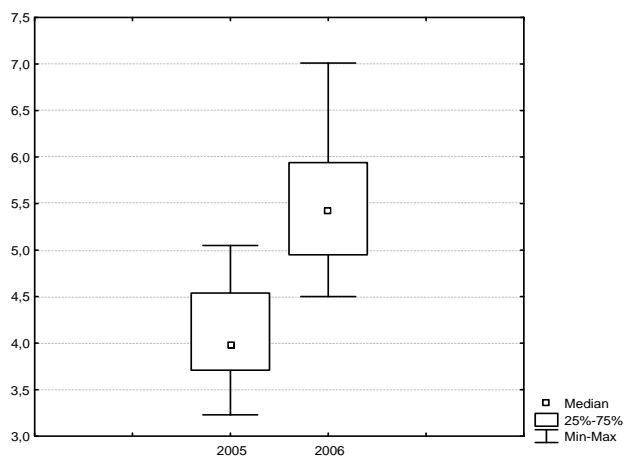


Рис. 6. Содержание стеариновой кислоты, %, в семенах сортов льна, 2005 и 2006 гг.

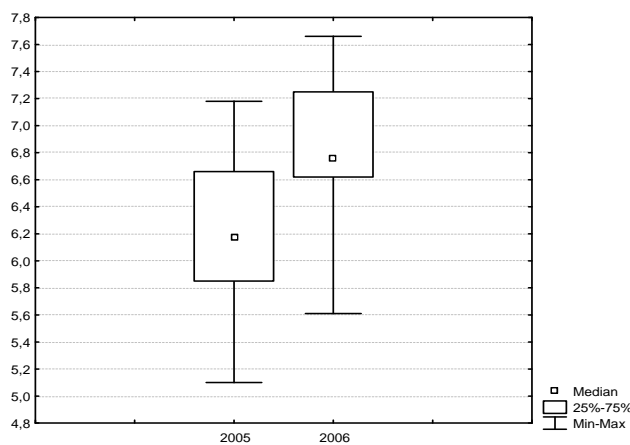


Рис. 7. Содержание пальмитиновой кислоты, % в семенах сортов льна, 2005 и 2006 гг.

Размах варьирования уровня ненасыщенных жирных кислот в семенах урожая 2006 г. (АЛК – 44,68; линолевая – 45,79; олеиновая – 9,91) ниже, чем в 2005 г. (АЛК – 56,84; линолевая – 58,02; олеиновая – 13,56). Высокое содержание насыщенных жирных кислот и снижение уровня АЛК в масле исследуемых сортов, вероятно, обусловлено низкой температурой лета 2006 г., способствующей высокому накоплению липидов в семенах льна, но негативно сказывающейся на активности десатурирующих ферментов, окисляющих насыщенные жирные кислоты.

Для оценки роли генотипа в определении жирнокислотного состава льняного масла проведен корреляционный анализ содержания отдельных жирных кислот в семенах сортов льна масличного 2005 и 2006 гг., результаты представлены в таблице.

Выявлены достоверные корреляции содержания  $\alpha$ -линоленовой, линолевой, олеиновой и пальмитиновой кислот в разные годы исследования. Наиболее высокие коэффициенты корреляции отмечены для насыщенных пальмитиновой и стеариновой кислот, что в сочетании

с незначительной средовой изменчивостью данных признаков (1,5 и 0,5%) дает основания предполагать их высокую генотипическую обусловленность. Между содержанием олеиновой кислоты в масле сортов 2005 и 2006 гг. достоверной связи не обнаружено. Уровень данной кислоты по годам изменяется в наибольшей степени (3%). Вероятно, данный признак в наибольшей мере определяется влиянием условий окружающей среды.

Таблица

**Коэффициенты корреляции Спирмана содержания отдельных жирных кислот в масле сортов 2005 и 2006 гг.**

Жирная кислота	Коэффициент корреляции	p-Значение
$\alpha$ -Линоленовая	0,43	0,03
Линолевая	0,50	0,01
Олеиновая	0,36	0,07
Стеариновая	0,62	0,00
Пальмитиновая	0,89	0,00

Помимо выявления изменчивости биохимического состава семян льна масличного существует необходимость классифицировать исследованные факторы (признаки) и сорта в соответствии с их вкладом в общую изменчи-

вость. Для классификации наблюдений был применен метод главных компонент РССА. На рис. 8 представлены проекции наблюдений (сортов) на плоскость факторов 1 и 2, в большей степени обусловленных жирнокислотным составом масла, а именно содержанием ненасыщенных жирных кислот.

Анализ позволил распределить исследованные сорта по четырем группам согласно общему содержанию и жирнокислотному составу масла семян. Наиболее удален от общей группы сорт Gold Flax с координатами  $-10$ ;  $-2$ , что объясняется солинностью данного сорта – низким содержанием АЛК при высоком уровне линолевой жирной кислоты. Группа из трех сортов (Воронежский, Raluca, Lirina) с отрицательными значениями фактора 2 также характеризуется относительно низким содержанием АЛК (40–43%) и низким содержанием липидов в семенах (40–42%). Остальные сорта образуют две группы. Первая группа (Antares, Atalante, McGregor, Sandra, K-5627, K-6521, LM-1, LM-2, SU-1-10, Циан, Flanders, Mivast) представлена сортами с более высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот. Содержание масла в семенах сортов второй группы выше, но содержание АЛК в масле ниже, чем у сортов первой группы (Blue Chip, Deep Pink, Omega, Raluca, Somme, K-5827, Небесный, K-2398, L-6582, K-6570).

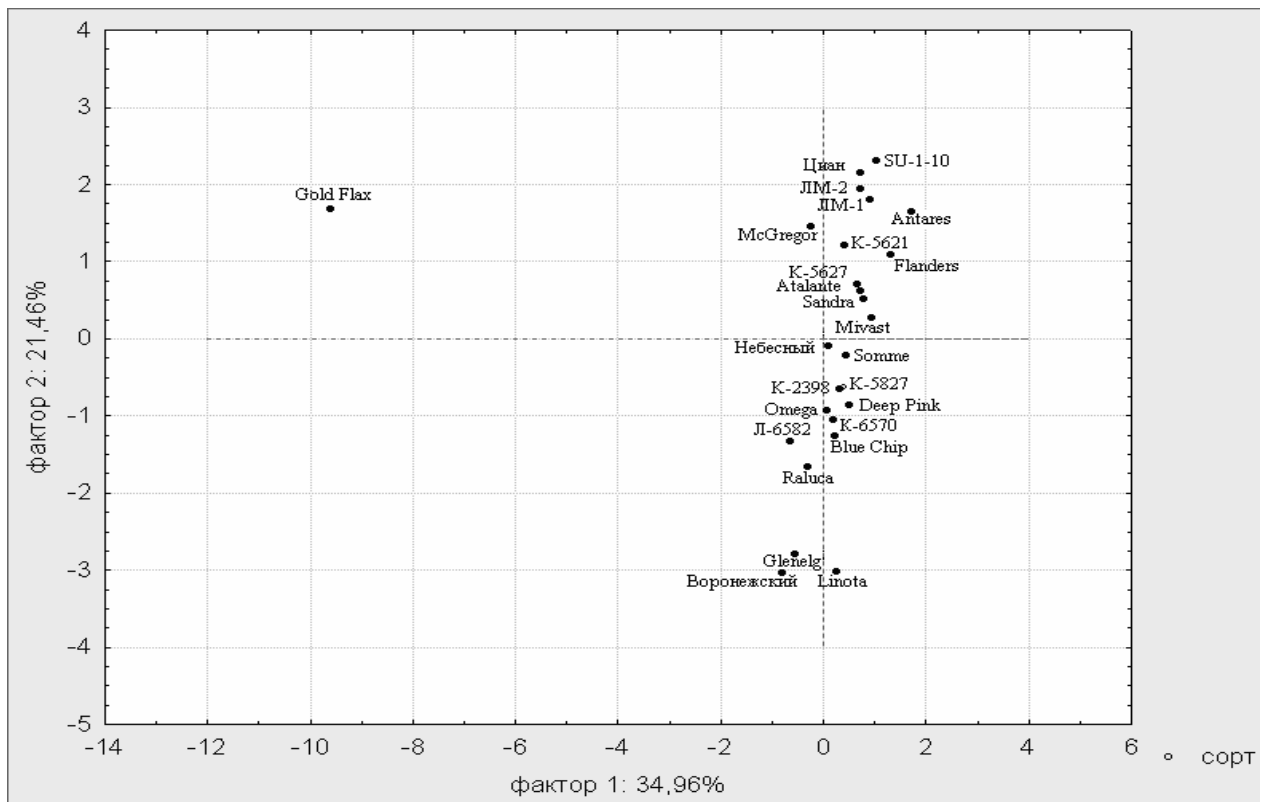


Рис. 8. Проекция исследуемых сортов на плоскость факторов 1×2 (РССА)

**Заключение.** Выявлена средовая изменчивость биохимического состава семян льна масличного. Умеренные температуры (17–18°C) и влажность окружающей среды в период формирования семян приводит к увеличению содержания липидов и снижению доли ненасыщенных жирных кислот в масле льна. По большинству анализируемых признаков (общее количество липидов и отдельных жирных кислот, а именно  $\alpha$ -линоленовой, линолевой, пальмитиновой, стеариновой, в льняном масле) выявлены достоверные корреляции их содержания в семени по годам исследования, что свидетельствует о высокой генотипической обусловленности данных признаков.

#### Литература

1. Stokkers, R. Vezelvlassector in opmars. Lei / R. Stokkers, S. R. M. Janssens, B. H. C. Vvan der Waal. – Wageningen University: Den Haag, 2004. – 66 pp.
2. Rowland, G. G. Growing flax: Production, management and diagnostic guide / G. G. Rowland. – Flax Council of Canada and Saskatchewan Flax Development Commission, 1998. – 135 pp.
3. Simopoulos, A. P. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases / A. P. Simopoulos // J. American College of Nutrition. – 2002. – Vol. 21. – P. 495–505.
4. Щербаков, В. Г. Биохимия и товароведение масличного сырья / В. Г. Щербаков, В. Г. Лобанов. – М.: Колос, 2003. – 360 с.
5. Бровка, Ю. А. Региональная агроэкологическая оценка неблагоприятных погодноклиматических условий на территории Беларуси: автореф. дис. канд. геогр. наук: 27.12.2007 / Ю. А. Бровка; ГНУ «ИПИПРЭ НАН Беларуси». – Минск, 2007. – 24 с.
6. Welch, R. W. A micro-method for the estimation of oil content and composition in seeds crops / R. W. Welch // J. Sci. Food Agr. – 1977. – Vol. 28, № 4. – P. 635–638.
7. Oomach, B. D. Processing of flaxseed fiber, oil, protein and lignan / B. D. Oomach, L. U. Thompson, S. D. Cunnane // Flaxseed in Human Nutrition. – 2003. – 458 pp.
8. Johnston, I. M. Flaxseed oil and the power of omega-3 / I. M. Johnston, J. R. Johnston. – New Canaan: Keats Pub., 1990. – 65 pp.
9. Rowland, G. G. New trends in linseed breeding / G. G. Rowland, R. Wilen // Nat. Fibres Special Edn. – 1998. – Vol. 12. – P. 32–35.
10. Daun, J. K. Identity of fats and oils: the role of traditional chemical and physical tests – today and in the future / J. K. Daun, R. G. Ackman // INFORM. – 2001. – Vol. 12. – P. 1108–1114.