

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКООЛЕИНОВОГО НИЗКОЛИНОЛЕНОВОГО РАПСА ЯРОВОГО ВО ВНИИМК

Голова А.А., Горлова Л.А., Ефименко С.Г.

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Lelyk96@mail.ru, lagorlova26@yandex.ru, biohim@vniimk.ru

Проведён статистический анализ некоторых хозяйственно-ценных признаков растений рапса ярового сорта Амулет, в результате которого установлено сильное варьирование признака массы семян с растения (28,9 %), средняя изменчивость признака содержания линоленовой кислоты в масле семян (12,7 %) и слабое варьирование масличности и содержания олеиновой кислоты (4,2 и 2,0 % соответственно). Выявлена высокая корреляция содержания олеиновой кислоты с продуктивностью растений ($r = 0,76$) и масличностью семян ($r = 0,99$), а также между масличностью и продуктивностью ($r = 0,76$). Отрицательная связь средней силы обнаружена между показателями линоленовой кислоты и урожайностью ($r = -0,37$), а также масличностью ($r = -0,43$). Полученные данные свидетельствуют о достаточном количестве генотипов с необходимым для нас сочетанием высокой урожайности, масличности, содержания олеиновой кислоты с низким уровнем линоленовой кислоты в масле семян рапса ярового.

Ключевые слова: рапс яровой, коэффициент вариации, коэффициент корреляции, масса семян одного растения, масличность, олеиновая кислота, линоленовая кислота

Введение. Растущий спрос на полезный источник масла для питания человека и производства биотоплива, а также использование рапсового шрота в качестве высококачественного корма для животных привели к значительному увеличению мировых площадей возделывания масличного рапса [1].

Учитывая относительно высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот, рапсовое масло менее пригодно для жарки во фритюре и промышленных целей. Это объясняется потенциальным образованием транс-изомеров жирных кислот и окислением масла во время высокотемпературной обработки или длительного хранения. Масло с высоким содержанием мононенасыщенной олеиновой кислоты (более 72 %) ценно для питания человека, поскольку оно снижает уровень ЛПНП («плохого») холестерина в сочетании с триглицеридами и повышает уровень ЛПВП («хорошего») холестерина, тем самым улучшая вязкость клеток крови, таким образом, предотвращая эмболию и сердечно-сосудистые заболевания [2, 3]. В то же время рапсовое масло с высоким содержанием олеиновой и низким содержанием линоленовой кислоты (HOLL - high oleic low linolenic) рекомендуется для питания из-за его длительного срока хранения и стабильности при высоких температурах [4]. Это свойство также делает его оптимальным сырьем для производства биодизеля [5]. Линоленовая кислота легко окисляется и нестабильна при жарке. Было показано, что уменьшенное количество линоленовой кислоты в рапсовом масле продлевает его сроки хранения, поэтому такое масло оптимально для жарки во фритюре, что важно для продуктов питания быстрого приготовления [6, 7].

В 2007 году в Австралии рапсовое масло типа HOLL в новых сортах ярового рапса определялось как масло, содержащее более 65 % олеиновой кислоты и менее 3 % линоленовой кислоты [8]. Впоследствии канадские и австралийские сорта и гибриды рапса ярового HOLL, содержащие 68 % олеиновой и 3 % линоленовой кислоты в масле семян, были созданы компанией Cargill. На сегодняшний день стандартное определение рапса



HOLL включает сорта и гибриды, масло которых содержит более чем 75 % олеиновой кислотой и приблизительно 3 % линоленовой [9].

Изменением жирно-кислотного состава рапса ярового во ВНИИМК начали заниматься в 1995 году, когда учёные методом внутривидовой гибридизации добились снижения уровня линоленовой кислоты в масле семян до 4,3 %, в результате чего был создан сорт Викинг-ВНИИМК [10]. В 2006 году путём химического мутагенеза были получены линии с повышенным содержанием олеиновой кислоты, и впоследствии на основе полученного селекционного материала был создан сорт Амулет с содержанием олеиновой кислоты 77,5 % [11].

Целью данного исследования являлось определение возможности отбора биотипов типа HOLL из линейного сорта Амулет, сочетающих высокую урожайность, высокую масличность, высокое содержание олеиновой кислоты и очень низкое содержание линоленовой кислоты (2,0–2,5 %).

Материалы и методы. Материалом для исследований служил высокоолеиновый сорт рапса ярового Амулет. Посев осуществляли селекционной сеялкой Wintersteiger. Густота стояния составляла 70–80 раст./м². Индивидуальные растения (n=100) убирали вручную. После обмолачивания определяли продуктивность одного растения, содержание масла в семенах, уровень олеиновой и линоленовой кислоты в масле.

Масличность и содержание жирных кислот в семенах определяли на ИК-анализаторе MATRIX-I [12]. Для характеристики изменчивости исследуемых признаков использовали коэффициент вариации (CV) и среднее значение признака (\bar{x}). Согласно принятой градации, по величине вариации все признаки были разделены на слабоизменчивые ($CV \leq 10\%$); среднеизменчивые ($10\% < CV < 20\%$) и сильноизменчивые ($CV \geq 20\%$). По исследуемым признакам была проведена оценка коэффициентов линейной корреляции Пирсона (r) и детерминации (r²). Считается, если коэффициент корреляции находится в пределах $0 \leq r \leq 0,33$, то корреляционная зависимость между признаками слабая, при значении r от 0,33 до 0,66 – средняя, сильной степень корреляции является, если коэффициент r находится в пределах $0,66 \leq r \leq 1$. Результат является существенно значимым при $p < 0,05$ [13].

Результаты и обсуждения. Сравнительный анализ сортов рапса ярового селекции ВНИИМК в питомнике конкурсного сортоиспытания показал, что по признаку урожайности сорт Амулет за 5 лет находился на уровне 1,45 т/га и оказался ниже других сортов на 0,05–0,19 т/га по этому показателю. Сбор масла с единицы площади сорта Амулет так же был самым низким – 0,61 т/га, у других коммерческих сортов этот показатель был на уровне от 0,63 до 0,68 т/га. Возникает необходимость создания высокоолеинового, низколиноленового сорта (типа HOLL) с более высокой урожайностью и сбором высококачественного масла, соответственно, более рентабельного в выращивании (табл. 1).

Таблица 1. Основные хозяйственно ценные признаки сортов рапса ярового в конкурсном сортоиспытании

ВНИИМК, Краснодар, 2021–2024 гг.

Сорт	Урожайность, т/га	Масличность, %	Сбор масла, т/га	Содержание кислоты, %	
				олеиновой	линоленовой
Амулет	1,45 ± 0,26*	46,8 ± 0,7*	0,61 ± 0,11*	77,1 ± 2,1*	4,4 ± 1,0*
Таврион	1,58 ± 0,35	47,5 ± 0,8	0,68 ± 0,27	71,6 ± 1,5	5,7 ± 1,0
Викинг-ВНИИМК	1,50 ± 0,26	46,5 ± 0,9	0,63 ± 0,12	72,4 ± 1,6	5,3 ± 0,9
Руян	1,63 ± 0,28	46,6 ± 1,0	0,68 ± 0,16	71,2 ± 1,4	5,6 ± 0,9
Баланс	1,64 ± 0,33	46,3 ± 0,92	0,68 ± 0,14	71,2 ± 1,5	5,6 ± 1,0

Примечание. * – стандартное отклонение

Масличность семян сорта Амулет составила 46,8 %, более высокое значение наблюдалось только у сорта Таврион – 47,5 %. Содержание олеиновой кислоты в масле семян растений высокоолеинового сорта было на уровне 77,1 %. Уровень линоленовой кислоты в масле семян сорта Амулета был ниже всех исследуемых сортов – 4,4 %.

Для определения возможности отбора высокопродуктивных, высокомасличных, высокоолеиновых, низколиноленовых биотипов из популяции сорта Амулет были определены коэффициенты изменчивости показателей продуктивности отдельного растения, масличности, олеиновой и линоленовой жирных кислот. Анализ признаков 100 растений сорта Амулет показал, что масса семян с одного растения в условиях 2024 года в среднем составляла 13,0 г. Коэффициент варьирования равнялся 28,9 %, соответственно, признак был отнесён к сильноизменчивым, что позволяет сделать вывод о высокой доли вероятности отбора продуктивных биотипов. Средняя масличность в семенах сорта Амулет составила 46,6 %. Коэффициент изменчивости этого признака равен 4,2 %. Низкое значение свидетельствует о слабой изменчивости, а значит, большей выравненности признака. Среди исследуемых линий встречались и биотипы с очень высокой масличностью (до 51,6 %), что указывает на большую вероятность отбора растений, которые сочетали бы высокую масличность с другими необходимыми селективируемыми параметрами (табл. 2).

Таблица 2. Параметры варьирования хозяйственно ценных признаков масла семян растений сорта рапса ярового Амулет

ВНИИМК, Краснодар, 2024 г.

Признак	\bar{x}	min	max	CV, %
Масса семян с одного растения, г	13,0	4,2	23,0	28,9
Масличность, %	46,6	42,1	51,6	4,2
Олеиновая кислота, %	81,2	77,9	84,4	2,0
Линоленовая кислота, %	3,0	2,1	4,3	12,7

Среднее значение олеиновой кислоты в масле семян растений сорта Амулет было 81,2 %. Признак показал слабую изменчивость, коэффициент вариации составил 2,0 %. Такие показатели говорят о наличии биотипов, которые ввиду высокой степени закрепления признака можно использовать в дальнейшей селекции как источник высокого содержания олеиновой кислоты в масле семян рапса ярового.

Коэффициент изменчивости признака содержания линоленовой кислоты был равен 12,7 % и свидетельствовал о средней степени варьирования признака. Среднее значение линоленовой кислоты среди 100 исследуемых линий было 3,0 %, а минимальное – 2,1 %. Такие показатели позволяют с высокой вероятностью делать прогноз на успешный отбор растений с очень низкой концентрацией линоленовой кислоты (2,0–2,5 %), что и будет являться целью дальнейших работ (табл. 3).

Таблица 3. Корреляция между жирными кислотами и хозяйственно ценными признаками у растений сорта рапса ярового Амулет, n=100

ВНИИМК, Краснодар, 2024 г.

Признак	Олеиновая кислота			Линоленовая кислота			Масличность		
	r	r^2	p	r	r^2	p	r	r^2	p
Масса семян с одного растения	0,76	0,58	<0,00001	-0,37	0,13	0,0003	0,76	0,59	<0,00001
Масличность	0,99	0,99	<0,00001	-0,43	0,18	<0,00001	-	-	-
Линоленовая кислота	-0,12	0,01	0,16	-	-	-	-	-	-

В результате математической обработки данных были выявлены корреляционные зависимости между исследуемыми признаками. Содержание олеиновой кислоты в масле



семян растений высокоолеинового сорта рапса ярового показало высокую степень положительной корреляции с массой семян с одного растения ($r = 0,76$) и масличностью ($r = 0,99$), а также была обнаружена положительная связь между масличностью и массой семян с одного растения ($r = 0,76$). Полученные данные показывают, что селекционеры имеют очень высокие шансы на создание высокопродуктивного, высокомасличного и высокоолеинового рапса.

Результаты корреляционного анализа показали слабую отрицательную связь на недостоверном уровне ($p = 0,16$) между признаками содержания олеиновой и линоленовой кислоты. Отрицательная корреляция была выявлена между показателями линоленовой кислоты с массой семян с одного растения ($-0,37$) и масличностью ($-0,43$), коэффициенты детерминации (r^2) при этом оказались равны $0,13$ и $0,18$, соответственно. Это показывает на наличие ограниченного количества генотипов с необходимым для нас сочетанием высокой продуктивности, масличности, содержанием олеиновой кислоты и низким уровнем линоленовой кислоты в масле семян рапса ярового (табл. 3).

Заключение. Полученные коэффициенты варьирования и корреляции при анализе высокоолеинового сорта рапса ярового Амулет по признакам: продуктивность растения, масличность, содержание олеиновой и линоленовой кислот показали возможность отбора из этого сорта биотипов, сочетающих высокую семенную продуктивность, высокую масличность с высоким содержанием олеиновой и очень низким линоленовой кислоты, то есть создания высокоурожайного рапса ярового с маслом качества HOLL.

Литература

1. FAO STAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO STAT, 2023. Available online <http://www.fao.org/faostat/en>
2. Jones P.J.H. et al. DHA-enriched high-oleic acid canola oil improves lipid profile and lowers predicted cardiovascular disease risk in the canola oil multicenter randomized controlled trial // The American journal of clinical nutrition. – 2014. – Т. 100. – №. 1. – С. 88–97.
3. Davis K.M. et al. Effects of diets enriched with conventional or high-oleic canola oils on vascular endothelial function: A sub-study of the Canola Oil Multi-centre Intervention Trial 2 (COMIT-2), a randomized crossover controlled feeding study // Nutrients. – 2022. – Т. 14. – №. 16. – С. 3404.
4. Matthäus B., Haase N., Unbehend G. Impact of HOLL rapeseed oil during frying on product quality during storage. Proc. 13th Int. Rapeseed Congress, Czech Republic. – 2011. – pp. 528–531.
5. Pinzi S.G., Garcia I.L., Lopez-Gimenez F.J., Luque de Castro M.D., Dorado G., & Dorado M. P. The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications. Energy & Fuels. – 2009. – Т. 23 (5). – pp. 2325–2341.
6. Roszkowska B., Tańska M., Czaplicki S., & Konopka I. Variation in the composition and oxidative stability of commercial rapeseed oils during their shelf life. // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2015 – Т. 117 (5). – pp. 673–683.
7. Barth C.A. Nutritional value of rapeseed oil and its high oleic/low linolenic variety // European journal of lipid science and technology. – 2009. – Т. 111. – №. 10. – С. 953–956.
8. Maher L., Burton W., Salisbury P., Debonte L., & Deng X. High Oleic, low linolenic (HOLL) specialty canola development in Australia. In Proceedings of the 12th International Rapeseed Congress. – 2007. – Vol. 5. – pp. 22–25.
9. Spasibionek S., Mikołajczyk K., Matuszczak M. et al. HO-CR and HOLL-CR: new forms of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) with altered fatty acid composition and resistance to selected pathotypes of *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). J Appl Genetics. – 2024. – Т. 65. – pp. 439–452.

10. Сердюк В.В., Бочкарева Э.Б., Горлов С.Л. Результаты исследований по оптимизации жирно-кислотного состава масла рапса ярового во ВНИИМК // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК. – 2007. – № 1 (136). – С. 76–78.

11. Горлов С.Л., Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В. Высокоолеиновый сорт рапса ярового Амулет. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК. – 2015. – № 2 (162). – С. 127–128.

12. Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Кучеренко Л.А., Нагалева Я.А. Экспресс-оценка содержания основных жирных кислот в масле семян рапса с помощью ИК-спектрии // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК. – 2015. – № 4 (164). – С. 35–40.

13. Доспехов А.Б. Методика полевого опыта. М.: Колос. – 1973. – 336 с.

**POSSIBILITIES OF DEVELOPMENT OF HIGH OLEIC LOW LINOLENIC SPRING
RAPESEED AT V.S. PUSTOVOIT ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE
OF OIL CROPS**

Golova A.A., Gorlova L.A., Efimenko S.G.

Statistical analysis of some economically valuable traits of spring rapeseed plants of variety Amulet was carried out, as a result of which strong variation of seed weight per plant (28.9 %), medium variability of linolenic acid content in seed oil (12.7 %) and weak variation of oil content and oleic acid content (4.2 and 2.0 %, respectively) were found. High correlations were found between oleic acid content and plant productivity ($r = 0.76$) and oil content of seeds ($r = 0.99$), and between oil content and productivity ($r = 0.76$). A moderate negative relationship was found between linolenic acid levels and yield ($r = -0.37$) and oil content ($r = -0.43$). The obtained data indicate a sufficient number of genotypes with the necessary combination of high yield, oil content, oleic acid content and low level of linolenic acid in spring rapeseed seed oil.

Key words: spring rapeseed, coefficient of variation, correlation coefficient, seed weight of one plant, oil content, oleic acid, linolenic acid