

**СОСТАВ И СООТНОШЕНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ МАСЛОСЕМЯН
ОЗИМОГО И ЯРОВОГО РАПСА****Я.Э. Пилюк**, доктор с.х. наукРУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», г. Жодино
(Поступила 20.05.2022)

Рецензент: Лужинский Д.В., кандидат с.-х. наук

Аннотация. Представлены результаты анализа жирнокислотного состава сортов и образцов рапса, которые отличаются высоким содержанием ненасыщенной олеиновой кислоты – у озимого (58,1–67,8 %) и ярового рапса (54,8–67,5 %). Лучшие образцы с содержанием олеиновой кислоты 74–76 % при уровне линолевой 10–15 % и линоленовой кислоты 3,5–4 %, близки по составу жирных кислот к оливковому маслу. Установлена положительная корреляционная связь сильной степени ($r=0,93$) между содержанием олеиновой кислоты и масличностью озимого рапса. Показана положительная корреляционная связь сильной степени между содержанием олеиновой и линоленовой ($r=0,99$), а также арахидоновой ($r=0,99$) кислотами. Отрицательная корреляционная связь сильной степени установлена между уровнем линолевой кислоты и арахидоновой ($r=-0,90$), а также с эйкозеновой ($r=-0,85$) жирными кислотами. Показано, что антипитательная эруковая кислота находится в положительной корреляционной связи сильной степени с арахидоновой ($r=0,99$) и стеариновой ($r=0,73$) кислотами. Сильная отрицательная зависимость установлена между эруковой и олеиновой ($r=-0,89$) и средней степени с линоленовой ($r=-0,57$) кислотами.

Введение. Семена рапса являются основным источником получения пищевого растительного масла в Беларуси, а его белок широко используется в кормлении животных и птицы. В мире существует более 1,5 тысяч растительных масел, качество которых определяется составом жирных кислот [1]. В настоящее время известно свыше 200 жирных кислот [2]. На пищевые цели в качестве масла для жарения и консервирования, салатного масла и сырья для производства маргарина человеком используются более 90 % растительных масел [3].

Одним из основных направлений селекционной работы по рапсу является улучшение пищевых качеств масла, которое содержит более 30 жирных кислот. Наиболее важными и определяющими качество растительного масла, являются олеиновая, линолевая, линоленовая и пальмитиновая жирные кислоты. Ненасыщенные жирные кислоты: олеиновая, линолевая и линоленовая физиологически очень ценны. Дефицит ненасыщенных жирных кислот – одна из основных причин низкой продолжительности жизни людей [1]. Их доля в пищевом рапсовом масле может достигать свыше 90 %. Они составляют группу витаминов (F), которые обуславливают снижение чувствительности организма к повреждающему действию ультрафиолетовых лучей и радиоактивного излучения. Олеиновая кислота есть практически во всех известных жирах. По физиологи-

ческой активности она ниже, чем линолевая, но в ее присутствии активность последней увеличивается [4]. Незаменимая линолевая кислота поступает в организм животного и человека только с растительной пищей. Будучи существенным компонентом биомембран, она регулирует жизненные функции метаболизма, участвует в регулировании жирового обмена в организме человека и животных, связывает содержащийся в крови «плохой» холестерин, образуя с ним сложные эфиры, которые легко окисляются и выводятся из организма. Под действием витаминов группы В, особенно пиридоксина (В₆) и токоферола (Е), линолевая кислота в организме человека превращается в арахидоновую, которая по физиологической активности примерно на 25–30 % сильнее линоленовой [5].

В отличие от других масел (оливковое, подсолнечное), рапсовое масло содержит высокий процент линоленовой кислоты (6–12 %) [6]. Незаменимая линоленовая кислота участвует в кислородном обмене нервных клеток у животных и человека. Ее дефицит особенно проявляется в младенческом и старческом возрасте и может привести к необратимым нарушениям умственной способности и ухудшению зрения. Линоленовая кислота также является предшественником синтеза эйкозопантаеновой (С_{20:5}) и докозогексаеновой (С_{22:6}) кислот, обладающих свойством поддерживать деятельность сердечной, нервной и зрительной систем. Дефицит эйкозопантаеновой кислоты приводит к увеличению синтеза тромбксана и образованию тромбов [2, 5, 6]. Однако по физиологической активности она сильно уступает линолевой (1:9) и в организме животных и человека только частично превращается в арахидоновую кислоту [3]. Но, как наиболее ненасыщенная, эта кислота очень быстро окисляется и вызывает ухудшение качества масла в процессе хранения, обуславливая появление привкуса прогорклости и неприятного запаха. Поэтому для маслоперерабатывающей промышленности она является одной из нежелательных в составе пищевого масла, особенно при производстве гидратированных жиров.

Для пищевых целей наиболее пригодны масла с содержанием 20–25 % линолевой кислоты, с небольшим количеством линоленовой кислоты и отсутствием эруковой кислоты. Считается, что оптимальным соотношением линолевой (и ее производных ω-6) и линоленовой (и ее производных ω-3) кислот в питании человека должно быть 5:1 [7].

На содержание жирных кислот в масле большое влияние оказывают условия выращивания. Недозревшие семена рапса содержат меньше линоленовой кислоты. Кроме того, содержание этой кислоты коррелирует с содержанием хлорофилла в семенах [1].

При избыточной влажности в период созревания семян снижается содержание эруковой кислоты, повышается содержание органической серы, снижается выход рафинированного масла. Большая доля полиненасыщенных жирных кислот в масле синтезируется в прохладное время года. Повышение среднесуточных температур в период вегетации способствует значительному накоплению эруковой кислоты, а короткие холодные ночи стимулируют образование линолевой кислоты.

Большинство растительных пищевых масел содержат какие-либо нежелательные антипитательные или вредные вещества. Нежелательными в составе рапсового масла являются: ненасыщенные эйкозеновая и эруковая кислоты, танины, полифенолы, фитиновая кислота. Эруковая кислота нежелательна только в пищевом масле, и, наоборот, ее высокое содержание (до 65 %) необходимо для производства так называемого «эрукового масла», которое используется для технических и лечебных целей.

Рапсовое масло из безэруковых и низкоглюкозинолатных сортов по составу жирных кислот считается одним из лучших растительных масел, оно содержит наименьшее количество насыщенных жирных кислот, отличается высокой устойчивостью при хранении, длительное время сохраняет прозрачность, имеет приятный запах и высокую эмульсионную устойчивость [6]. Рапс, благодаря биологическим особенностям, практически не накапливает радионуклеотидов и его масло радиоактивно безопасно [8].

Материалы и методика исследований. Исследования проводили в 2019–2021 гг. на опытных полях РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» в Смолевичском районе Минской области. Технология возделывания озимого рапса на маслосемена общепринятая для данной зоны [9]. Закладку опытов, фенологические наблюдения, полевые и лабораторные учеты и анализ растений и маслосемян проводили согласно методике Государственного испытания (1988) [10], по методике ВИР (1989 г.) [11] и методике полевого опыта Б.А. Доспехова (1985) [12]. Оценку технологических качеств рапса проводили по общепринятым и усовершенствованным методикам: содержание в семенах сырого жира и белка методами Сосклета и инфракрасной спектроскопии, жирнокислотного состава масла – методом газожидкостной хроматографии, ВНИИМК, 1986, ISO 9167-1.

Объектом исследований служили образцы и сорта озимого и ярового рапса конкурсного сортоиспытания, различающиеся по комплексу селекционно-ценных признаков.

Метеорологические условия в период исследований отличались от среднеемноголетних показателей, особенно по температуре и количеству атмосферных осадков, но в целом складывались благоприятно для роста и развития озимого рапса.

Результаты исследований и их обсуждение. В настоящее время рапс является уникальной культурой по кардинальному изменению, практически за три десятилетия, биосинтеза жирных кислот. За этот период селекционным путем состав жирных кислот был значимо изменен и рапс из технической и кормовой культуры стал наиболее распространенной масличной культурой для производства растительного масла многих государств мира и в Беларуси. Качество рапсового масла в первую очередь определяется его жирнокислотным составом (рисунок 1.).

Первоначально в Беларусь широко завозились старые технические сорта рапса (в основном озимые) которые отличались высоким содержанием эруковой кислоты (до 50 %). Считалось, что наличие эруковой кислоты будет спо-

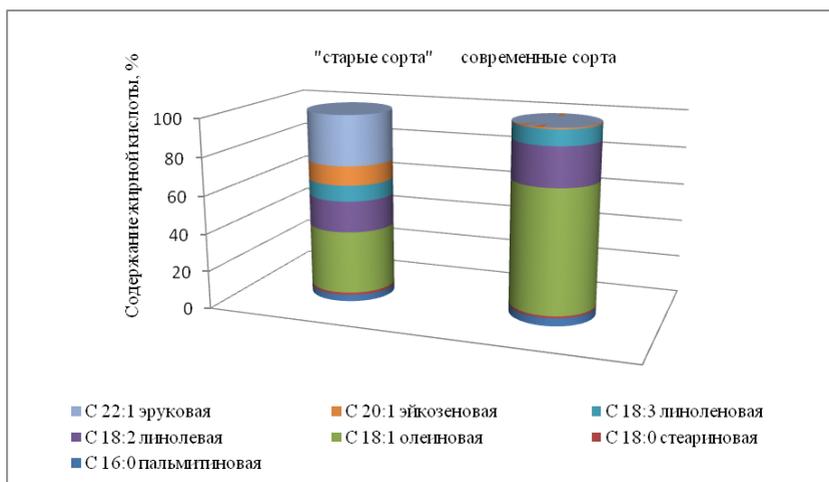


Рисунок 1 – Жирнокислотный состав «старых технических» и новых сортов рапса пищевого использования

способствовать лучшей перезимовке растений рапса. Однако высокоэруковые сорта для пищевых целей были изначально не пригодны, а масло старых сортов использовалось весьма ограниченно (в основном в мыловарении). Взаимосвязи перезимовки растений озимого рапса с наличием эруковой кислоты в семенах также не было установлено.

Селекционным путем жирнокислотный состав маслосемян озимого и ярового рапса совершенно изменился (рисунок 2 и таблица 1).

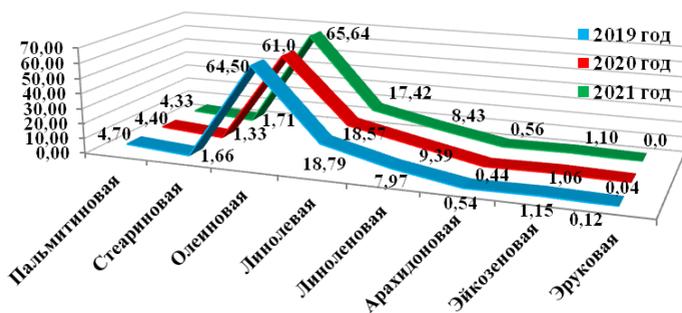


Рисунок 2 – Содержание жирных кислот в маслосеменах озимого рапса, среднее в %

Масло современных сортов озимого и ярового рапса по жирнокислотному составу стало равноценным оливковому и поэтому широко используется на пищевые цели, а селекция на этот признак, как показали результаты, имеет пер-

спективы. Исследованиями по установлению взаимосвязи жирнокислотного состава маслосемян озимого и ярового рапса в условиях Беларуси и комплексом селекционно-полезных признаков выявлено, что генотип и условия года оказывают большое влияние на состав жирных кислот этих культур. Рапсовое масло отличается высоким содержанием ненасыщенной олеиновой кислоты, как у образцов и сортов озимого (58,1-67,8 %), так и ярового рапса (54,8-67,5 %).

Таблица 1 – Жирнокислотный состав маслосемян ярового рапса, конкурсное сортоиспытание

Образец	Жирная кислота, %							
	пальмитиновая	стеариновая	олеиновая	линолевая	линоленовая	арахидоновая	эйкозеновая	эруковая
2019 г.								
Топаз, к.	4,13	1,70	63,19	19,61	9,76	0,43	0,99	0
среднее	4,14	1,62	62,95	19,70	9,98	0,42	1,12	0,03
Мин-макс.	3,86-4,35	1,39-1,8	60,78-66,08	18,7-22,37	9,41-10,85	0,38-0,49	0,9-1,86	0-0,29
2020 г.								
Топаз (к)	4,00	1,42	58,39	20,07	9,57	0,48	1,05	0
Среднее	4,04	2,06	58,82	19,73	9,30	0,64	1,36	0,06
Min - Max	3,65-4,69	1,42-2,78	54,78-63,92	17,46-23,19	7,91-11,47	0,4-0,87	0,85-2,51	0-0,32
2021 г.								
Топаз, к.	5,03	1,84	63,70	19,44	6,38	0,53	1,39	0
среднее	4,90	1,81	64,97	19,07	6,28	0,54	1,16	0,1
Min - Max	4,46-5,27	1,70-1,95	61,12-67,52	17,92-20,43	5,38-7,01	0,51-0,58	0,88-1,99	0-0,42

В селекционных программах по улучшению жирнокислотного состава рапсового масла получены образцы с содержанием олеиновой кислоты 74–76 %, при уровне линолевой 10–15 % и линоленовой кислоты 3,5–4 %. Положительная корреляционная связь сильной степени отмечена в среднем за 2019–2021 гг. между урожайностью сортов озимого рапса и содержанием линолевой ($r=0,70$), линоленовой ($r=0,95$) и арахидоновой ($r=0,92$) кислот, а с олеиновой кислотой ($r=0,71$) существенная связь выявлена только в жарком 2021 г. В остальные годы она была слабой и даже отрицательной. Между показателями содержания олеиновой кислоты и масличность озимого рапса в среднем за 2019–2021 гг. установлена положительная корреляционная связь сильной степени ($r=0,93$).

Вариабельность жирнокислотного состава маслосемян ярового рапса была также высокая, особенно по уровню линоленовой кислоты, содержание которой снизилось в жарком 2021 г. соответственно на 37,1 % при увеличении количества олеиновой в среднем до 64,97 % и пальмитиновой кислот максимально до 5,27 %. Маслосемена сортов озимого и ярового рапса были в целом близки по

жирнокислотному составу. Однако в экстремальный 2021 г. озимая форма была более стабильной по содержанию и соотношению жирных кислот. Реакция на жару в период созревания изменением биохимического состава семян была одинаковой.

В цепи биосинтеза жирных кислот каждая предыдущая кислота с меньшим числом бикарбонатных групп или меньшим числом двойных связей является предшественником последующей кислоты, поэтому содержание их в масле взаимообусловлено: повышение или снижение количества одной вызывает противоположное изменение содержания другой или нескольких жирных кислот, последующих в цепи биосинтеза. Так, например, небольшое повышение содержания эйкозеновой и эруковой кислот может сопровождаться существенным снижением содержания олеиновой кислоты и на оборот.

Коэффициенты корреляции между содержанием жирных кислот в маслосеменах озимого рапса представлены в таблице 2. Из данных таблицы видно, что насыщенные жирные кислоты (пальмитиновая и стеариновая) находятся практически в прямолинейной положительной зависимости ($r=0,98$).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции между содержанием жирных кислот в маслосеменах озимого рапса (среднее за 2019-2021 гг.)

Жирная кислота	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая	Линоленовая	Арахидиновая	Эйкозеновая	Эруковая
Пальмитиновая (16:0)	0,98	0,01	-0,09	0,87	-0,45	0,00	0,69
Стеариновая (18:0)		0,83	0,74	0,66	0,24	-0,96	0,73
Олеиновая (18:1)			0,22	0,99	0,99	-0,49	-0,89
Линолевая (18:2)				-0,63	-0,90	-0,85	0,05
Линоленовая (18:3)					0,74	-0,48	-0,57
Арахидиновая (20:4)						0,12	0,99
Эйкозеновая (20:1)							0,23

Положительная корреляционная связь сильной степени отмечена в среднем за 2019–2021 гг. между содержанием олеиновой и линоленовой ($r=0,99$), а также арахидиновой ($r=0,99$) кислот. Между уровнем линолевой кислоты и арахидиновой ($r=-0,90$), а также эйкозеновой ($r=-0,85$) жирными кислотами установлена отрицательная корреляционная связь сильной степени, т.е. увеличение полиненасыщенной линолевой кислоты идет за счет снижения арахидиновой, эйкозеновой и даже линоленовой ($r=-0,63$) кислот. Выявлено, что между содержанием полиненасыщенной линоленовой и арахидиновой кислот существует положительная корреляционная связь сильной степени ($r=0,74$). Нежелательная антипитательная эруковая кислота находится в положительной корреляционной

связи сильной степени с арахидоновой ($r=0,99$) и стеариновой ($r=0,73$) кислотами. Сильная отрицательная связь установлена между эруковой и олеиновой ($r=-0,89$) и средней степени с линоленовой ($r=-0,57$) кислотами.

Выводы

1. Рапсовое масло отличается высоким содержанием ненасыщенной олеиновой кислоты, как у образцов и сортов озимого (58,1–67,8 %), так и ярового рапса (54,8–67,5 %) и близко по составу жирных кислот к оливковому. Получены образцы рапса с содержанием олеиновой кислоты 74–76 % при уровне линолевой 10–15 % и линоленовой 3,5–4,0 %.

2. Между показателями содержание олеиновой кислоты и масличность озимого рапса установлена положительная корреляционная связь сильной степени ($r=0,93$). Положительная корреляционная связь сильной степени отмечена между урожайностью сортов озимого рапса и содержанием линолевой ($r=0,70$), линоленовой ($r=0,95$) и арахидоновой ($r=0,92$) кислот.

3. Установлена высокая вариабельность жирнокислотного состава маслосемян ярового рапса, особенно по уровню линоленовой кислоты, содержание которой снизилось в жарком и сухом 2021 г. на 37,1 % при увеличении количества олеиновой и пальмитиновой кислот.

4. Выявлена положительная корреляционная связь сильной степени между содержанием олеиновой и линоленовой ($r=0,99$), а также арахидоновой ($r=0,99$) жирными кислотами. Отрицательная корреляционная связь сильной степени установлена между уровнем линолевой кислоты и арахидоновой ($r=-0,90$), а также эйкозеновой ($r=-0,85$) кислотами. Антипитательная эруковая кислота находилась в положительной корреляционной связи сильной степени с арахидоновой ($r=0,99$) и стеариновой кислотами ($r=0,73$). Сильная отрицательная связи установлена между эруковой и олеиновой ($r=-0,89$) и средней степени с линоленовой ($r=-0,57$) кислотами.

Литература

1. Денисова, Э.В. Генетические основы селекции рапса (*Brassica napus* L.) на улучшение биохимических качеств семян / Э.В. Денисова, Т.В.Мазяркина. – Новосибирск. ИЦиГ СО РАН, 2010. – 253 с. – ISBN 978-5-91291-003-6
2. Комов, В.П., Шведова В.Н. Бихимия. – М.: Дрофа, 2004. – С. 284–301.
3. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение. – М.: Мир, 2002. – 408 с.
4. Химия жиров / Б.Н. Тютюнников, З.И. Бухштаб, Ф.Ф. Гладких, А.П. Мельник. – М.: Колос, 1992. – 448 с.
5. Григорьева, В.Н. Факторы, определяющие биологическую полноценность жировых продуктов / В.Н. Григорьева, А.Н. Лисицин // Масложировая промышленность. – 2002. – №4. – С. 14–17.
6. Пиллюк, Я.Э. Рапе в Беларуси: (биология, селекция и технология возделывания) / Я. Э. Пиллюк – Минск : Бизнесофсет, 2007. – 239 с.
7. Trautwein T.A. n-3 Fatty acids – physiological and technical aspects for their use in food // Eur.J. Lipid Sci. Technol. – 2001 – 103. – P. 45-55.
8. Артеменко, И.П. Актуальные проблемы переработки маслосырья в России / И.П. Артеменко, Р.Н. Дюбинский // Масложировая промышленность. – 2005. – №4. – С. 4–7.

9. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сборник отраслевых регламентов / Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию; рук. Разраб.: Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – С. 380-396.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. М. А. Федина. – М., 1988. – 121 с.

11. Методические указаниями по изучению мировой коллекции масличных культур / ВИР – СПб., 1976. – 23 с.

12. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агрпромпиздат, 1985. – 351 с.

COMPOSITION AND RATIO OF FATTY ACIDS IN WINTER AND SPRING RAPE OILSEEDS

Ya. E. Piliuk

The article presents the results of the analysis of fatty acid composition of varieties and samples of rape, which are characterized by a high content of unsaturated oleic acid: 58.1-67.8% - in winter rape and 54.8-67.5% - in spring rape. The best samples with oleic acid content of 74-76% and linoleic acid of 10-15% and linolenic acid of 3.5-4% are similar to olive oil in terms of fatty acid composition. A positive correlation ($r=0.93$) between oleic acid content and rape oil content is identified. A strong positive correlation between the content of oleic and linolenic acid ($r=0.99$), as well as arachidonic acid ($r=0.99$) is shown. A strong negative correlation is established between the level of linoleic acid and arachidonic acid ($r=-0.90$), as well as with eicosenoic ($r=-0.85$) fatty acids. It is shown that anti-nutritional erucic acid is in a strong positive correlation with arachidonic ($r=0.99$) and stearic ($r=0.73$) acids. A strong negative relation is established between erucic acid and oleic acid ($r=-0.89$), and a medium relation - with linolenic ($r=-0.57$) acid.

УДК 633.15:631.527:631.559

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО МУТАГЕНЕЗА ПРИ СОЗДАНИИ НОВОГО ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА КУКУРУЗЫ

В.И. Кравцов, Л.П. Шиманский, кандидат с.-х. наук

РНДУП «Полесский институт растениеводства»

(Поступила 01.04.2022)

Рецензент: Надточаев Н.Ф., кандидат с.-х. наук

***Аннотация.** В статье приведены результаты селекционной работы по созданию исходного материала кукурузы с использованием химического мутагенеза. Создан новый исходный материал с высокими показателями холодоустойчивости, пригодный для создания высокопродуктивных гибридов кукурузы с высоким адаптивным потенциалом.*