

СЕЛЕКЦИЯ ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ РАПСА ОЗИМОГО ДЛЯ СОЗДАНИЯ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ ГИБРИДОВ

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-121-125

УДК 631.52:633.853.494

Поступление/Received: 16.03.2019

Принято/Accepted: 29.11.2019

Э. Б. БОЧКАРЕВА, Л. А. ГОРЛОВА*, В. В. СЕРДЮК,
Е. А. СТРЕЛЬНИКОВ

Федеральный научный центр
Всероссийский научно-исследовательский институт
масличных культур имени В.С. Пустовойта
350038 Россия, г. Краснодар, ул. Филатова, 17;
✉ raps@vniimk.ru

BREEDING OF WINTER RAPESEED INBRED LINES FOR
THE DEVELOPMENT OF PARENT FORMS
FOR HYBRIDS

E. B. BOCHKARYOVA, L. A. GORLOVA*, V. V. SERDYUK,
E. A. STRELNİKOV

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops
(VNIIMK),
17 Filatova St., Krasnodar 350038, Russia;
✉ raps@vniimk.ru

Введение. В Федеральном научном центре Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В. С. Пустовойта (ФНЦ ВНИИМК) селекцию межлинейных гибридов рапса ведут с использованием ЦМС Ogura. По программе создания межлинейных гибридов рапса озимого ставилась задача изучить эффективность селекции самоопыленных линий из сортов популяций, оценить влияние инбредной депрессии на хозяйственно значимые признаки, изучить изменение признаков линий при переводе их на стерильную основу, получить линии – восстановители фертильности с допустимым уровнем содержания глюкозинолатов в семенах. **Материалы и методы.** В качестве исходного материала для получения самоопыленных линий использовали внутривидовые гибриды, сорта селекции ФНЦ ВНИИМК и сорта зарубежной селекции. Самоопыление растений рапса осуществляли с помощью изоляторов из спанбонда. Ежегодно самоопыляли более 1000 растений. Поколения самоопыленных линий $S_1 - S_4$ высевали на делянках $2,25 \text{ м}^2$ и в период вегетации проводили визуальную браковку по морфобиологическим признакам. Оценку урожайности линий, начиная с S_5 , проводили на делянках $7,5 \text{ м}^2$. **Результаты.** Установлено, что инбредная депрессия не превышает 3–15% по урожаю семян. Перевод линий на стерильную цитоплазму не несет каких-либо негативных последствий. Создана серия экспериментальных гибридов, превышающих сорт-стандарт 'Лорис' по урожаю семян на 23–48%. Новые гибридные комбинации также превышают стандарт по этому показателю на 21–54%.

Ключевые слова: рапс, самоопыление, инбредная депрессия, ЦМС Ogura, стерильные аналоги, восстановители фертильности.

Introduction. The V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK) performs the breeding of interline rapeseed hybrids using the Ogura CMS. The program of interline winter rapeseed hybrid development was aimed at studying the efficiency of self-pollinated line breeding from population cultivars, assessing the impact of inbreeding depression on economically important traits, analyzing the changes in the lines' traits after their transition to the sterile basis, and obtaining fertility restorer lines with an acceptable level of glucosinolate content in seeds. **Materials and methods.** Intrasppecific hybrids, cultivars developed at the Pustovoit Institute and those of foreign breeding were employed as parent material for the development of self-pollinated lines. Self-pollination of rapeseed plants was performed using spunbond isolators. Over 1000 plants were self-pollinated every year. Generations of self-pollinated lines $S_1 - S_4$ were planted on 2.25 m^2 plots, and during the growth season their visual screening was undertaken to assess their morphobiological traits. Starting with S_5 , the lines were evaluated for their yield on 7.5 m^2 plots. **Results.** The inbreeding depression was found to not exceed 3–15% of the seed yield. The transition of the lines to sterile cytoplasm did not have any negative consequences. A series of experimental hybrids were developed, exceeding the reference cultivar 'Loris' in seed yield by 23–48%. New hybrid combinations also exceeded the reference in seed yield by 21–54%.

Key words: rapeseed, self-pollination, inbreeding depression, Ogura CMS, sterile analogues, fertility restorer.

Введение

Существующие в настоящее время эффективные системы контролируемого опыления у рапса, такие как ЦМС Ogura, ЦМС Polima, MSL (Male Sterility Lembeke), определили приоритетное направление селекции этой культуры – создание гетерозисных гибридов. Как показывает мировой опыт, в селекции гибридов различных сельскохозяйственных культур (кукурузы, подсолнечника, рапса) межлинейные гибриды более эффективны по сравнению с межсортowymi или сортолинейными (Penakow, 1992; Morgun et al., 1996; Pimkhin, 2000; Frauen et al., 2003). В результате проведенных ранее исследований по изучению влияния принудительного самоопыления растений рапса озимого на основные хозяйст-

венные признаки (Gorlov, Bochkaryova, 1995) было установлено, что средние значения инбредной депрессии варьировали в линиях ($S_1 - S_4$) от 3 до 15% по признаку урожая семян. Это небольшие величины по сравнению с депрессией у таких перекрестноопыляющихся культур, как подсолнечник и кукуруза. Принудительное самоопыление растений озимого рапса в течение нескольких поколений позволило дифференцировать исходный материал и генетически закрепить ряд хозяйственно полезных признаков. Используя метод самоопыления, во ВНИИМК был создан раннеспелый сорт озимого рапса 'Меот', а позднее высокопродуктивные линейные сорта 'Акцент', 'Сармат', 'Селегор'.

В настоящее время целью наших исследований является получение константных по хозяйственно цен-

ным признакам линий рапса озимого – компонентов экспериментальных и промышленных гибридов на основе системы ЦМС Ogura.

Материал и методы

Исследования проводили на опытных полях Федерального научного центра Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В.С. Пустовойта (ФНЦ ВНИИМК) в 2009–2018 гг. В качестве исходного материала для получения самоопыленных линий использовали внутривидовые гибриды, сорта селекции ВНИИМК и сорта зарубежной селекции. Принудительное самоопыление растений рапса осуществляли с помощью изоляторов из спанбонда. Ежегодно самоопыляли 1000–1300 растений. Поколения самоопыленных линий $S_1 - S_4$ высевали на двухрядковых деланках длиной 3 м и в период вегетации проводили визуальную браковку линий по морфобиологическим признакам и продуктивности. Полную оценку линий, начиная с S_5 , проводили на четырехрядковых деланках длиной 5 м (площадь деланки 7,5 м²); повторность 3-кратная.

Биохимические анализы семян выполняли с использованием ЯМР-анализатора, хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000», ИК-анализатора (ИК-4500). При статистической обработке экспериментальных данных применяли методы дисперсионного анализа (Dospekhov, 1985).

Результаты и обсуждение

Чтобы обеспечить высокое качество создаваемых гибридов озимого рапса и рентабельность семеноводства, родительские линии должны иметь не только высокую семенную продуктивность и масличность, но также высокое качество (эруковой кислоты в масле не более 2%, глюкозинолатов в семенах не более 20 мкмоль/г). Первые самоопыленные линии, послужившие для получения стерильных аналогов и линий-восстановителей фертильности, создавали на основе лучшего исходного материала селекции ВНИИМК.

Сравнительная оценка по комплексу хозяйственно ценных признаков самоопыленных линий пятого-шестого поколений инбридинга и их стерильных аналогов была проведена в течение двух лет; лучшие из них представлены в таблице 1. Фертильные линии отличались высокой морфологической выравненностью и урожайностью. В среднем за два года по продуктивности они не уступали сорту-стандарту 'Лорис'. Высокую масличность продемонстрировала линия 39859, а наиболее низкое содержание глюкозинолатов в семенах отмечено у линии 40059. По жирнокислотному составу масла все выделенные линии соответствуют мировым стандартам. Содержание эруковой кислоты в масле составляет от 0,02 до 0,05%. Лучшие самоопыленные линии, начиная с третьего поколения, были использованы для перевода на стерильную основу. Изучение беккроссных поколений показало, что по основным признакам стерильные ана-

Таблица 1. Сравнительная характеристика самоопыленных линий рапса озимого и их стерильных аналогов ($BC_5 - BC_6$) (ВНИИМК, 2010, 2011 г.)

Table 1. Comparative characteristics of self-pollinated winter rapeseed lines and their sterile analogues ($BC_5 - BC_6$) (VNIIMK, 2010, 2011)

Линия	Тип цитоплазмы	Всходы – цветение, сутки	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Содержание глюкозинолатов, мкмоль/г
			т/га	% к стандарту		
1681	N	177	5,3	110	46,2	15,8
	S	179	5,1	106	45,5	16,0
36712	N	172	5,0	104	45,8	16,7
	S	175	4,6	96	46,1	18,3
39750	N	178	4,9	102	46,0	14,2
	S	180	4,9	102	46,1	15,9
39859	N	175	4,8	100	48,4	15,9
	S	176	4,6	96	49,0	16,8
39880	N	176	4,6	96	45,4	16,3
	S	178	4,6	96	45,8	15,9
40059	N	173	4,6	96	46,7	12,9
	S	176	4,1	85	47,1	13,5
Лорис (стандарт)		179	4,8		46,9	15,8
НСР ₀₅		5	0,5		1,5	3,4

N – фертильная линия, S – стерильный аналог линии
N – fertile line; S – the line's sterile analogue

логи достигали фенотипического сходства с фертильными линиями после четырех-пяти возвратных скрещиваний. При сравнительном испытании стерильных и фертильных аналогов линий не обнаружено отрицательного влияния стерильной цитоплазмы Ogura типа на основные хозяйственные признаки (Bochkaryova et al., 2018).

Хозяйственная оценка стерильных аналогов ($BC_5 - BC_6$) показала, что лучшие из них характеризуются

высокой продуктивностью и практически не отличаются по этому признаку от стандарта – сорта 'Лорис'. Стерильный аналог линии 39859 так же, как и его фертильный опылитель, в среднем за два года показал масличность на 2,6% выше стандарта. Стерильный аналог линии 40059, как и фертильная линия, продемонстрировал самое низкое содержание глюкозинолатов в семенах.

В качестве исходного материала для создания линий – восстановителей фертильности использовали донор гена *Rf* – линию, полученную по контракту с Национальным институтом сельскохозяйственных исследований (INRA, Франция). Для создания аналогов линий – восстановителей фертильности на стерильной основе использовали метод Э. Экхарда и М. И. Хаджинова (Khadzhinov, 1962). Источник генов *Rf* на стерильной цитоплазме использовали в качестве материнской

формы, а лучшие самоопыленные линии, по которым создавались аналоги – восстановители фертильности, – в качестве отцовского родителя. Оценка первых 20 линий – восстановителей фертильности ($BC_5 - BC_6$) проведена в 2010, 2011 г. Для удобства в работе они получили индекс ОРК (озимый рапс Краснодарский) и порядковый номер. По урожайности семян лучшие *Rf*-линии в основном находились на уровне сорта-стандарта 'Лорис', но уступают ему по масличности семян (табл. 2).

Таблица 2. Хозяйственная характеристика линий – восстановителей фертильности рапса озимого ($BC_5 - BC_6$) (ВНИИМК, 2010, 2011 г)

Table 2. Economic characteristics of winter rapeseed fertility restorer lines ($BC_5 - BC_6$) (VNIIMK, 2010–2011)

Линия	Всходы – цветение, сутки	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Содержание глюкозинолатов, мкмоль/г
		т/га	% к стандарту		
ОРК 7	173	5,0	102	43,6	15,0
ОРК 14	170	4,9	100	41,8	15,9
ОРК 8	174	4,9	100	42,8	15,4
ОРК 3	178	4,8	98	42,8	16,9
ОРК 18	175	4,9	100	45,0	17,9
ОРК 9	178	3,8	78	43,3	16,5
ОРК 19	180	3,2	65	43,2	13,8
Лорис (стандарт)	179	4,9		46,1	15,4
НСР ₀₅		0,7		1,8	2,7

Одной из проблем при создании гибридов рапса с использованием ЦМС типа Ogura является селекция линий – восстановителей фертильности с низким содержанием глюкозинолатов в семенах. Гены восстановления фертильности введены в рапс из редиса, и присутствие его хромосомного материала часто оказывает негативное влияние на этот признак (Poplawska et al., 2007). В результате многократного беккроссирования с донорами низкого содержания глюкозинолатов получены *Rf*-линии с достаточно низким содержанием этих веществ. Одним из важных признаков родительских линий гибридов является продолжительность вегетационного периода, поскольку в семеноводстве гибридов решающее значение имеет совпадение сроков цветения их родительских компонентов, так как от этого зависит продуктивность се-

менных участков. Представленные в таблицах 1 и 2 стерильные аналоги и линии – восстановители фертильности достаточно хорошо совпадают по межфазному периоду «всходы – цветение». С участием лучших стерильных аналогов и линий – восстановителей фертильности нами создано более 100 экспериментальных гибридов рапса озимого. В 2016 г. проведена предварительная оценка 52 экспериментальных гибридов. Средняя урожайность гибридов составила 4,9 т/га, превысив сорт-стандарт 'Лорис' на 0,69 т/га. Наиболее перспективными оказались семь гибридов, урожайность которых была на уровне 5,19–6,24 т/га, что превысило стандарт на 23–48%, а по сбору масла – на 24–54% (табл. 3). Содержание глюкозинолатов в семенах у большинства изученных гибридов соответствует существующему стандарту (20 мкмоль/г).

Таблица 3. Хозяйственная характеристика экспериментальных гибридов рапса озимого (ВНИИМК, 2016 г.)

Table 3. Economic characteristics of experimental winter rapeseed hybrids (VNIIMK, 2016)

Гибрид	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Сбор масла,		Содержание глюкозинолатов, мкмоль/г
	т/га	% к стандарту		т/га	% к стандарту	
39880 × ОРК 7	6,24	148	49,7	2,76	154	12,6
39859 × ОРК 8	5,66	134	49,5	2,49	139	13,3
39712 × ОРК 3	5,52	131	49,7	2,44	136	16,6
39880 × ОРК 9	5,36	127	49,5	2,42	132	20,6
39712 × ОРК 1	5,29	125	49,0	2,36	128	15,4
40059 × ОРК 2	5,20	123	49,5	2,29	127	19,2
39859 × ОРК 10	5,19	123	48,3	2,23	124	21,8
Лорис (стандарт)	4,21		48,1	1,80		18,3
НСР ₀₅	0,60			0,40		

На сегодняшний день во ВНИИМК работа по созданию самоопыленных линий и перевод лучших из них на стерильную основу ведется на базе новых сортов селекции ВНИИМК, высокоолеиновых селекционных образцов и сортов зарубежной селекции. С использованием новых линий создано 32 стерильных аналога, выделено 50 линий – восстановителей фертильности. По результатам испытания в 2016, 2017 г. лучшие стерильные аналоги не уступают по урожайности семян стандарту – сорту

‘Лорис’, а линии СЛ 4, СЛ 1, 38746, СЛ 3, СЛ 6 превышают его по этому признаку на 3–9% (табл. 4). Наиболее высокой масличностью характеризуются линии: 1840–2, 38746, СЛ 2, СЛ 1, 40008. Обращает на себя внимание линия 40173; по урожайности семян она уступает остальным линиям, но характеризуется высокой масличностью, высоким содержанием олеиновой кислоты в масле (78,4%) и может быть использована в программе по созданию высокоолеиновых гибридов рапса.

Таблица 4. Хозяйственная характеристика стерильных аналогов рапса озимого (BC₅ – BC₆) (ВНИИМК, 2016, 2017 г.)

Table 4. Economic characteristics of winter rapeseed sterile analogues (BC₅ – BC₆) (VNIIMK, 2016, 2017)

Линия	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Содержание	
	т/га	% к стандарту		глюкозинолатов, мкмоль/г	олеиновой кислоты, %
СЛ 4	4,84	109	45,7	16,7	69,5
СЛ 1	4,67	105	47,7	15,2	69,3
38746	4,61	104	48,4	13,6	64,2
СЛ 3	4,57	103	46,6	17,4	64,9
СЛ 6	4,57	103	46,7	15,9	68,6
СЛ 2	4,51	102	47,9	15,3	68,2
СЛ 5	4,52	102	46,6	15,0	68,3
40008	4,36	98	47,7	13,4	66,1
1840–2	4,35	98	48,3	14,5	65,5
40173	3,88	88	47,7	14,7	78,4
Лорис (стандарт)	4,43		46,7	14,7	66,0
НСР ₀₅	0,42		1,4		

В 2018 г. в предварительном испытании проведена оценка 21 экспериментального гибрида. Средняя урожайность гибридов составила 4,25 т/га, у сорта-стандарта ‘Лорис’ – 4,19 т/га. Выделено 7 гибридов, наиболее перспективных по комплексу признаков, урожайность которых составила от 5,08 до 6,45 т/га, превысив сорт-стандарт на

21–53%, по сбору масла – на 23–55%. Высокой масличностью (на 1,1–1,6% выше стандарта) характеризовались гибриды 40049 × ОРК 4 и СЛ 1 × ОРК 3. Наиболее низкое содержание глюкозинолатов в семенах (12,9–13,6 мкмоль/г) продемонстрировали гибриды 40008 × ОРК 14, 40049 × ОРК 10, СЛ 1 × ОРК 14 и СЛ 1 × ОРК 3 (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика новых экспериментальных гибридов рапса озимого (ВНИИМК, 2018 г.)

Table 5. Characteristics of new experimental winter rapeseed hybrids (VNIIMK, 2018)

Гибрид	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Сбор масла,		Содержание глюкозинолатов, мкмоль/г
	т/га	% к стандарту		т/га	% к стандарту	
СЛ 2 × ОРК 10	6,45	154	47,8	2,77	155	15,9
40049 × ОРК 4	6,02	145	48,7	2,64	147	17,7
СЛ 1 × ОРК 14	5,96	142	48,2	2,59	145	13,5
40059 × ОРК 9	5,95	142	48,0	2,57	143	23,1
СЛ 1 × ОРК 3	5,80	138	49,2	2,57	143	13,6
40049 × ОРК 10	5,22	124	47,6	2,24	125	13,3
40008 × ОРК 14	5,08	121	48,1	2,20	123	12,9
Лорис (стандарт)	4,19		47,6	1,79		15,0
НСР ₀₅	0,53			0,46		

Заключение

Установлено, что самоопыление растений рапса озимого приводит к незначительной инбредной депрессии, 3–15% по урожаю семян. Использование инбридинга в селекции рапса в ФНЦ ВНИИМК привело к созданию высокопродуктивных линейных сортов, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

ЦМС Ogura не оказывает отрицательного влияния на проявление хозяйственно значимых признаков растений рапса.

Созданы аналоги линий – восстановителей фертильности приемлемым уровнем глюкозинолатов в семенах (13,8–17,9 мкмоль/г).

Выделены перспективные межлинейные гибриды, превышающие стандарт на 23–48% по урожайности семян и на 24–54% по сбору масла.

Создана серия материнских линий и линий – восстановителей фертильности на базе новых сортов и высокоолеиновых линий селекции ВНИИМК, а также сортов зарубежной селекции.

Новые гибридные комбинации превышают стандарт на 21–54% по урожайности семян и на 23–55% по сбору масла. С лучшими комбинациями будет продолжена работа по размножению родительских форм и получению гибридных семян для передачи в Государственное испытание.

References/Литература

- Bochkaryova E.B., Gorlova L.A., Serdyuk V.V., Strelnikov E.A. The results and perspectives of breeding of winter rapeseed hybrids in VNIIMK. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2018;(4):48-57. [in Russian] [Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Результаты и перспективы селекции гибридов рапса озимого во ВНИИМК. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2018;4:48-57].
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] [Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва:

Агропромиздат; 1985.

- Gorlov S.L., Bochkaryova E.B. The impact of self-pollination on productivity of winter rapeseed (Vliyaniye samoopyleniya na produktivnost ozimogo rapsa). *Informatsionnyi listok KTsNTI = Information Sheet of KTsNTI*. 1995;(118-95):21. [in Russian] [Горлов С.Л., Бочкарева Э.Б. Влияние самоопыления на продуктивность озимого рапса. *Информационный листок КЦНТИ*. 1995;(118-95):21].
- Frauen M. Noack J., Paulmann W., Grosse F. Development and perspectives of MSL-hybrids in winter oilseed rape in Europe. In: *Proceedings of the 11th International Rapeseed Congress*. Copenhagen; 2003. p.316-318.
- Khadzhinov M.I. Cytoplasmic male sterility in breeding and seed production (Tsitoplazmaticheskaya muzhskaya sterilnost v selektsii i semenovodstve). In: *Cytoplasmic male sterility in breeding and seed production of maize (Tsitoplazmaticheskaya muzhskaya sterilnost v selektsii i semenovodstve kukuruzy)*. Kiev; 1962. p.103-140. [in Russian] [Хаджинов М.И. Цитоплазматическая мужская стерильность в селекции и семеноводстве. В кн.: *Цитоплазматическая мужская стерильность в селекции и семеноводстве кукурузы*. Киев; 1962. С.103-140].
- Morgun V.V., Zaika S.P., Zhvavaya E.P. The efficiency of backcrossing and sibbing in increasing seed productivity of early ripening corn hybrids (Effektivnost bekrossnykh i sestrinskikh skreshchivaniy v povyshenii semennoy produktivnosti rannespelykh gibridov kukuruzy). *Selektsiya i semenovodstvo = Breeding and Seed Production*. 1996;(2):16-18. [in Russian] [Моргун В.В., Заика С.П., Жвава Е.П. Эффективность беккроссных и сестринских скрещиваний в повышении семенной продуктивности раннеспелых гибридов кукурузы. *Селекция и семеноводство*. 1996;(2):16-18].
- Penakow D. Application of Griffing's methods in determination of combining ability of sunflower self-pollinated lines. In: *Proceedings of the 13th International Sunflower Conference, Pisa (Italy) 7-11 September, 1992*. Paris; 1992. p.1205-1210.
- Poplowska W., Bartkowiak-Broda I., Szala L. Genetic and breeding evaluation of double haploid lines with restorer gene for CMS ogura system of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Brassica International Journal of Brassicas*. 2007;1-4:29-32.

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования/How to cite this article

Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Селекция инбредных линий рапса озимого для создания родительских форм гибридов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(4):121-125. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-121-125

Bochkaryova E.B., Gorlova L.A., Serdyuk V.V., Strelnikov E.A. Breeding of winter rapeseed inbred lines for the development of parent forms for hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):121-125. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-121-125

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-121-125>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest