УДК 633.853:631.527
DOI 10.33814/AFP-2222-5366-2026-3-61-73

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ СЕМЯН ФЕНОТИПИЧЕСКИ СХОДНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОГО РАПСА*

В. Т. Воловик[1], кандидат сельскохозяйственных наук
А. В. Широкова[2], кандидат биологических наук
Л. М. Коровина[1], кандидат химических наук
С. Е. Сергеева[1], кандидат сельскохозяйственных наук
Т. В. Прологова[1], кандидат сельскохозяйственных наук
Т. В. Леонидова[1], кандидат сельскохозяйственных наук

[1]*ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»,*
141055, Россия, г. Лобня, ул. Научный городок, корп.1,
vik_volovik@mail.ru
[2]*ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства,*
143080, Россия, Московская обл., Одинцовский г.о., пос. ВНИССОК, ул. Селекционная, д. 14

FATTY ACID COMPOSITION OF SEEDS OF PHENOTYPICALLY SIMILAR SPRING CANOLA LINES

V.T. Volovik[1], Candidate of Agricultural Sciences
L.M. Korovina[1], Candidate of Chemical Sciences
A.V. Shirokova[2], Candidate of Biological Sciences
S.E. Sergeeva[1], Candidate of Agricultural Sciences
T.V. Prologova[1], Candidate of Agricultural Sciences
T.V. Leonidova[1], Candidate of Agricultural Sciences

[1]*Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology,*
141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., bldg. 1,
vik_volovik@mail.ru
[2]*Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center",*
143080, Russia, Moscow region, pos. VNISSOK, Selektsionnaya St., 14

Представлены результаты оценки фенотипически сходных линий ярового рапса, полученных с использованием химического мутагенеза, с положительными хозяйственными признаками по составу и концентрации жирных кислот. В составе жирных кислот (ЖК) были выявлены многочисленные изменения, но содержание основных жирных кислот (олеиновой, линолевой и линоленовой)

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса» «Вывести новые сорта сельскохозяйственных культур (кормовых, аридных, зерновых и зернобобовых, плодовых и масличных), адаптированных к различным почвенно-климатическим условиям Российской Федерации и отличающихся высокой устойчивостью к основным заболеваниям и к местным неблагоприятным условиям среды, на основе использования существующих и вновь создаваемых методов получения исходного материала с заданными свойствами» (FGGW-2025-0002).

по сравнению с исходным сортом было близким, что благоприятно для отбора новых форм с улучшенными морфологическими признаками. Отмечено сильное варьирование таких кислот как $C_{18:0}$ (v = 10…90,4 %), $C_{20:2}$ (v = 4,7…86,4 %), $C_{16:3}$ (v = 7,8…94,9 %), длинноцепочечных $C_{22:0}$, $C_{22:1}$, $C_{22:2}$. В поколении M_5 по сравнению с M_4 увеличилось разнообразие ЖК: в «длинно стручковых» линиях за счет короткоцепочечных: каприловой ($C_{8:0}$), пеларгониевой ($C_{9:0}$), миристиновой ($C_{14:0}$), маргариновой ($C_{17:0}$) и длинноцепочечных лигноцериновой ($C_{24:0}$) и нервоновой ($C_{24:1}$) из класса омега-3, являющихся незаменимыми, что повышает диетические свойства получаемого рапсового масла. В «широко стручковых» линиях напротив, число коротких ЖК в M_5 сократилось по сравнению с M_3 и M_4, и появилась нежелательная эруковая кислота ($C_{22:1}$) в вариантах с использованием 0,04 % этилметансульфоната (ЭМС) (до 10 мг/100 г) и 0,03 % ЭМС (до 0,6 мг/100 г). У растений с улучшенными морфологическими признаками масличность семян в отдельных случаях увеличилась на 10–15 %, а состав основных ненасыщенных жирных кислот сохранился на уровне исходного сорта. Масло всех представленных образцов по содержанию жира и белка, соотношению насыщенных и ненасыщенных жирных кислот соответствует требованиям, предъявляемым к использованию для диетического питания. Линия № 794-23-14 с вертикально расположенными стручками как самая ценная по соотношению «полиненасыщенные жирные кислоты : насыщенные жирные кислоты» была использована для создания нового сорта.
Ключевые слова: рапс яровой, химический мутагенез, сорт, жир, протеин, жирно кислотный состав масла.

The article presents the results of evaluating phenotypically similar spring rapeseed lines obtained using chemical mutagenesis, with positive economic traits in the composition and concentration of fatty acids. Numerous changes were revealed in the fatty acid composition, but the content of essential fatty acids (oleic, linoleic and linolenic) was similar to the original variety, which is favorable for the selection of new forms with improved morphological traits. Strong variation was noted in such acids as $C_{18:0}$ (v = 10 ... 90.4%), $C_{20:2}$ (v = 4.7 ... 86.4%), $C_{16:3}$ (v = 7.8 ... 94.9%), long-chain $C_{22:0}$, $C_{22:1}$, $C_{22:2}$. In the M_5 generation, compared to M_4, the diversity of fatty acids increased: in the "long-pod" lines due to short-chain ones: caprylic ($C_{8:0}$), pelargonium ($C_{9:0}$), myristic ($C_{14:0}$), margaric ($C_{17:0}$) and long-chain lignoceric ($C_{24:0}$) and nervonic ($C_{24:1}$) from the omega-3 class, which are essential, which improves the dietary properties of the resulting rapeseed oil. In the "wide-pod" lines, on the contrary, the number of short fatty acids in M_5 decreased compared to M_3 and M_4, and undesirable erucic acid ($C_{22:1}$) appeared in the variants using 0.04% ethylmethanesulfonate (up to 10 mg/100 g) and 0.03% ethylmethanesulfonate (up to 0.6 mg/100). In plants with improved morphological traits, seed oil content increased by 10-15% in some cases, while the composition of essential unsaturated fatty acids remained at the level of the original variety. All presented samples of oil meet the requirements for use in dietary nutrition in terms of fat and protein content and the ratio of saturated and unsaturated fatty acids. Line No. 794-23-14, with vertically arranged pods, was used to develop the new variety, as it exhibited the highest polyunsaturated fatty acids to saturated fatty acid ratio was used to develop a new variety.
Keywords: spring canola, chemical mutagenesis, variety, fat, protein, fatty acid composition of oil.

Рапс (*Brassica napus* L.) — одна из основных масличных культур, повсеместно возделываемая в условиях умеренного климата. В настоящее время это высокомаржинальная культура.

Качественные особенности растительного масла определяются составом его жирных кислот. Наиболее полезными для организма являются ненасыщенные жирные кислоты. В отличие от насыщенных триглицеридов, они имеют «жидкую» консистенцию и не застывают на холоде. Данная категория триглицеридов улучшает синтез белка, состояние клеточных мембран, чувствительность к инсулину. Помимо этого, выво-

дит «плохой» холестерин, защищает сердце и сосуды от жировых бляшек, увеличивает число полезных липидов. Организм человека не вырабатывает ненасыщенные жиры, поэтому они должны регулярно поступать с продуктами питания [1; 2].

Пищевое масло получают после рафинации сырого масла, что позволяет избежать образования нежелательных соединений и разрушения полезных для здоровья компонентов. Таким образом рафинируют 25 % производимого рапсового масла, что составляет 500000 тонн.

Рапсовое масло в основном используется в пищу (и, в меньшей степени, в качестве корма для животных и в олеохимии). Более 80 % этого пищевого масла используется в общественном питании и пищевой промышленности. На долю домашнего потребления рапсового масла приходится лишь очень небольшая доля [3].

Масло рапса отличается высоким содержанием непредельных жирных кислот (олеиновой $C_{18:1}$, линолевой $C_{18:2}$, линоленовой $C_{18:3}$), что делает его ценным продуктом питания. Стандартное рапсовое масло содержит 50–60 % мононенасыщенной олеиновой ($C_{18:1}$), 18–22 % линолевой ($C_{18:2}$) и 10–12 % линоленовой ($C_{18:3}$) незаменимых полиненасыщенных кислот. Однако линоленовая кислота с тремя ненасыщенными связями быстро окисляется на воздухе и нестабильна при нагревании.

Комплекс ненасыщенных жирных кислот называют витамином F или «антихолестериновым витамином», к нему относятся кислоты, называющиеся омега-3, омега-6 и омега-9. Типичная композиция рапсового масла с соотношением омега-6 и омега-3 это 2 : 1 в настоящее время считается оптимальной с точки зрения питательной ценности [4].

К омега-3 относят 11 полиненасыщенных жирных кислот. Без них не могут нормально функционировать нервная и иммунная системы. Из них синтезируются гормоноподобные вещества, регулирующие течение воспалительных процессов, свертываемость крови, сокращение и расслабление стенок артерий, и другие важные процессы. Самыми ценными считаются три жирные кислоты омега-3: альфа-линоленовая ($C_{18:3(n-3)}$), эйкозапентаеновая ($C_{20:5(n-3)}$) и докозагексаеновая ($C_{22:5(n-3)}$) [5].

Омега-6 — группа полиненасыщенных жирных кислот, стабилизирующая обменные процессы в организме. Данные соединения поддерживают целостность клеточных мембран, потенцируют синтез гормоноподобных веществ, снижают психоэмоциональное напряжение, улучшают функциональное состояние дермы. Разновидности омега-6: линолевая кислота ($C_{18:2(n-6)}$), арахидоновая кислота ($C_{20:4(n-6)}$), гамма-линоленовая кислота ($C_{18:3(n-6)}$), эйкозадиеновая кислота ($C_{20:2(n-6)}$). Хотя существует довольно много видов омега-6 жирных кислот, наиболее важным является линолевая кислота [6]. Главные представители омега-9: олеиновая ($C_{18:1}$), эруковая ($C_{22:1}$) (однако применяемое в пищу масло не должно превышать 5%-го содержания эруковой кислоты; превышение допустимой нормы может привести к проникновению веществ в скелетную мускулатуру, нарушению работы репродуктивных органов, печени и сердечно-сосудистой системы), эйкозеновая (гондоиновая, $C_{20:1}$) кислота, мидовая кисло-

та, элаидиновая кислота (транс-9-изомер олеиновой), нервоновая (селахолевая, $C_{24:1}$) кислота [7].

Содержание масла в семенах, наряду с урожайностью, является одним из самых важнейших критериев при создании сортов рапса. G. M. Engqvist и H. C. Becker (1993) предложили одновременно улучшать урожайность семян и содержание масла и белка [8].

О важности одновременного повышения урожайности семян и содержания масла в рапсе писали Aytac и Kinaci (2009) [9].

Селекция на качество масла проводится во многих странах, в том числе в различных учреждениях РФ [10–16].

На накопление жирных кислот в семенах в процессе их формирования влияют температура и свет (Spassibiontk, 2006) [17]. Синтез линоленовой кислоты происходит в два этапа десатурации, в результате которых олеиновая кислота превращается в линолевую, а затем в линоленовую. Эти реакции контролируются ферментами десатуразой олеиновой кислоты и десатуразой линолевой кислоты [18]. Активность этих ферментов влияет на синтез соответствующих жирных кислот. Значительные изменения в содержании соответствующих жирных кислот в масле свидетельствуют о том, что в результате мутации существенно снизилась активность ферментов, влияющих на синтез олеиновой, линолевой и линоленовой кислот.

Цель данной работы заключалась в оценке и сравнительном анализе фенотипически сходных линий ярового рапса с положительными хозяйственными признаками по составу и концентрации жирных кислот.

Материалы и методы. Для получения нового исходного материала ярового рапса с ценными хозяйственными признаками семена районированного сорта Викрос (патент № 0829) были обработаны растворами мутагенов в следующих концентрациях: этилметансульфонат (ЭМС) — 0,3, 0,2, 0,04, 0,03, 0,02 %; диметилсульфат (ДМС) — 0,08, 0,06, 0,02 %; диэтилсульфат (ДЭС) — 0,06, 0,05 %. Семена контрольного варианта замачивали в воде. В каждом варианте обрабатывали по 150 семян в двух повторностях. Растения выращивали в Подмосковье на опытном участке Кропотовской биостанции ИБР РАН и ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». Соцветия первого порядка M_2 и последующих поколений изолировали в начале цветения. Для выращивания использовалась общепринятая для культуры агротехника. Наблюдения и учеты проводились по методике ВНИИ кормов (1997), ВНИИМК (1957) и ВИР (1976). Для оценки были отобраны по две наиболее урожайные, фенотипически сходные линии: с удлиненными относительно исходной линии стручками, широкими стручками и стручками, расположенными на растениях под острым углом (30º и менее).

Биохимический состав семян определяли по общепринятым методикам. Содержание общего азота — фотометрически с последующим пересчетом на белок, содержание жира — методом обезжиренного остатка. Для определения жирно-кислотного состава (ЖКС) — по 0,2 г измельченных семян заливали 2 мл гексана и экстрагировали три часа. Отфильтрованный экстракт метилировали метилатом натрия по общепринятой методике получения метиловых эфиров

жирных кислот. ЖКС масла определяли методом газожидкостной хроматографии на хроматографе Кристалл 2000М с использованием капиллярной колонки ZB-50 длиной 30 м с компьютерной программой обработки данных. Для идентификации жирных кислот использовали стандарт фирмы Supelco 37 Component Fame Mix 10 mg/ml in CH_2Cl_2 (USA). Содержание глюкозинолатов в семенах определяли методом «глюкотест» и палладиевым методом на спектрофотометре.

Результаты и обсуждение. В результате обработки семян ярового рапса сорта Викрос химическими мутагенами был получен широкий спектр мутаций уже в поколении M_2, в том числе хозяйственно значимых признаков. Всего было выявлено 33 различных изменения габитуса, формы, размеров и окраски побегов, листьев, цветков, стручков, семян. Самый широкий спектр — 30 изменений признаков, индуцировал ЭМС, причем в варианте с концентрацией 0,03 % частота «отрицательных» изменений (высокие растения до 150 см; не ветвящиеся растения или, напротив, с мелкими густым побегами до V порядка; почти без стручков; с короткими до 4 см бессемянными стручками и т. п.) была самой высокой — более 50 %. В то же время, 0,05 % ДЭС был эффективен (частота 36 %) в индуцировании низкорослых, до 80 см высоты, компактных форм. Растения с нерастрескивающимися стручками, в том числе длинными (до 11–13 см) или широкими (0,7–0,8 см), с многосемянными (до 37 семян), а также с компактно расположенными стручками были получены в разных вариантах обработки. Среди них в M_3 были отобраны скороспелые низкорослые семьи и продолжительно созревающие неполегающие формы с компактным прочным габитусом. Линии с «удлиненными стручками» получены в вариантах с ДМС 0,02 %, ЭМС 0,04 и 0,03 %; линии с «широкими стручками» в вариантах 0,03 и 0,02 % ЭМС, а также в 0,08 % ДМС; поздние формы с компактным колонновидным габитусом, прочными побегами и вертикальными стручками получены в вариантах с 0,2 %, 0,03, 0,02 % ЭМС, 0,06 % ДМС и 0,05 % ДЭС.

Для оценки были взяты три группы линий:

1 – № 836-23-24 (ДМС 0,02) и 782-2-27 (ЭМС 0,04) с длиной стручка 11,5 ± 1,2 см;

2 – № 805-35-47 (ЭМС 0,02) и 7915-17-2 (ЭМС 0,03) с широким коротким стручком (длина 5,3–6,5 см, ширина 0,73–0,90 см);

3 – № 794-23-14 (ЭМС 0,03) и 793-24-10 (ЭМС 0,03) с нормальным стручком и углом прикрепления стручка относительно цветоноса 30º и менее.

Среднее содержание жира в семенных всех линий составило 43,7 ± 6,7 мг/100 г семян (табл. 1). Линии с удлиненными и вертикально расположенными стручками превышали исходный сорт Викрос по содержанию жира и были довольно выровнены по этому показателю (коэффициент вариации 5,3 и 2,6 % у «длинностручковых» и 3,3–3,5 % у «вертикальностручковых»). Линия 7915-17-2 с широкими стручками была хорошо выровнена по содержанию жира (v = 2,9 %), а линия 805-35-47 отличалась большим варьированием по содержанию жира (v = 16,7 %).

В составе жирных кислот были выявлены многочисленные изменения. Со-

держание основных жирных кислот (олеиновой, линолевой и линоленовой) по сравнению с исходным сортом было близким, что благоприятно для отбора новых форм с улучшенными морфологическими признаками.

1. Содержание жира и белка в линиях ярового рапса, поколение M_4

Линия	Размер и расположение стручка на растении	Содержание в семенах, мг/100 г	
		жира	белка
Викрос (стандарт)	стандартный стручок	44,6 ± 2,6	21,9 ± 1,3
836-23-24	длинный стручок	45,5 ± 2,4	22,8 ± 1,2
782-2-27	длинный стручок	45,6 ± 1,2	21,0 ± 0,6
805-35-47	широкий стручок	43,2 ± 7,2	21,7 ± 2,9
7915-17-2	широкий стручок	44,5 ± 1,3	20,1 ± 1,7
794-23-14	вертикальный стручок	45,5 ± 1,5	22,9 ± 2,6
793-24-10	вертикальный стручок	45,4 ± 1,6	21,3 ± 1,3
Среднее ± стандартное отклонение		43,7 ± 6,7	22,2 ± 3,9

Среднее содержание предельной пальмитиновой кислоты ($C_{16:0}$) 4,4 ± 0,5 мг/100 г семян в изучаемых образцах было в пределах стандартного отклонения и выше исходного сорта; стеариновая кислота ($C_{18:0}$) отсутствовала в линиях 836-23-24 и 793-24-10, была выше стандарта в линии 782-2-27 и в пределах стандарта во всех остальных линиях. Содержание пальмитиновой кислоты отличалось широким размахом варьирования v = 43,0–90,4 % (табл. 2).

2. Среднее содержание основных жирных кислот в семенах рапса мутантных линий, поколение M_4

Образец	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{22:1}$
	мг/100 г					
836-23-24	4,3 ± 0,2	0	63,9 ± 1,8	20,3 ± 0,9	8,2 ± 0,4	0,2 ± 0,1
782-2-27	4,5 ± 0,3	1,0 ± 0,9	62,9 ± 3,0	21,0 ± 2,0	8,2 ± 0,3	0,2 ± 0,1
805-35-47	4,8 ± 0,2	0,6 ± 0,6	62,7 ± 1,1	20,4 ± 0,1	8,6 ± 0,1	0
7915-17-2	4,3 ± 0,2	0,1 ± 0,1	62,8 ± 1,6	20,6 ± 0,9	8,6 ± 0,3	0,4 ± 0,2
794-23-14	4,2 ± 0,3	1,4 ± 0,1	63,2 ± 2,5	21,2 ± 2,0	7,7 ± 0,1	0
793-24-10	4,9 ± 0,2	0	63,9 ± 0,6	22,3 ± 0,5	6,1 ± 0,3	0
Викрос	3,5 ± 0,5	1,0 ± 0,7	63,6 ± 2,0	19,6 ± 0,3	8,9 ± 1,3	0
Среднее ± стандартное отклонение	4,4 ± 0,5	0,6 ± 0,6	63,3 ± 0,5	20,8 ± 0,8	8,1 ± 1,0	0,1 ± 0,2

Олеиновая ($C_{18:1}$) кислота варьировала незначительно, за исключением линии 794-23-14 (v = 19,4 %), содержание непредельной линолевой кислоты ($C_{18:2}$) во всех линиях было выше стандарта: в линии 79-3-24-10 оно было выше, чем в других, а в линии 782-2-27 отмечена вариация этой кислоты на уровне 9,8 %.

Более низкое содержание линоленовой кислоты ($C_{18:3}$) отмечено у линии 793-24-10 и составило 6,1±0,3 мг/100 г,

а коэффициент вариации этой ценной кислоты был выше у линии 794-23-14 и сорта-стандарта, соответственно v = 7,8 и 8,9 % (табл. 3).

3. Коэффициенты вариации (v), жирных кислот в изучаемых образцах ярового рапса

Формула	Название кислоты	Образец						
		длинный стручок		широкий стручок		вертикальный стручок		стандарт
		836-23-24	782-2-27	805-35-47	7915-17-2	794-23-14	793-24-10	Викрос
$C_{8:0}$	Каприловая	48,9	75,9	25,0	8,3	95,9	73,8	—
$C_{14:0}$	Миристиновая	16,1	14,0	8,3	4,0	26,1	9,5	—
$C_{16:0}$	Пальмитиновая	3,7	6,7	4,8	9,4	—	—	14,1
$C_{16:1}$	Пальмитолеиновая	4,9	9,6	10,1	6,9	5,8	3,8	25,4
$C_{16:2}$	Гексадекадиеновая	12,3	6,2	—	14,0	7,9	9,0	—
$C_{16:3}$	Гексадекатриеновая	7,8	94,9	22,4	94,3	10,8	8,8	—
$C_{17:0}$	Маргариновая	2,6	—	—	—	7,5	5,7	—
$C_{18:0}$	Стеариновая	—	86,7	90,4	43,0	—	10,2	65,3
$C_{18:1}$	Олеиновая	2,8	4,7	1,8	2,5	19,4	—	1,9
$C_{18:2}$	Линолевая	4,5	9,8	0,6	4,4	2,8	1,0	1,0
$C_{18:3}$	Линоленовая	5,0	3,5	1,2	3,5	7,8	2,0	8,9
$C_{20:0}$	Арахидоновая	12,5	5,5	9,1	4,1	6,4	4,7	53,8
$C_{20:1}$	Эйкозеновая	7,2	10,2	9,7	14,4	7,6	3,7	—
$C_{20:2}$	Эйкозадиеновая	—	86,4	75,5	69,6	4,7	5,0	42,0
$C_{20:5}$	Тимнодоновая	—	—	9,4	—	—	56,4	—
$C_{21:0}$	Генекозановая	—	—	—	6,6	4,6	—	—
$C_{22:0}$	Бегеновая	5,5	7,7	18,7	48,6	—	—	29,1
$C_{22:1}$	Эруковая	35,4	53,0	—	8,1	—	—	—
$C_{22:2}$	Докозадиеновая	54,3	—	25,8	56,8	—	—	—
$C_{24:0}$	Лигноцериновая	12,1	68,7	59,6	—	10,0	7,3	—
$C_{24:1}$	Нервоновая	16,7	12,9	—	—	6,3	0,0	—

Сравнительный анализ результатов определения массовой доли жирных кислот от общей их суммы показал различия среди изученных линий ярового рапса. Насыщенные жирные кислоты представлены в основном пальмитиновой — $C_{16:0}$ (3,6–4,7 мг/100 г), стеариновой $C_{18:0}$ (0–1,4), арахиновой $C_{20:0}$ (0,4–0), бегеновой $C_{22:0}$ (0,2–0,4 мг/100 г), составляющих в сумме в среднем 5,2 мг/100 г. В «длинностручковых» линиях сумма насыщенных жирных кислот составляла 5,6 мг/100 г; в «широкостручковых» — 5,3, а в линиях с вертикально расположенными стручками — 4,7 мг/100 г. Полиненасыщенные кислоты ($C_{16:2}$, $C_{16:3}$, $C_{18:2}$, $C_{18:3}$, $C_{20:2}$) в среднем составляли 29,5 мг/100 г от суммы жирных кислот. Питательная ценность масла рапса по принятому отношению ПНЖК/НЖК (полиненасыщенные жирные кислоты/насыщенные жирные кислоты) варьировала от 5,0 до 5,6 и соответственно от 4,9 до 6,5 в «длинно- и широкостручковых» линиях, у «вертикальностручковых» линий — от 5,5 до 7 (линия) 794-23-14. Линии с вертикальным расположением стручков были более ценными.

Масло всех представленных образцов по содержанию жира и белка, соотношению насыщенных и ненасыщенных жирных кислот соответствует требованиям, предъявляемым к использованию для диетического питания.

В поколении M_5 по сравнению с M_4 увеличилось разнообразие ЖК (рис. 1; 2; 3; 4): в «длинностручковых» линиях за счет короткоцепочечных: каприловой ($C_{8:0}$), пеларгониевой ($C_{9:0}$), миристиновой ($C_{14:0}$), маргариновой ($C_{17:0}$) и длинноцепочечных лигноцериновой ($C_{24:0}$) и нервоновой ($C_{24:1}$) из класса омега-3, являющихся незаменимыми, что повышает диетические свойства получаемого рапсового масла. Количество не характерной для рапса ЖК у отдельных растений было значительным, например, до 2,4 мг/100 г каприловой. В «длинностручковых» линиях 836-23-24 (0,02 % ДМС) и 782-2-27 (0,04 % ЭМС) содержание олеиновой кислоты ($C_{18:1}$) составило 64-66 и 63-65 мг/100 г соответственно, а в варианте 0.03 % ЭМС оно не превышало 57 мг/100 г, но при этом содержание линолевой кислоты ($C_{18:2}$) увеличилось в среднем на 20 %.

В «широкостручковых» линиях напротив, число коротких ЖК в M_5 сократилось по сравнению с M_3 и M_4, но появилась нежелательная эруковая кислота ($C_{22:1}$). По содержанию линолевой кислоты варьирование было незначительное.

Для линий, отличающихся компактностью и скороспелостью (вариант 0,03 % ЭМС), также характерно пониженное по сравнению с исходным сортом содержание $C_{18:2}$.

У растений с улучшенными морфологическими признаками масличность семян в отдельных случаях увеличилась на 10–15 %, а состав основных ненасыщенных жирных кислот сохранился на уровне исходного сорта. В «широкостручковых» линиях отмечено ухудшение состава ЖК за счет синтеза эруковой кислоты в вариантах с использованием 0,04 % ЭМС (до 10 мг/100 г) и 0,03 % ЭМС (до 0,6 мг/100).

Линия № 794-23-14 с вертикально расположенными стручками как самая ценная по соотношению ПНЖК/НЖК была использована для создания нового сорта.

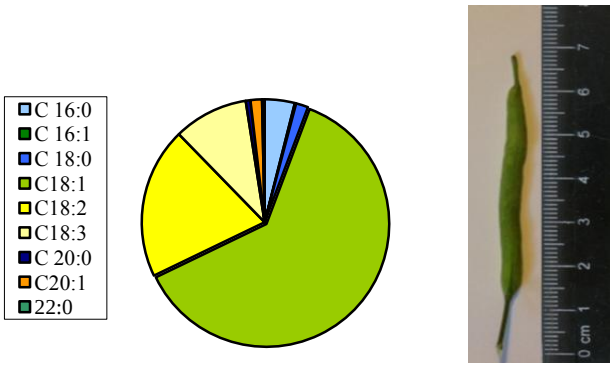

Рис. 1. Состав жирных кислот семян сорта Викрос (исходный сорт)

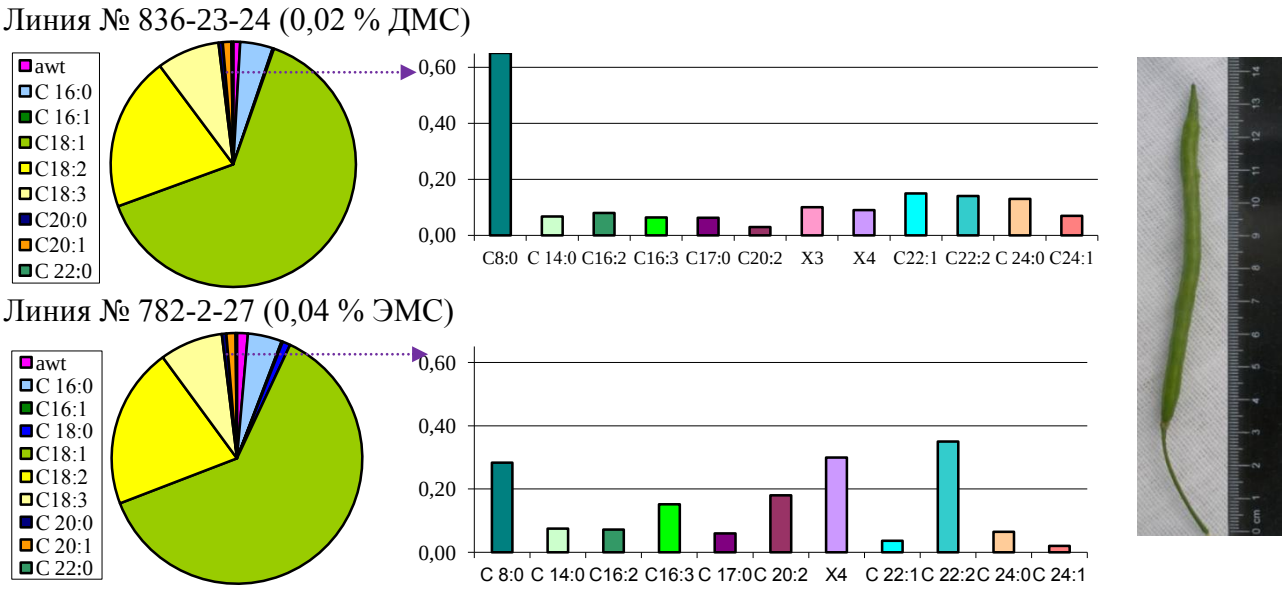

Рис. 2. Жирнокислотный состав семян, фенотип «длинные стручки»

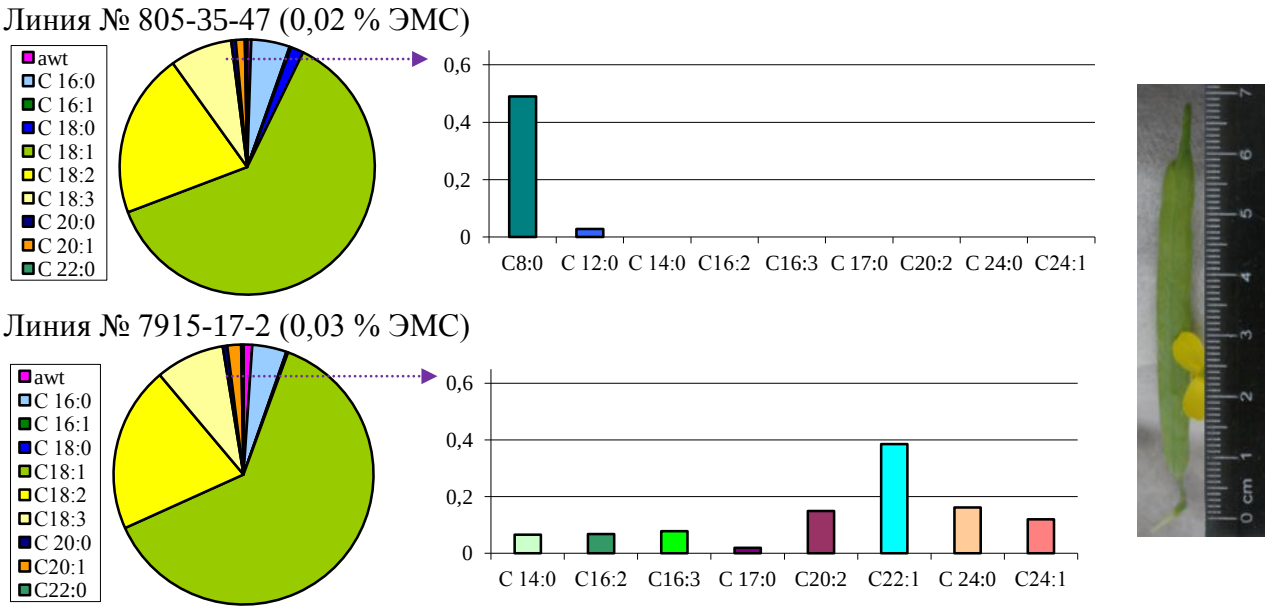

Рис. 3. Жирнокислотный состав семян, фенотип «широкие стручки»

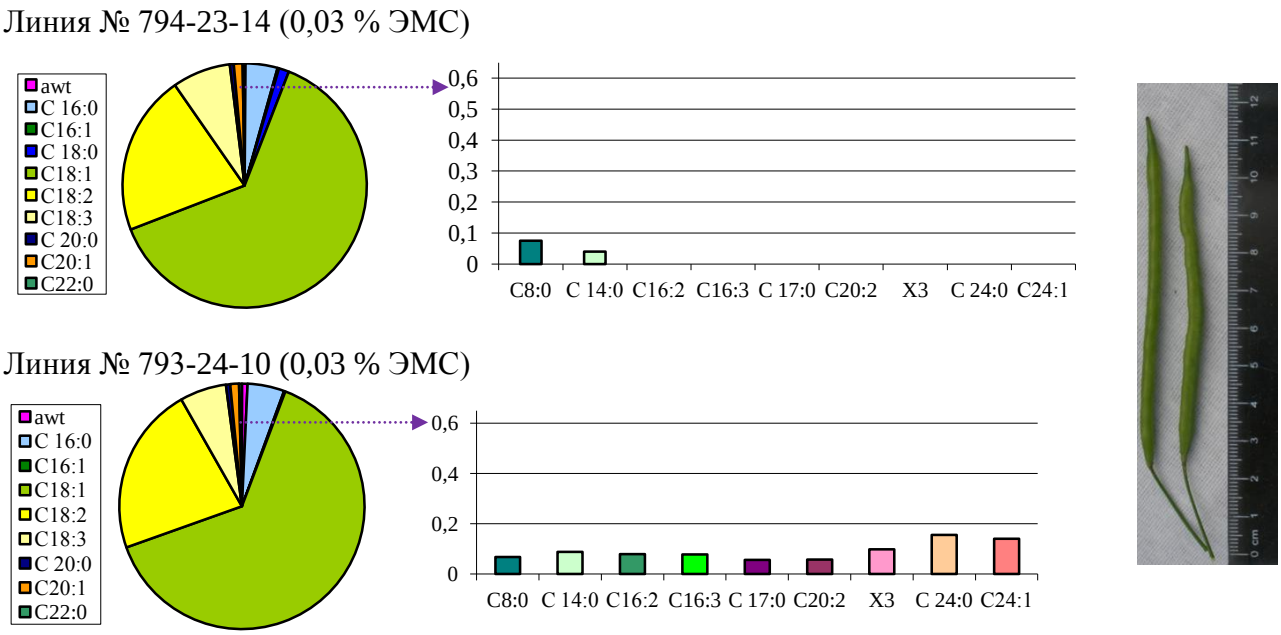

Рис. 4. Жирнокислотный состав семян, фенотип «вертикальные стручки»

Выводы. В составе жирных кислот фенотипически сходных линий, полученных с использованием химического мутагенеза, выявлены многочисленные изменения, но содержание основных жирных кислот (олеиновой, линолевой и линоленовой) по сравнению с исходным сортом Викрос было близким. Это благоприятно для отбора новых форм с улучшенными морфологическими признаками.

Отмечено сильное варьирование таких кислот как $C_{18:0}$ (v = 10…90,4 %), $C_{20:2}$ (v = 4,7…86,4 %), $C_{16:3}$ (v = 7,8…94,9 %), длинноцепочечных $C_{22:0}$, $C_{22:1}$, $C_{22:2}$.

В поколении M_5 по сравнению с M_4 увеличилось разнообразие ЖК: в «длинностручковых» линиях за счет короткоцепочечных: каприловой ($C_{8:0}$), пеларгониевой ($C_{9:0}$), миристиновой ($C_{14:0}$), маргариновой ($C_{17:0}$) и длинноцепочечных лигноцериновой ($C_{24:0}$) и нервоновой ($C_{24:1}$) из класса омега-3, являющихся незаменимыми, что повышает диетические свойства получаемого рапсового масла. В «широкостручковых» линиях напротив, число коротких ЖК в M_5 сократилось по сравнению с M_3 и M_4 и появилась нежелательная эруковая кислота ($C_{22:1}$) в вариантах с использованием 0,04 % ЭМС (до 10 мг/100 г) и 0,03 % ЭМС (до 0,6 мг/100).

У растений с улучшенными морфологическими признаками масличность семян в отдельных случаях увеличилась на 10–15 %, а состав основных ненасыщенных жирных кислот сохранился на уровне исходного сорта.

Масло всех представленных образцов по содержанию жира и белка, соотношению насыщенных и ненасыщенных жирных кислот соответствует требованиям, предъявляемым к использованию для диетического питания.

Линия № 794-23-14 с вертикально расположенными стручками как самая ценная по соотношению ПНЖК/НЖК была использована для создания нового сорта.

Литература

1. Singer S. D., Weselake R. J., Rahman H. Development and characterization of low α-linolenic acid *Brassica oleracea* lines bearing a novel mutation in a 'class a' FATTY ACID DESATURASE 3 gene // BMC Genetics. – 2014. – Vol. 15. – № 1 – Pp. 94–104. – EDN XTSXGZ. – DOI 10.1186/s12863-014-0094-7.
2. Warner K., Knowlton S. Frying quality and oxidative stability of high-oleic corn oils // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1997. – Vol. 74. – Pp. 1317–1322. – DOI 10.1007/s11746-997-0063-7.
3. Charbonnier E., Fugeray-Scarbel A., Lemarié S. Rapeseed: how to value varieties with higher nitrogen use efficiency in France // Oilseeds and fats, Crops and Lipids. – 2019. – Vol. 26. – DOI 10.1051/ocl/2019021.
4. Singh R. B., Dubnov G., Niaz M. A. Effect of an Indo-Mediterranean diet on progression of coronary artery disease in high risk patients (Indo-Mediterranean Diet Heart Study): a randomised single-blind trial // Lancet. – 2002. – Vol. 360. – № 9344. – Pp. 1455–1461. – EDN EIFZGT.
5. Рубанов С. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты — это должен знать каждый. http://culturazdoroviya.ru/omega-3-polinenasyshchennye-zhirnye-kisloty.html (дата обращения 03.01.2024).
6. Омега-6. https://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/omega-6/ (дата обращения 03.01.2024).
7. Вся правда об Омега-9 (олеиновая кислота). https://lifegid.com/bok/1636-vsya-pravda-o-omega-9-oleinovaya-kislota.html (дата обращения 02.01.2024).
8. Engqvist G. M., Becker H. C. Correlation studies for agronomic characters in segregating families of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.) // Hereditas. – 1993. – Vol. 118. – № 3. – Pp. 211–216. – EDN FOYGWX. – DOI 10.1111/j.1601-5223.1993.00211.x.
9. Aytac Z., Kinaci G. Genetic variability and association studies of some quantitative characters in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) // African Journal of Biotechnology. – 2009. – Vol. 8. – № 15. Pp. 3547–3554.
10. Genome-Wide Association Study of Genetic Control of Seed Fatty Acid Biosynthesis in *Brassica napus* / K. Gacek, P. E. Bayer, I. Bartkowiak-Broda, et al. // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 7. – DOI 10.3389/fpls.2016.02062.
11. Кравцов С. В., Пилюк Я. Э. Рапс – основная маслично-белковая культура Беларуси // Рапс: настоящее и будущее. К 40-летию возделывания рапса в Беларуси : Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Жодино, 18–19 июня 2026 г.). – С. 3–11.
12. Новый сорт ярового рапса Велес / В. Т. Воловик, А. В. Широкова, С. Е. Сергеева, и др. // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 2. – С. 44–56. – EDN XESLVO. – DOI 10.33814/AFP-2222-5366-2021-2-44-56.
13. Горшков В. И. Новый экологически пластичный сорт рапса ярового Эребус // Масличные культуры. – 2022. – № 4 (192). – С. 113–118. – EDN OLIXLB. – DOI 10.25230/2412-608X-2022-4-192-113-117.
14. Сорт рапса ярового Баланс / Л. А. Горлова, Э. Б. Бочкарева, В. В. Сердюк, Е. А. Стрельников // Масличные культуры. – 2022. – № 4 (192). – С. 110–112. – EDN QXUHTB. – DOI 10.25230/2412-608X-2022-4-192-110-112.
15. Успенская В. А., Бекиш Л. П. Универсальный сорт ярового рапса Оредеж 6 // Научные труды по агрономии. – 2020. – № 1 (3). – С. 45–50. – EDN LWRJUG. – DOI 10.37574/2658-7963-2020-1-45-50.
16. Кузнецова Г. Н., Полякова Р. С. Новый сорт рапса ярового Сибиряк 60 // Масличные культуры. – 2021. – № 2 (186). – С. 101–104. – EDN PZEXST. – DOI 10.25230/2412-608X-2021-2-186-101-104.
17. Spasibionek S. New mutants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with changed fatty acid composition // Plant Breeding. – 2006. – Vol. 125 (3). – Pp. 259–267. – DOI 10.1111/j.1439-0523.2006.01213.x.

18. Biosynthesis of *a*-linolenic acid by desaturation of oleic and linolenic acids in several organs of higher and lower plants and in algae / A. Cherif, J. P. Dubacq, R. Mache, et al. // Phytochemistry. – 1975. – Vol. 14. – Pp. 703–706.

References

1. Singer S.D., Weselake R.J., Rahman H. Development and characterization of low α-linolenic acid *Brassica oleracea* lines bearing a novel mutation in a 'class a' FATTY ACID DESATURASE 3 gene. BMC Genetics. 2014. Vol. 15. No. 1. Pp 94-104. DOI 10.1186/s12863-014-0094-7.
2. Warner K., Knowlton S. Frying quality and oxidative stability of high-oleic corn oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 1997. Vol. 74. Pp.1317-1322. DOI 10.1186/s12863-014-0094-7.
3. Charbonnier E., Fugeray-Scarbel A., Lemarié S. Rapeseed: how to value varieties with higher nitrogen use efficiency in France. Oilseeds and fats, Crops and Lipids. 2019. Vol. 26. DOI 10.1051/ocl/2019021.
4. Singh R.B., Dubnov G., Niaz M.A. Effect of an Indo-Mediterranean diet on progression of coronary artery disease in high risk patients (Indo-Mediterranean Diet Heart Study): a randomised single-blind trial. Lancet. 2002. Vol. 360. No. 9344. Pp. 1455-1461.
5. Rubanov S. *Omega-3 polinenasyshchennye zhirnye kisloty – eto dolzhen znat' kazhdyi* [Omega-3 polyunsaturated fatty acids – everyone should know this]. Available at: http://culturazdoroviya.ru/omega-3-polinenasyshchennye-zhirnye-kisloty.html (accessed: 03.01.2024).
6. Omega-6. Available at: https://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/omega-6/(accessed: 03.01.2024).
7. *Vsya pravda ob Omega-9 (oleinovaya kislota)* [The whole truth about Omega-9 (oleic acid)]. Available at: https://lifegid.com/bok/1636-vsya-pravda-o-omega-9-oleinovaya-kislota.html (accessed 02.01.2024).
8. Engqvist G.M., Becker H.C. Correlation studies for agronomic characters in segregating families of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). Hereditas. 1993. Vol. 118. No. 3. Pp. 211-216. DOI 10.1111/j.1601-5223.1993.00211.x.
9. Aytac Z., Kinaci G. Genetic variability and association studies of some quantitative characters in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). African Journal of Biotechnology. 2009. Vol. 8. No. 15. Pp. 3547-3554.
10. Gacek K., Bayer P.E., Bartkowiak-Broda I., et al. Genome-Wide Association Study of Genetic Control of Seed Fatty Acid Biosynthesis in *Brassica napus*. Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 7. DOI 10.3389/fpls.2016.02062.
11. Kravtsov S.V., Pilyuk Ya.E. *Raps – osnovnaya maslichno-belkovaya kul'tura Belarusi* [Raps is the main oilseed and protein crop in Belarus]. *Raps: nastoyashchee i budushchee. K 40-letiyu vozdelyvaniya rapsa v Belarusi* [Raps: the present and the future. On the 40th anniversary of rapeseed cultivation in Belarus]. Conference papers. Pp. 3-11.
12. Volovik V.T., Shirokova A.V., Sergeeva S.E., et al. *Novyj sort yarovogo rapsa Veles* [New variety of spring rapeseed "Veles"]. Adaptive fodder production. 2021. No. 2. Pp. 44-56. DOI 10.33814/AFP-2222-5366-2021-2-44-56.
13. Gorshkov V.I. *Novyj ekologicheski plastichnyj sort rapsa yarovogo Erebus* [New ecologically plastic spring rapeseed variety Erebus]. *Maslichnye kul'tury*. 2022. No. 4 (192). Pp. 113-118. DOI 10.25230/2412-608X-2022-4-192-113-117.
14. Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strel'nikov E.A. *Sort rapsa yarovogo Balans* [Spring rapeseed variety Balance]. *Maslichnye kul'tury*. 2022. No. 4 (192). Pp. 110-112. DOI 10.25230/2412-608X-2022-4-192-110-112.
15. Uspenskaya V.A., Bekish L.P. *Universal'nyj sort yarovogo rapsa Oredezh 6* [Universal variety of spring rape Oredezh 6]. *Nauchnye trudy po agronomii*. 2020. No. 1 (3). Pp. 45-50. DOI 10.37574/2658-7963-2020-1-45-50.

16. Kuznecova G.N., Polyakova R.S. *Novyj sort rapsa yarovogo Sibiryak 60* [The new spring rapeseed variety Sibiryak 60] *Maslichnye kul'tury*. 2021. No. 2 (186). Pp. 101-104. DOI 10.25230/2412-608X-2021-2-186-101-104.
17. Spasibionek S. New mutants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with changed fatty acid composition. Plant Breeding. 2006. Vol. 125 (3). Pp 259-267. DOI 10.1111/ j.1439-0523.2006.01213.x.
18. Cherif A., Dubacq J.P., Mache R., et al. Biosynthesis of *a*-linolenic acid by desaturation of oleic and linolenic acids in several organs of higher and lower plants and in algae. Phytochemistry. 1975. Vol. 14. Pp. 703-706.