

УДК 633.853.494:581.19

## БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЁЛТОСЕЯННЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОГО РАПСА *BRASSICA NAPUS L.*

Маркелова Н.Г., Карпачев В.В.

*Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», Липецк, e-mail: vniirapsa@mail.ru*

Изучение жирнокислотного состава масла жёлтосемянных линий рапса – основа эффективной селекционной работы, направленной на создание жёлтосемянных сортов со стабильно экспрессируемой оптимальной композицией всех жирных кислот в масле для различных направлений использования. Исследования проводились в полевых и лабораторных условиях на базе ЛНИИР, г. Липецк, в 2018–2020 гг. Объектом исследований послужили 10 жёлтосемянных линий ярового рапса (ЯРЛ). Определение жирнокислотного состава масла семян рапса выполнялось в лаборатории биохимии с использованием метода газожидкостной хроматографии метиловых эфиров жирных кислот на хроматографе «Chrom 5». Все светлоокрашенные классы характеризуются пониженным содержанием олеиновой кислоты на 1,96–7,42%, повышенным содержанием линолевой на 2,27–4,82% с одновременным снижением содержания линоленовой на 0,26–2,08%. Линии ЯРЛ 4, 5, 7 и 10 отличаются высокими средними значениями содержания линолевой кислоты (24,0–25,1%), узкими доверительными интервалами данных и почти полным отсутствием эруковой кислоты. Низкие средние значения содержания линоленовой кислоты (7,7–9,4%) выявлены в семенах линий ЯРЛ 3, 4, 5, 7, 8 и 9, при этом ЯРЛ 7 выделяется самым высоким содержанием линолевой кислоты 24,5% и низким содержанием линоленовой 7,7%. Полученные ранговые коэффициенты корреляции выявили высокую отрицательную корреляционную зависимость между содержанием олеиновой и линолевой кислот в линиях ЯРЛ 2, 5, 6, 7, 8 и 9 ( $\text{Corr} = -0,815 \dots -0,967$ ) и значительную отрицательную корреляцию для линий ЯРЛ 1, 4, 10. Линии ЯРЛ 4, 5 и 7 обнаружили увеличенные средние значения содержания линолевой кислоты (24,0–25,1%), низкие значения линоленовой кислоты (7,8–9,2%) и отрицательное (ЯРЛ 4,  $\text{Corr} = -0,378$ ) и слабое положительное (ЯРЛ 5,  $\text{Corr} = 0,158$ ) корреляционное взаимодействие между линолевой и линоленовой кислотами.

**Ключевые слова:** рапс яровой, желтая окраска семенной оболочки, жирнокислотный состав, корреляция, олеиновая кислота, линолевая кислота, линоленовая кислота, эруковая кислота

## BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF YELLOW SPRING RAPE *BRASSICA NAPUS L.* SEED LINES

Markelova N.G., Karpachev V.V.

*Lipetsk Rapeseed Research Institute, the branch of Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center V.S. Pustovoyt All-Russian Research Institute of Oil crops», Lipetsk, e-mail: vniirapsa@mail.ru*

Studying the fatty acid composition of the oil of yellow rapeseed lines is the basis of efficient selective breeding work, aimed at creating yellow-seed varieties with steadily expressed optimal composition of all fatty acids in oil for various purposes. The studies have been carried out in field and laboratory conditions at the premises of Lipetsk rapeseed research institute, in Lipetsk in the period of 2018 – 2020 years. The object of research was 10 yellow-seeded lines of spring rapeseed (YRL). Determination of rapeseed oil fatty acid composition has been carried out in the biochemical laboratory using the method of gas-liquid chromatography of fatty acid methyl esters on «Chrom 5» chromatograph. All light-colored samples were characterized by an increased content of oleic acid by 1.96 – 7.42%, an increased content of linoleic acid by 2.27–4.82% with a corresponding decrease in the content of linolenic acid by 0.26–2.08%. YRL lines 4, 5, 7 and 10 were distinguished by high average values of linoleic acid content (24.0–25.1%), narrow confidence ranges of the data, and almost complete absence of erucic acid. Low average values of linolenic acid content (7.7 – 9.4%) were found in the samples of YRL lines 3, 4, 5, 7, 8, and 9, with YRL 7 having the highest linoleic acid content of 24.5% and low linolenic content of 7.7%. The obtained rank correlation parameters revealed a high negative correlation between the content of oleic and linoleic acids in the samples of YRL lines 2, 5, 6, 7, 8 and 9 ( $\text{Corr} = -0.815 \dots -0.967$ ) and demonstrated a significant negative correlation for YRL lines 1, 4, 10. YRL lines 4, 5 and 7 have shown increased mean values of linoleic acid (24.0–25.1%), low values of linolenic acid (7.8–9.2%) and negative (YRL 4,  $\text{Corr} = -0.378$ ) and a weak positive (YRL 5,  $\text{Corr} = 0.158$ ) correlation interaction between linoleic and linolenic acids.

**Keywords:** spring rape, yellow seed coat, fatty acid composition, correlation, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, erucic acid

Одним из перспективных направлений селекционной работы по рапсу является создание так называемых трёхнулевых сортов («000»), которые, в отличие от современных двухнулевых («00») безэруковых и низкоглюкозинолатных, сочетают в себе оба этих качества с жёлтой окраской семенной оболочки. Это один из путей увеличе-

ния выхода масла как за счёт снижения содержания сырой клетчатки в семенах, так и вследствие упрощения технологии производства и очистки масла [1].

Первый отечественный жёлтосемянный сорт Кенар выведен в 2000–2017 гг. во ВНИИМК методом многократного индивидуального отбора и самоопыления из вну-

тривидового гибрида линий Л 3649-100 и сорта Ярвэлон [2].

В ЛНИИР исследования по получению жёлтосемянных форм начаты с 1987 г. с применением методов мутагенеза, межвидовой гибридизации и ресинтеза рапса. Так, в результате многократного индивидуального-семейного отбора на жёлтосемянность в конце девяностых годов был получен селекционный материал с полностью жёлтоокрашенной семенной оболочкой [3].

Появление и накопление селекционного материала с жёлтой окраской семенной оболочки привело к необходимости исследования изменений в биохимическом составе масла, вызванных отбором, направленным на увеличение выраженности признака желтосемянности.

В целях улучшения качественных показателей рапсового масла жёлтосемянных линий ставилась задача не просто отбора по максимуму или минимуму содержания какой-то одной жирной кислоты, а создание линий со стабильно экспрессируемой оптимальной композицией всех жирных кислот в масле для различных направлений использования.

Известно, что содержание жирных кислот в масле взаимообусловлено, изменение содержания одной кислоты вызывает противоположное изменение в содержании другой, а возможно, и нескольких кислот, и не обязательно последующих в цепи биосинтеза [4].

Эруковая и линоленовая кислоты – конечные продукты биосинтеза и нежелательны для пищевого производства. Высокое содержание эруковой кислоты отрицательно коррелирует с низким уровнем пальмитиновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислотами. Селекция на безэруковость привела к генетическому блокированию удлинения цепи  $C_{18:1} \rightarrow C_{20:1} \rightarrow C_{22:1}$  у растений современных сортов масличного рапса, изменило содержание олеиновой кислоты, которое в среднем возросло на 1/6 часть (33%), удвоилось содержание линолевой [5].

В результате исследований жирнокислотного состава (ЖКС) отдалённых гибридов рапса (одного из источников получения жёлтоокрашенных семян), проведённых в ЛНИИР в 1990-е гг., выявлена высокая положительная корреляция между содержанием эйкозеновой и эруковой кислот; средняя между олеиновой и линоленовой, пальмитиновой и линоленовой и отрицательная корреляция между олеиновой и остальными кислотами [3].

Цель исследования – биохимическая оценка жёлтосемянных линий ярового

рапса (*Brassica napus* L.), выделившихся по стабильности и интенсивности проявления жёлтой окраски семян, статистический анализ жирнокислотного состава и выбор генотипов для селекции жёлтосемянных сортов и гибридов.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в полевых и лабораторных условиях на базе ЛНИИР, г. Липецк, в 2018–2020 гг.

Объектом исследований послужили 10 жёлтосемянных линий ярового рапса с процентным содержанием светлоокрашенных семян от 50 до 100%, для удобства в работе они получили индекс ЯРЛ (Яровой Рапс Липецкий) и порядковый номер, в качестве стандарта проанализирован жирнокислотный состав ярового рапса сорта Риф, селекции ЛНИИР. Линии получены методом многократного индивидуального отбора и самоопыления из внутривидовых гибридов сортов отечественной и зарубежной селекции, ресинтезированного рапса и регенерантов каллусной культуры [3].

Выращивание и принудительное самоопыление растений осуществлялось по общепринятой методике [6].

Определение жирнокислотного состава масла семян рапса выполнялось в лаборатории биохимии с использованием метода газожидкостной хроматографии метиловых эфиров жирных кислот по ГОСТ 30089-93 на хроматографе «Chrom 5». Для оценки образцов по жирнокислотному составу масла использовали урожай семян, собранный с делянки свободноцветущих растений.

Статистическую обработку данных (корреляционный анализ, построение диаграмм и визуализацию результатов) осуществляли при помощи языка программирования R (версии 4.0.5), в редакторе RStudio [7].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ жирнокислотного состава масла 140 образцов совокупности линий ЯРЛ в сравнении со стандартом показал отклонение (варьирование) средних значений содержания всех важнейших жирных кислот: пальмитиновой на 0,15%, олеиновой 4,44%, линоленовой на 3,92%, линолевой на 1,20%, эйкозеновой 0,57% от их среднего содержания в стандарте и появления достаточно существенных количеств эруковой кислоты в семенах отдельных линий потомков безэруковых донорных сортов (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение среднего содержания жирных кислот в стандарте и образцах линий ЯРЛ

Популяция	Содержание, %					
	C <sub>16:0</sub> pal	C <sub>18:1</sub> ole	C <sub>18:2</sub> lin	C <sub>18:3</sub> lil	C <sub>20:1</sub> eic	C <sub>22:1</sub> eru
St. Риф (black)	3,71	64,98	19,75	10,16	1,39	0,00
ЯРЛ	3,86	60,54	23,67	8,96	1,96	1,00
yellow	3,92	60,39	24,57	8,56	1,78	0,77
brown	3,60	63,02	22,02	9,90	1,44	0,01
multicolor	4,03	57,56	23,11	8,92	3,26	3,10

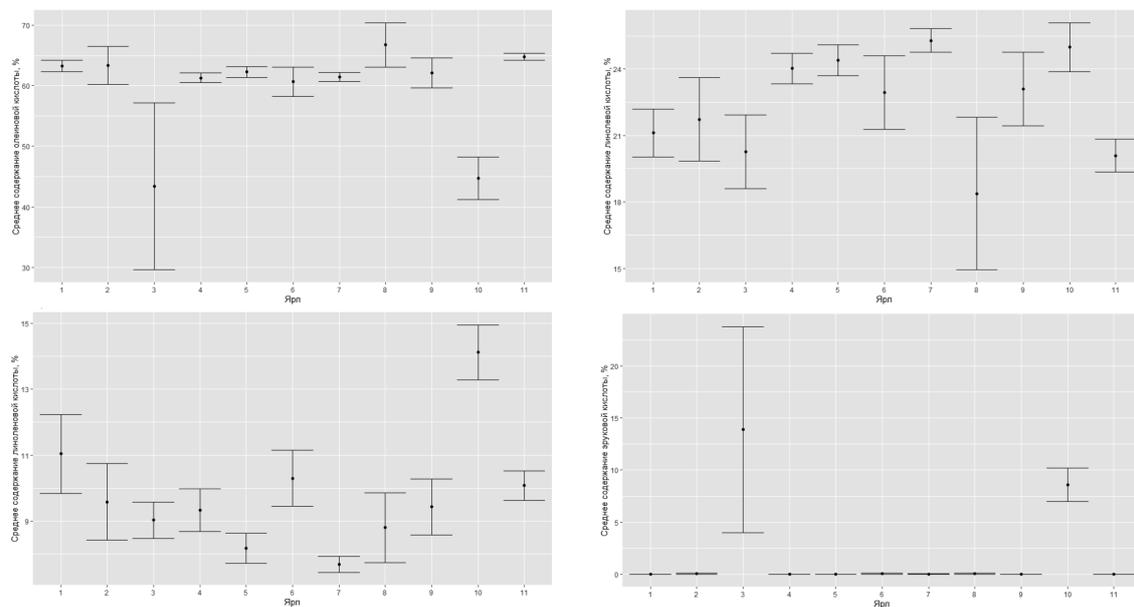


Рис. 1. Среднее содержание олеиновой, линолевой, линоленовой и эруковой кислот в линиях ЯРЛ (1–10) и стандарте (11)

Все исследуемые образцы ЯРЛ были разделены на три класса по окраске семян: коричневые (brown), желто-коричневые (multicolor) и желтые (yellow), тем самым в статистический анализ генеральной совокупности введена факторная переменная цвета семян. Следует упомянуть, что в составе каждой из 10 изученных линий ЯРЛ были семьи, принадлежащие ко всем трем классам окраски. Образцы стандартного сорта Риф отнесены к четвертому классу – темноокрашенные (black). Исходя из полученных средних значений содержаний жирных кислот в четырех цветовых классах прослеживается корреляция между изменениями в окраске семенной оболочки и процентным соотношением кислот в масле (табл. 1). Все светлоокрашенные классы характеризуются

пониженным содержанием олеиновой кислоты на 1,96–7,42% от общего ЖКС, повышенным содержанием линолевой на 2,27–4,82% с одновременным снижением содержания линоленовой на 0,26–2,08%, содержание эйкозеновой кислоты увеличилось на 0,05–1,87%. Не все полученные линии ЯРЛ сохранили безэруковость.

Линии ЯРЛ показали широкое варьирование содержания олеиновой, линолевой, линоленовой и эруковой кислот, как средних значений, так и величин разброса (изменчивости) данных внутри конкретного генотипа (рис. 1). Линии ЯРЛ 4, 5, 7 и 10 выделяются высокими средними значениями содержания линолевой кислоты (24,0–25,1%), узкими доверительными интервалами данных и почти полным от-

сутствием эруковой кислоты, могут быть использованы для дальнейшей селекции желтосемянных сортов с повышенным содержанием линолевой кислоты. Линии ЯРЛ 3 и ЯРЛ 10 значительно отличаются от остальных по наличию высоких содержаний эруковой кислоты, при этом широкий фенотипический ранг ее процентного содержания (4,8–27,5%) свидетельствует о нестабильности экспрессии признака в семьях линии ЯРЛ 3. Этим же линиям свойственны и самые низкие средние значения содержания олеиновой кислоты 44,2–45,0% так же с широкой вариабельностью ее процентного содержания у линии ЯРЛ 3 от 30,0 до 57,52%. В этом случае предположительно биосинтез жирных кислот преимущественно идет по пути пролонгации цепи  $C_{18:1} \rightarrow C_{20:1} \rightarrow C_{22:1}$ , что согласуется с данными других исследователей [4].

Линии ЯРЛ 1, 2 и 8 отличаются по высоким средним значениям содержания олеиновой кислоты (64,5–66,5%), что в целом несвойственно другим светлоокрашенным линиям. Линии ЯРЛ 1, 4, 5, 7 и 9 сохранили безэруковость. Низкие средние значения содержания линоленовой кислоты (7,7–9,4%) выявлены в семьях линий ЯРЛ 3, 4, 5, 7, 8 и 9, при этом ЯРЛ 7 выделяется как самым высоким содержанием линолевой кислоты

и низким линоленовой, так и малыми величинами разброса данных, что указывает на стабильность проявления признака.

Семьи, принадлежащие по окраске семенной оболочки к классу «yellow», отмечены самым высоким средним содержанием линолевой кислоты (24,5%) и достаточно узким доверительным интервалом (24,0–25,1%), что свидетельствует о том, что при отборе на желтосемянность процентное содержание линолевой кислоты увеличивается у всех линий ЯРЛ независимо от генотипа (рис. 2). При движении в ряду black – brown – multicolor – yellow уменьшаются значения среднего содержания олеиновой (от 64,9 до 60,4%) и линоленовой (от 10,2 до 8,6%) кислот, чем больше желтосемянных семей среди потомства линий, тем меньшим содержанием олеиновой и линоленовой кислот они характеризуются.

Высокие средние значения содержания эруковой кислоты (3,1%), ее доверительный интервал данных (0–6,7%) указывают на большую экспрессию выраженности признака и широкие фенотипические ранги содержания эруковой кислоты в семьях, которые были отнесены к классу «multicolor», что, по-видимому, обусловлено различной активацией ферментных систем, контролирующей синтез  $C_{20:1}$  и  $C_{22:1}$ .

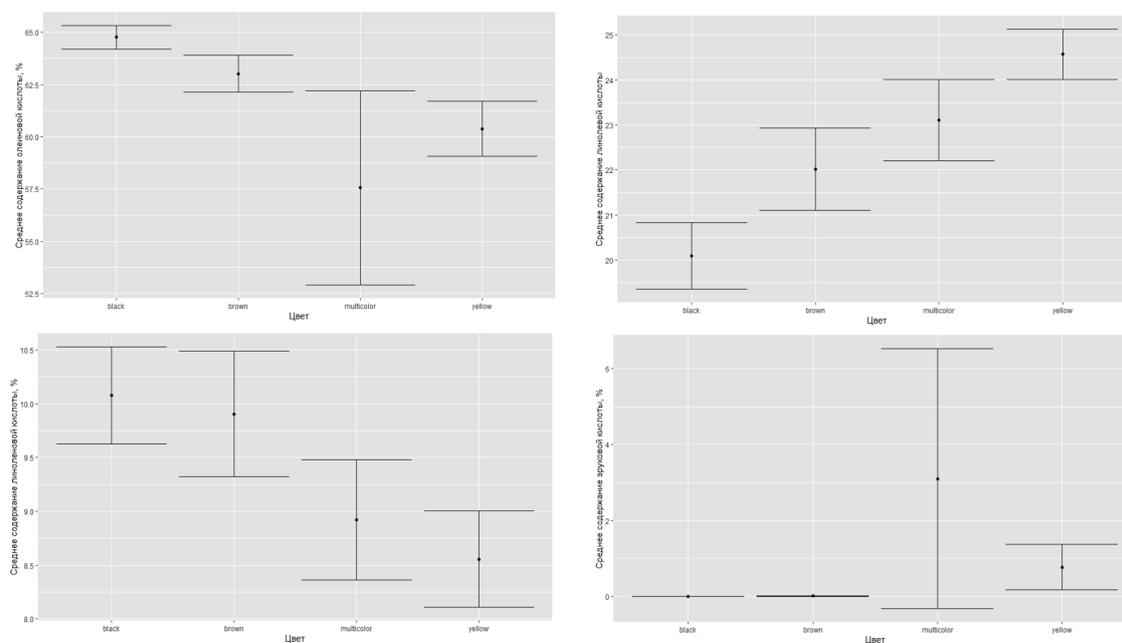


Рис. 2. Среднее содержание олеиновой, линолевой, линоленовой и эруковой кислот в классах по окраске семенной оболочки

Для измерения степени и направления связи между процентным содержанием важнейших жирных кислот в масле линий ЯРЛ и стандарта выполнен корреляционный анализ по методу Спирмена [7], значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена представлены наглядно на тепловых диаграммах и скаттерплот-матрицах, которые отражают корреляцию пар всех переменных на рис. 3, а также в табл. 2. Выбор ранговой корреляции обусловлен ее устойчивостью к выбросам (выпадающим данным) и отсутствием привязки к нормальности распределения данных.

Полученные ранговые коэффициенты корреляции выявили высокую отрицательную корреляционную зависимость между содержанием олеиновой и линолевой кислот в линиях ЯРЛ 2, 5, 6, 7, 8 и 9 (Согг = -0,815 до -0,967) и значительную отрицательную корреляцию для линий ЯРЛ 1, 4, 10, что объясняет трудоемкость отборов среди семей светлосемянных линий, направленных на увеличение содержания олеиновой кислоты с сохранением процента светлых семян в потомстве. Отрицательное корреляционное взаимодействие различной силы между олеиновой и всеми остальными кислотами наблюдалось во всех линиях ЯРЛ. Значительная и высокая положительная корреляция (Согг = 0,418 до 0,965) между содержанием эйкозеновой и эруковой кислот характерна для всех желтосемянных линий, кроме, совершенно безэруковых ЯРЛ 1 и ЯРЛ 5.

Жирнокислотный состав стандарта характеризуется заметной отрицательной

корреляцией между олеиновой и линолевой кислотами с коэффициентом ранговой корреляции Согг = -0,594, линоленовой и линолевой кислотами (Согг = -0,645), умеренной положительной корреляцией между пальмитиновой и линоленовой (Согг = 0,424) и слабой отрицательной корреляцией между олеиновой и всеми остальными кислотами.

Ранговые коэффициенты корреляции для связи между линолевой и линоленовой кислотами указывают на различную силу их взаимодействия, так линии ЯРЛ 2, 6, 8 и 9 отличает высокая положительная корреляция (Согг = 0,713 ... 0,788) между этими двумя кислотами, семей линий ЯРЛ 1, 3, 4, 10 – умеренная отрицательная (Согг = -0,207 ... -0,656), для ЯРЛ 5 – слабая положительная с ранговым коэффициентом равным 0,158.

Анализ скаттерплот-матриц и тепловых диаграмм, построенных по данным корреляционного анализа линий ЯРЛ 4, 5 и 7 (рис. 3), показал их большую селекционную ценность. Помимо увеличенных средних значений содержания линолевой кислоты (24,0–25,1%), низких содержаний линоленовой кислоты (7,8–9,2%) они обладают отрицательным (ЯРЛ 4, Согг = -0,378) и слабым положительным (ЯРЛ 5, Согг = 0,158) корреляционным взаимодействием между линолевой и линоленовой кислотами. В этом случае синтез линоленовой кислоты преимущественно идет по пути удлинения цепи от  $C_{16:3} \rightarrow C_{18:3}$ , тогда как для линии ЯРЛ 7 более значим путь ее синтеза посредством десатурации  $C_{18:2}$  на что указывает умеренная положительная корреляция этих двух кислот (Согг = 0,446) [4].

**Таблица 2**

Ранговый коэффициент корреляции между жирными кислотами масла линий ЯРЛ

Корреляционные пары	ЯРЛ 1	ЯРЛ 2	ЯРЛ 3	ЯРЛ 4	ЯРЛ 5	ЯРЛ 6	ЯРЛ 7	ЯРЛ 8	ЯРЛ 9	ЯРЛ10	St Риф
pal-ole	-0,230	-0,365	0,612	-0,414	-0,146	-0,287	-0,558	-0,365	-0,653	-0,750	-0,197
pal-lin	-0,124	-0,026	0,809	0,041	-0,176	-0,098	0,460	-0,026	0,617	0,752	-0,451
pal-lil	0,130	0,565	-0,489	0,048	0,047	-0,208	0,191	0,568	0,512	0,032	0,424
pal-eic	0,304	0,796	-0,609	0,632	0,565	0,880	0,219	0,796	-0,009	0,551	0,142
pal-eru	–	-0,182	-0,689	-0,095	–	0,752	0,260	-0,182	-0,082	0,589	–
ole-lin	-0,267	-0,920	0,557	-0,546	-0,815	-0,893	-0,934	-0,920	-0,967	-0,761	-0,594
ole-lil	-0,534	-0,962	-0,295	-0,498	-0,642	-0,752	-0,698	-0,962	-0,864	0,000	-0,150
ole-eic	0,348	-0,797	-0,972	-0,381	-0,212	-0,243	0,016	-0,797	-0,248	-0,938	-0,149
ole-eru	–	-0,581	-0,987	0,116	–	-0,286	-0,131	-0,581	-0,222	-0,948	–
lin-lil	-0,656	0,788	-0,207	-0,378	0,158	0,722	0,446	0,788	0,713	-0,521	-0,645
lin-eic	-0,259	0,537	-0,618	-0,051	0,045	-0,126	-0,160	0,537	0,231	0,514	-0,096
lin-eru	–	0,735	-0,646	-0,123	–	-0,057	0,000	0,735	0,292	0,771	–
lil-eic	-0,149	0,853	0,212	0,180	0,010	-0,236	-0,044	0,853	0,192	0,155	0,175
lil-eru	–	0,359	0,302	-0,050	–	-0,127	0,048	0,359	0,029	-0,237	–
eic-eru	–	0,418	0,948	0,389	–	0,965	0,853	0,418	0,618	0,915	–

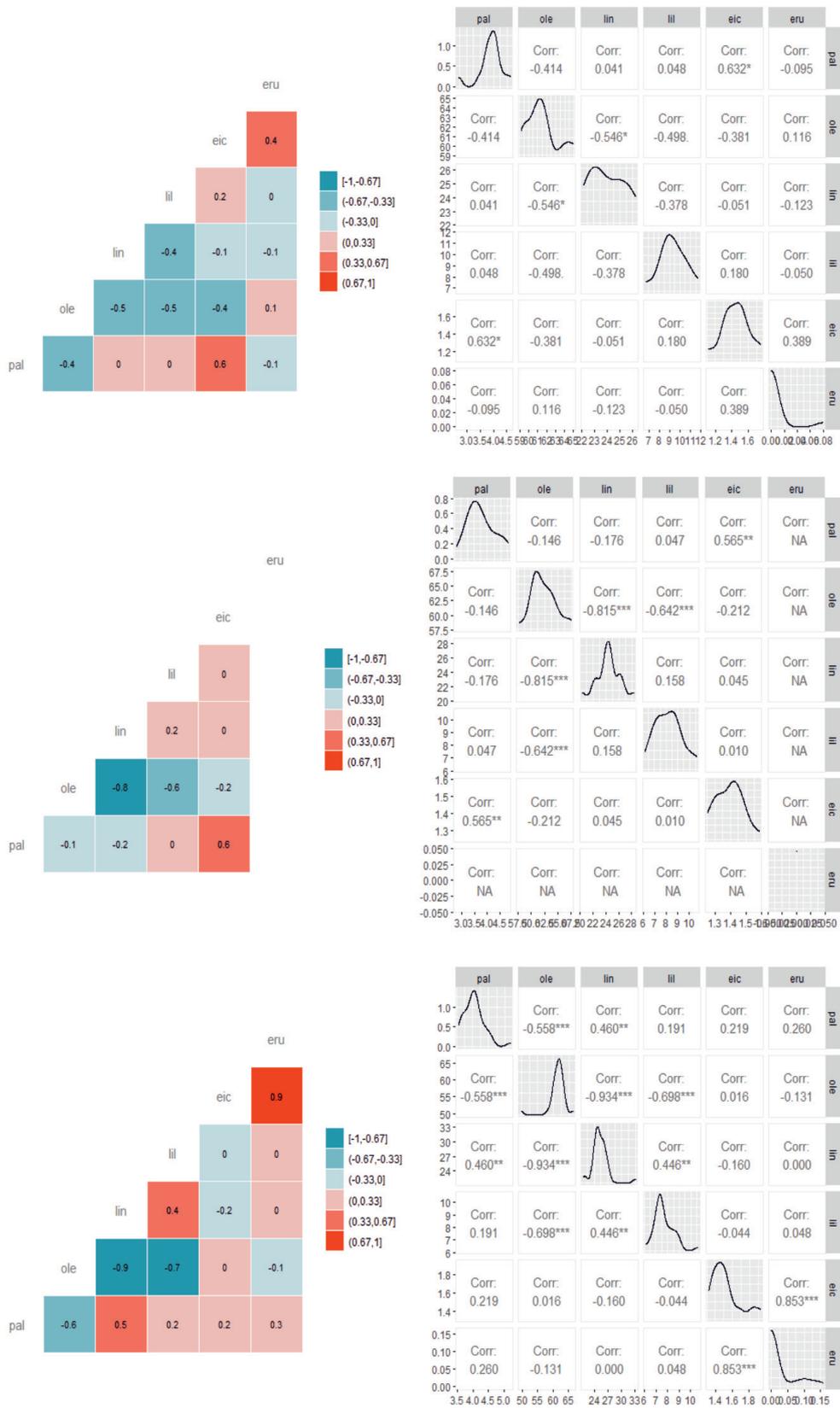


Рис. 3. Тепловая диаграмма (слева) и корреляционная матрица взаимодействий (справа) жирных кислот масла семян линии (сверху вниз) ЯРЛ 4, ЯРЛ 5 и ЯРЛ 7, где Corr – коэффициент ранговой корреляции Спирмена

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа моделей корреляционного взаимодействия линолевой и линоленовой кислот у желтосемянных линий ЯРЛ

Статистический критерий	ЯРЛ 4	ЯРЛ 5	ЯРЛ 7
p-уровень значимости	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$2,2 \cdot 10^{-16}$
t-критерий Стьюдента	25.88	40.961	73.419
Multiple R-squared (коэффициент детерминации)	0.1429	0.0250	0.1992
Adjusted R-squared (скорректированный коэффициент детерминации)	0.0714	-0.0213	0.1787
F-критерий Фишера	1.9999	0.5400	1.9999
Df (число степеней свободы)	12	21	39

Статистическая значимость полученных результатов доказана при помощи дисперсионного анализа моделей (табл. 3).

Как видно из результатов анализа, показаний t-критерия Стьюдента, значения R-квадрата (как прямого, так и исправленного), F- и p-критерия, данные результаты являются статистически значимыми. Они наглядно показывают, что образцы линии ЯРЛ 4, 5, 7 имеют качественно отличный от стандарта жирнокислотный состав.

#### Заключение

В результате трехлетней оценки жирнокислотного состава селекционных номеров желтосемянных линий ярового рапса были выделены три перспективные линии ЯРЛ 4, ЯРЛ 5, ЯРЛ 7, сочетающие повышенное содержание линолевой кислоты с низким содержанием линоленовой и различной теснотой корреляционного взаимодействия, от умеренно отрицательной до умеренно положительной, между ними.

Выделенные линии будут включены в селекционные программы, направленные на создание желтосемянных сортов, масло которых будет соответствовать стандартам пищевого салатного, т.е. будет безэруковым, высоколинолевым и низколинолевым.

#### Список литературы / References

- Theodoridou K., Yu P. Effect of processing conditions on the nutritive value of canola meal and presscake. Comparison of the yellow and brown-seeded canola meal with the brown-seeded canola presscake. *J. Sci. Food Agric.* 2013. Vol. 93. № 8. P. 1986–1995.
- Горлова Л.А., Бочкарёва Э.Б., Сердюк В.В., Стрельников Е.А., Поморова Ю.Ю. Первый отечественный желтосемянный сорт рапса ярового Кенар // Масличные культуры. 2019. № 3 (179). С. 168–170.
- Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strel'nikov E.A., Pomorova Y.Y. The first domestic yellow-seed variety of spring rape Kenar // *Maslichnyye kul'tury*. 2019. No. 3 (179). P. 168–170 (in Russian).
- Жидкова Е.Н. Отдаленная гибридизация в селекции рапса (*Brassica napus* L.): монография. Липецк: ЛГПУ, 2008. 163 с.
- Zhidkova E.N. Remote hybridization in rapeseed breeding (*Brassica napus* L.): monograph. Lipetsk: LGPU. 2008. 163 p. (in Russian).
- Денисова Э.В., Мазяркина Т.В. Генетические основы селекции рапса (*Brassica napus* L.) на улучшение биохимических качеств семян. Новосибирск: ИЦиГ Со РАН, 2010. 253 с.
- Denisova E.V., Mazyarkina T.V. Genetic bases of rapeseed (*Brassica napus* L.) breeding to improve the biochemical qualities of seeds. Novosibirsk: ITsiG So RAN, 2010. 253 p. (in Russian).
- Abbadì A., Leckband G. Rapeseed breeding for oil content, quality, and sustainability. *European J. of Lipid Science and Technology*. 2011. Vol. 113. № 10. P. 1198–1206.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
- Dospexov B.A. Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches). М.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 352 p. (in Russian).
- Кабаков Р.И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R. М.: ДМК Пресс, 2014. 588 с.
- Kabakov R.I. R in action. Analysis and visualization of data using R program. М.: DMK Press, 2014. 588 p. (in Russian).