УДК 631.52:633.853.494

DOI 10.25230/2412–608X–2018–4–176–48–57

Результаты и перспективы селекции гибридов рапса озимого во ВНИИМК

Э.Б. Бочкарева,

доктор сельскохозяйственных наук

Л.А. Горлова,

кандидат биологических наук

В.В. Сердюк,

старший научный сотрудник

Е.А. Стрельников,

кандидат биологических наук

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

Тел.: (861) 275-79-10

E-mail: raps@vniimk.ru

Для цитирования: 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 Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2018. – Вып. 4 (176). – С. 48–57.

Ключевые слова: самоопыление, линия, ЦМС Ogura, стерильный аналог, восстановитель фертильности, комбинационная способность, экспериментальный гибрид.

Исследования выполнены в 2006–2017 гг. на опытных полях ВНИИМК. Цель данной работы: изучение влияния ЦМС-Ogura на хозяйственные признаки рапса озимого, поиск линий-восстановителей фертильности с пониженным содержанием глюкозинолатов в семенах, выделение линий рапса озимого с высокой комбинационной способностью для создания их стерильных аналогов и линий-восстановителей фертильности, используя систему ЦМС-Ogura, оценка по комплексу хозяйственных признаков экспериментальных гибридов на основе ЦМС-Ogura. В качестве объектов исследований служили лучшие сорта и линии рапса озимого селекции ВНИИМК. Результаты исследований показали, что перевод самоопыленных линий рапса озимого с нормальной цитоплазмы на ЦМС-Ogura не оказывает негативного плейотропного эффекта на основные хозяйственно ценные признаки. Специфическая реакция отдельных линий и гибридов на ЦМС-

Ogura выражается в небольшом увеличении высоты растений и в повышении урожайности семян. В результате изучения комбинационной способности линий и сортов озимого рапса выделено четыре линии, а также сорта Экспресс, Лорис, Дракон, перспективные для создания родительских линий гибридов. Наиболее удачное сочетание эффектов общей и специфической КС, стабильное по годам, наблюдалось у линии 39712. Многократное беккроссирование с донорами низкого содержания глюкозинолатов в семенах позволило улучшить линии-восстановители фертильности по этому признаку. В результате оценки экспериментальных гибридов рапса озимого выделены высокопродуктивные, превышающие сорт стандарт по урожайности семян и сбору масла на 14–53 %.

UDC 631.52:633.853.494

The results and perspectives of breeding of winter rapeseed hybrids in VNIIMK

E.B. Bochkaryova, doctor of agriculture

L.A. Gorlova, PhD in agriculture

V.V. Serdyuk, senior researcher

E.A. Strelnikov, PhD in biology

All-Russian Research Institute of Oil Crops by
Pustovoi V.S. (VNIIMK)

17, Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 275-79-10

E-mail: raps@vniimk.ru

Key words: self-pollination, line, CMS-Ogura, sterile analog, fertility restorer, combining ability, experimental hybrid.

We conducted our researches on the experimental fields of the All-Russian Research Institute of Oil Crops by Pustovoi V.S. (Krasnodar) in 2006–2017. The purposes of the research were: studying of CMS-Ogura influence on the economically valuable traits of the winter rapeseed, search of the lines-restorers of fertility with lowered glucosinolate content in seeds, selection of lines with high combining ability to develop their sterile analogs and lines-restorers of fertility with CMS-Ogura system, evaluation of experimental hybrids containing CMS-Ogura by a complex of economically valuable traits. The best varieties and lines develop at the All-Russian Research Institute of Oil Crops by Pustovoi V.S. were involved as the research objects. Our investigations showed conversion of winter rapeseed inbred lines from a normal cytoplasm to CMS-Ogura did not have negative pleiotropic effect on the basic economically valuable traits. A specific reaction of the some lines and hybrids to CMS-Ogura was manifested in a low

plant height and seed yield increases. After studying the combining ability of lines and hybrids of winter rapeseed we selected the perspective ones for development parental lines of hybrids; they are four lines and the varieties Express, Loris, Dragon. We observed the most effective combination of the common and specific combining ability, stable in years, in the line 39712. Multiple back-crosses with donors of a low glucosinolate content in seeds allowed improving lines-restores of fertility on this trait. As a result of experimental winter rapeseed hybrids evaluation we selected highly productive ones exceeding the standard on seed and oil yields by 14–53%.

Введение. Как показывает мировой опыт, повышения урожайности рапса можно достигнуть переходом на возделывание гибридов. Важнейший аргумент в пользу коммерциализации гибридов – лучшие условия для внебюджетного финансирования и, соответственно, быстрый возврат инвестиций в селекционные программы [1]. Для получения гибридов в промышленных масштабах наиболее удобным и технологичным является использование цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) и генов восстановления фертильности. В настоящее время у рапса известно несколько систем ЦМС (табл. 1).

Таблица 1

Системы ЦМС у рапса (*Brassica napus* L.)

Название ЦМС	Донор ЦМС	Автор	Год получения
Ogura	Rafanus sativus	Ogura H.	1968
nig	Brassica nigra	Pearson P.H.	1972
mur	Diplotaxis muralis	Shiga T.	1972
anand	Brassica juncea	Rawat and Anand	1979
nap	Brassica napus (сорт Bronowski)	Thompson K.F.	1972
polima	Brassica napus (сорт Polima)	Fu T.D.	1981
MS			
Lembke	Brassica napus	NPZ -Lembke	1982
ctr	Brassica napus (сорт Tower)	Grant et al.	1986
K-4512	Brassica napus (Tira)	Дубовская А.Г.	1993

Четыре из них получены путем отдаленной гибридизации рапса с такими видами, как *Brassica nigra* – nig ЦМС [2], *Brassica juncea* – anand ЦМС, *Diplotaxis muralis* – mur ЦМС [3], *Rafanus sativus* – Ogura ЦМС [4]. В польском сорте Bronowski в 1972 г. Томпсоном [5] была обнаружена цитоплазматическая мужская стерильность, которой автор дал название пар ЦМС. В Китае впервые идентифицирована polima ЦМС [6]. У триазинрезистентных образцов из сорта Tower выделен тип ЦМС – ctr

[7]. В Германии была обнаружена система МСЛ (мужская стерильность Лембке), которая успешно используется для создания гибридов рапса фирмой Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG [8]. Во ВНИИР источник ЦМС выделен из коллекционного образца рапса к-4512 [9].

Некоторые из перечисленных источников ЦМС у рапса оказались непригодными для широкого использования в селекции гибридов. Линии рапса с цитоплазмами mur и nig характеризовались низкой завязываемостью семян, пар ЦМС крайне чувствительна к температурному режиму, что ограничивало их использование в селекции гибридов. ЦМС-Ogura является очень стабильной и легко закрепляемой. Ядро *Brassica napus* было перенесено в цитоплазму *Rafanus sativus* (редис), которая характеризовалась стабильной мужской стерильностью и контролировалась одним геном. Однако растения с ЦМС-Ogura характеризовались недостатком хлорофилла, отсутствием нектара, и не удавалось найти формы, восстанавливающие фертильность. Применение методов биотехнологии помогло решить часть этих проблем [10; 11]. В 1993 г. во Франции (INRA) были получены восстановители фертильности для Ogura ЦМС, и у селекционеров появилась реальная возможность использовать эту систему для создания гибридов рапса.

В настоящее время в селекционных программах, связанных с коммерческим производством гибридов рапса, в зарубежных странах используются в основном Ogura ЦМС, германская MSL система и polima ЦМС. Во ВНИИМК программа создания отечественных гибридов рапса озимого стала возможна после получения из Франции (INRA) системы Ogura ЦМС.

В связи с этим в селекционной работе лаборатории селекции рапса ФГБНУ ВНИИМК предусматривалось решение следующих задач: изучить влияние ЦМС-Ogura на хозяйственные признаки рапса озимого, выделить линии с высокой комбинационной способностью для создания их стерильных аналогов и линий-восстановителей фертильности, оценить по комплексу хозяйственно полезных признаков межлинейные гибриды на основе ЦМС-Ogura.

Материал и методы. Исследования проводили на опытных полях ФГБНУ ВНИИМК в 2006–2017 гг. Комбинационную способ-

ность изучали на четырех сортах и семи лучших по комплексу хозяйственно полезных признаков самоопыленных линиях (S₅-S₇) рапса озимого. Скрещивания выполняли по второму методу Гриффинга [12], когда в исследования включаются только прямые скрещивания. Питомник оценки гибридов F₁ закладывали на 3-рядковых делянках, площадь делянки 3,75 м², повторность 3-кратная. Гибридные комбинации сравнивали по урожайности с родительскими линиями и лучшим районированным сортом. Опыты по изучению влияния ЦМС-Oguga на проявление хозяйственных признаков проводили на шести линиях рапса озимого. Сравнительную оценку исходных линий и их ЦМС-аналогов, а также гибридов на стерильной и фертильной основе осуществляли на 3-рядковых делянках площадью 3,75 м² в 3-кратной повторности в 2007–2010 гг. Оценку полученных стерильных аналогов и линий-восстановителей фертильности, а также экспериментальных гибридов проводили в 2011–2017 гг. на 4-рядковых делянках длиной 5 м (площадь делянки 7,5 м²), повторность 3-кратная.

Биохимические анализы семян выполнены с использованием ЯМР-анализатора, хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000», ИК-анализатора (ИК-4500). При статистической обработке экспериментальных данных применяли методы дисперсионного анализа [13]. Определение общей и специфической комбинационной способности проводили по методу Хинкельмана (1966) в модификации В.Г. Вольфа, П.П. Литуна [14], В.К. Савченко [15].

Результаты и обсуждение. Комбинационная способность (КС) является одним из основных критериев оценки компонентов, используемых для создания гибридов. Многими исследователями [16; 17; 18] установлено, что в гибридной селекции более эффективны скрещивания между инбредными линиями в сравнении с межсортовыми и сортолинейными гибридами. В нашей работе в течение трех лет изучалась комбинационная способность четырех сортов и семи, выделенных по комплексу хозяйственных признаков, самоопыленных линий (S₅-S₇) рапса озимого. Изучение КС проводили по признакам: урожайность, масличность семян, высота растений, длина центральной ветви, количество стручков на центральной ветви.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о существенных различиях сортов и линий как по общей (ОКС), так и по специфической комбинационной (СКС) способности.

При изучении урожайности и масличности семян за три года исследований лучшей по эффектам ОКС и вариансам СКС была линия 39712 (табл. 2, 3). Линии 39880, 40158 и 40160 продемонстрировали высокую ОКС в 2007 и 2009 гг. и среднюю в 2008 г. по урожайности семян. По масличности семян все изучаемые сорта и линии характеризовались высокими показателями эффектов ОКС в 2009 г.

Таблица 2

Общая комбинационная способность сортов и линий рапса озимого по урожайности и масличности семян

ЦЭБ ВНИИМК

Сорт, линия	Урожайность эффекты ОКС			Масличность эффекты ОКС		
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Вотан	-14,6	6,8	-	-0,12	5,0	-
Экспресс	-9,5	-1,4	13,4	-0,5	-3,9	2,0
Лорис	-12,4	0,1	2,7	-7,5	3,7	2,0
Дракон	-1,6	3,3	4,9	1,4	-0,7	2,2
39880	13,0	-1,8	16,2	-0,8	-4,0	2,0
40179	27,8	-1,7	-6,3	5,9	-1,2	2,0
40158	8,3	-3,2	10,5	2,9	-2,9	2,1
40160	19,9	-1,0	3,0	1,2	0,1	2,0
40176	13,2	-0,5	0,1	2,6	-4,6	2,0
39712	23,5	5,3	3,5	2,9	2,8	2,1
39757	8,9	-3,7	-1,1	-0,2	2,3	2,1
НСР ₀₅	4,8	3,2	1,4	2,6	2,8	0,6

Высокими показателями варианты СКС при изучении урожайности семян за три года исследований характеризовались сорта Экспресс, Дракон, Лорис, а также линия 40179, продемонстрировавшая высокие показатели варианты и по масличности семян (табл. 3).

Таблица 3

Специфическая комбинационная способность сортов и линий рапса озимого по урожайности и масличности семян

ЦЭБ ВНИИМК

Сорт, линия	Урожайность (варианса СКС)			Масличность (варианса СКС)		
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Вотан	12,7	59,0	-	6,4	1,0	-
Экспресс	27,2	31,0	19,7	2,7	0,7	18,9
Лорис	18,7	19,0	19,1	3,7	3,2	20,9
Дракон	19,5	69,0	13,0	4,8	1,4	21,2
39880	6,2	28,0	6,4	3,9	5,0	20,7
40179	35,6	34,0	15,6	6,4	8,6	20,0
40158	18,6	9,0	13,9	6,1	2,4	20,9
40160	31,0	0,7	3,0	2,8	17,3	20,3
40176	19,8	12,0	11,6	1,1	0,8	20,4
39712	13,7	28,0	12,7	4,9	12,7	21,5
39757	6,8	25,0	12,2	2,6	1,0	21,2
НСР ₀₅	19,1	28,0	12,7	4,1	4,9	20,6

По высоте растений достоверные положительные значения эффектов ОКС за 3 года исследований наблюдались у линии 39712, а

вариансы СКС – у сортов Экспресс и Дракон. Высокой СКС по этому признаку в 2007 и 2008 гг. характеризовалась линия 40160, а в 2008 и 2009 гг. – линия 40179, в 2007 и 2009 гг. – линия 40176 (табл. 4).

Таблица 4

Комбинационная способность сортов и линий рапса озимого по высоте растений

ЦЭБ ВНИИМК

Сорт, линия	Эффекты ОКС			Варианса СКС		
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Вотан	-4,7	4,8	-	58,0	37,6	-
Экспресс	-4,3	-3,8	5,4	55,0	36,3	19,7
Лорис	-6,3	-0,5	1,7	15,0	34,5	16,4
Дракон	-0,7	5,5	1,7	77,0	38,1	16,4
39880	0,4	-6,1	1,4	29,0	36,7	15,5
40179	1,1	3,0	0,7	44,0	37,4	17,1
40158	4,8	0,5	2,5	41,0	34,5	16,4
40160	5,4	-1,8	1,4	50,0	39,0	16,1
40176	-0,5	0,4	1,8	72,0	34,5	16,5
39712	6,3	2,8	1,6	34,0	32,5	16,4
39757	0,8	-4,7	1,3	43,0	36,5	16,1
НСР ₀₅	5,1	1,1	0,8	46,0	36,5	16,4

По количеству ветвей первого порядка все сорта и линии характеризовались средними показателями эффектов ОКС, высокой вариансой СКС – линии 40160, 39712 и сорт Лорис.

Изучение корреляционной зависимости между оценками ОКС различных хозяйственных признаков показало, что наиболее сильной корреляционная связь была между урожаем и высотой растений ($r = 0,765$), урожаем и количеством ветвей 1-го порядка ($r = 0,636$), а также между высотой растения и количеством ветвей 1-го порядка ($r = 0,714$). Таким образом, вероятность отбора ценных для селекции линий повышается, если оценена их комбинационная способность по нескольким основным хозяйственно полезным признакам.

По результатам наших исследований, наиболее удачное сочетание эффектов общей и варианс специфической комбинационных способностей, стабильно проявляющихся по годам, наблюдалось у линии 39712. В разные годы высокими значениями ОКС и СКС по урожайности и масличности семян характеризовались линии 39880, 40160, 40179, также сорта Экспресс, Дракон и Лорис. Выделенный материал включен в селекционный процесс по созданию родительских линий гибридов рапса озимого.

Влияние ЦМС-Ogura на хозяйственные признаки. Известно, что у ряда культур сте-

рильная цитоплазма оказывает негативное влияние на некоторые хозяйственно ценные признаки. При использовании в селекции кукурузы цитоплазмы тexasского типа была обнаружена специфическая реакция на поражение гельминтоспориозом, что вызвало значительное снижение урожая [19]. Имеются данные по влиянию ЦМС на некоторые признаки подсолнечника: изменение вегетационного периода линий, переведенных на цитоплазму *Heliantus lenticularis* [20], некоторое снижение устойчивости к заражению при использовании ЦМС *Heliantus petiolaris* [21]. При использовании ЦМС-Ogura в селекции рапса озимого лимитирующим фактором было создание линий-восстановителей фертильности с низким содержанием глюкозинолатов в семенах [22; 23].

Изучение влияния ЦМС-Ogura на некоторые хозяйственно полезные признаки нами было проведено в процессе создания стерильных аналогов линий рапса озимого. В фазе семядольных листочков, розетки, стеблевания различия между фертильными и стерильными растениями не наблюдались. Морфологические различия между ними проявлялись в фазе цветения. Бутоны и лепестки растений с ЦМС-Ogura более узкие, тычиночные нити, в зависимости от генотипа, короткие или совсем редуцированы, пыльники игловидные, без пыльцы (рис. 1, 2).

Рисунок 1– Цветки рапса озимого: слева фертильного, справа – стерильного растения (ЦМС-Ogura)

Одним из важных признаков является продолжительность вегетационного периода, поскольку в семеноводстве гибридов решающее значение имеет совпадение сроков цветения их компонентов, так как от этого зависит продуктивность семенных участков.

Рисунок 2 – Репродуктивные органы цветка рапса озимого:

- 2 А – фертильный цветок (нормально развитые тычиночные нити и пыльники);
 2 Б – стерильный цветок (укороченные тычиночные нити, игловидные пыльники без пыльцы);
 2 В – стерильный цветок (редуцированные тычиночные нити и пыльники)

Проведенные нами исследования показали, что существенного изменения в продолжительности периодов вегетации при переводе линий на стерильную цитоплазму не происходит. У изученных линий период от всходов до цветения был практически одинаковым в поколениях BC_3 – BC_5 , за исключением линии 40059, у которой цветение стерильных аналогов начиналось в поколениях BC_3 – BC_4 на 6–4 суток позднее, чем у фертильных растений (табл. 5).

Высота растений рапса озимого – один из признаков, играющих важнейшую роль в годности сорта или гибрида к механизированной уборке. В наших исследованиях отмечены небольшие положительные отличия по высоте растений между фертильными линиями и их стерильными аналогами в поколении BC_3 , но только у линии 40179 они существенны.

Таблица 5

Продолжительность периода всходы – цветение (сутки) инбредных линий рапса озимого в зависимости от типа цитоплазмы и поколения беккроссов, сутки

ЦЭБ ВНИИМК

Линия	2007 г. (BC_3)			
	Ogu	N	$\pm \kappa N$	HCP ₀₅
39880	209	208	+1	2
40179	210	209	+1	2
40050	210	210	± 0	2
39859	206	203	+3	2
39712	208	206	+2	2
40059	217	211	+6	2
2008 г. (BC_4)				
39880	200	200	± 0	2
40179	201	202	+1	2
40050	200	201	+1	2
39859	200	201	-1	2
39712	194	192	+2	2
40059	206	202	+4	2
2009 г. (BC_5)				
39880	205	204	+1	2
40179	204	203	+1	2
40050	203	204	+1	2
39859	188	188	± 0	2
39712	197	198	-1	2
40059	201	200	+1	2

В BC_5 ЦМС-аналоги практически выравниваются по высоте растений с фертильными линиями (табл. 6).

Таблица 6

Высота растений инбредных линий рапса озимого с различным типом цитоплазмы в поколениях беккроссов, см

ЦЭБ ВНИИМК

Линия	2007 г. (BC_3)			
	Ogu	N	$\pm \kappa N$	HCP ₀₅
39880	171	160	+11	17
40179	163	151	+12	10
40050	166	154	+12	19
39859	162	157	+5	7
39712	180	173	+7	6
40059	173	162	+11	9
2008 г. (BC_4)				
39880	161	163	-2	4
40179	161	153	+8	10
40050	158	160	-2	17
39859	156	152	+4	5
39712	168	162	+6	7
40059	170	165	+5	4
2009 г. (BC_5)				
39880	169	166	+3	4
40179	159	152	+7	8
40050	170	169	+1	13
39859	163	160	+3	4
39712	175	172	+3	5
40059	170	166	+4	4

Оценка продуктивности линий рапса озимого в сравнении с их стерильными аналогами показала, что по урожайности семян наблюдается тенденция к увеличению этого признака у мужскостерильных линий во всех изученных поколениях беккросса, за исклю-

чением стерильной линии 40050, уступившей фертильной линии в поколениях BC₄ и BC₅, однако эти различия находятся в пределах ошибки опыта (табл. 7).

Таблица 7

Урожайность семян инбредных линий рапса озимого в зависимости от типа цитоплазмы и поколения беккрасса, г/м²

ЦЭБ, ВНИИМК

Линия	2007 г. (BC ₃)			
	Ogu	N	± к N	НСР ₀₅
39880	184	156	+28	48
40179	250	180	+70	68
40050	174	140	+34	57
39859	260	180	+80	60
39712	210	173	+37	43
40059	255	178	+77	65
2008 г. (BC ₄)				
39880	416	407	+9	14
40179	531	491	+40	45
40050	424	441	-17	27
39859	542	510	+32	30
39712	488	439	+39	41
40059	503	458	+45	42
2009 г. (BC ₅)				
39880	406	331	+75	70
40179	380	334	+46	42
40050	330	345	-15	43
39859	496	412	+84	68
39712	574	530	+44	40
40059	490	465	+25	32

При изучении влияния ЦМС-Ogura на масличность семян выявлено, что в BC₃ только у линии 39880 обнаружены существенные различия по этому признаку в пользу стерильного аналога. В BC₄ и BC₅ у всех изучаемых линий различия между фертильными и стерильными аналогами несут незначительный характер (табл. 8).

Таблица 8

Масличность семян инбредных линий рапса озимого в зависимости от типа цитоплазмы и поколения беккрасса, %

ЦЭБ ВНИИМК

Линия	2007 г. (BC ₃)			
	Ogu	N	± к N	НСР ₀₅
39880	47,6	44,5	+3,5	2,1
40179	46,4	46,8	-0,4	1,7
40050	45,6	45,5	+0,1	2,7
39859	46,6	47,5	-0,9	1,9
39712	46,2	46,7	-0,5	1,7
40059	46,0	46,6	-0,6	1,8
2008 г. (BC ₄)				
39880	45,3	45,3	±0	1,8
40179	44,3	45,1	-0,7	0,6
40050	43,0	44,3	-1,7	1,9
39859	45,7	46,0	-0,3	1,2
39712	45,5	45,2	+0,3	1,7
40059	45,1	44,8	-0,3	1,5
2009 г. (BC ₅)				
39880	44,6	45,1	-0,5	0,6
40179	44,4	44,7	-0,3	1,1
40050	43,7	44,5	-0,8	2,0
39859	45,7	46,3	-0,6	1,8
39712	45,3	44,5	+0,8	1,6
40059	43,4	44,8	-1,4	1,8

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать заключение, что перевод самоопыленных линий рапса озимого с нормальной цитоплазмы на ЦМС-Ogura не оказывает негативного плеiotропного эффекта на основные хозяйственно полезные признаки.

Изучение восьми сортолинейных гибридных комбинаций на нормальной и стерильной цитоплазме по ряду хозяйственно полезных признаков показало, что по продолжительности периода всходы – цветение у гибридов на цитоплазме Ogura по сравнению с гибридами на нормальной цитоплазме существенных различий не обнаружено. По высоте растений у большинства гибридов различий практически нет, за исключением гибридов на стерильной основе с участием линии 40178, у которых наблюдается тенденция к увеличению высоты, а у гибридов с участием линии 39712, наоборот, более высокие растения у гибридов на фертильной основе (табл. 9).

Таблица 9

Характеристика гибридов рапса озимого на стерильной и нормальной цитоплазме по продолжительности периода всходы – цветение и высоте растений

ЦЭБ ВНИИМК, 2010 г.

Гибрид	Всходы – цветение, сутки			
	Ogu	N	± к N	НСР ₀₅
40178 × Лорис	199	198	+1	2
40178 × Экспресс	199	197	+2	2
40173 × Лорис	200	199	+1	2
40173 × Экспресс	200	198	+2	2
39859 × Лорис	199	199	±0	1
39859 × Экспресс	198	199	-1	2
39712 × Лорис	199	199	±0	1
39712 × Экспресс	199	198	+1	2
Высота растений, см				
40178 × Лорис	178	166	+12	46
40178 × Экспресс	183	178	+5	7
40173 × Лорис	168	166	+2	8
40173 × Экспресс	171	167	+4	12
39859 × Лорис	166	169	-3	16
39859 × Экспресс	169	170	-1	17
39712 × Лорис	165	173	-8	15
39712 × Экспресс	172	173	-1	16

Сравнительная оценка урожайности семян показала, что половина изученных гибридных комбинаций с использованием стерильной цитоплазмы имела преимущества по этому признаку перед гибридами на нормальной цитоплазме. Гибриды на основе ЦМС-Ogura с участием линии 40173, а также линии 40178 при скрещивании с сортом Лорис, продемонстрировали существенную прибавку по урожайности в сравнении с гибридами на фертильной основе. Возможно это связано со специфической реакцией некоторых генотипов – повышать продуктивность при переводе их на ЦМС-Ogura. По масличности семян существенных различий между гибридами на

стерильной и фертильной цитоплазме не обнаружено (табл. 10).

Таблица 10

Характеристика гибридов рапса озимого на стерильной и нормальной цитоплазме по урожайности и масличности семян

ЦЭБ ВНИИМК, 2010 г.

Гибрид	Урожайность семян, г/м ²			
	Ogu	N	± к N	НСР ₀₅
40178 × Лорис	719	481	+238	197
40178 × Экспресс	667	820	-153	213
40173 × Лорис	744	510	+134	88
40173 × Экспресс	790	614	+176	146
39859 × Лорис	524	710	-186	170
39859 × Экспресс	708	619	+89	213
39712 × Лорис	496	718	-222	97
839712 × Экспресс	566	753	-187	130
Масличность семян, %				
40178 × Лорис	47,4	47,8	-0,4	0,4
40178 × Экспресс	46,7	46,6	+0,1	0,7
40173 × Лорис	47,9	47,2	+0,7	0,9
40173 × Экспресс	46,8	46,9	-0,1	0,9
39859 × Лорис	48,6	48,7	-0,1	0,8
39859 × Экспресс	47,6	48,0	-0,4	2,1
39712 × Лорис	47,2	48,0	-0,8	1,8
839712 × Экспресс	46,7	46,6	+0,1	1,4

Масса 1000 семян у большинства изученных гибридов на стерильной цитоплазме оказалась ниже, чем у гибридов на фертильной цитоплазме. Существенные различия по этому признаку отмечены у гибридов с участием линий 39859 и 39712. По содержанию глюкозинолатов в семенах различия между гибридами на стерильной и фертильной цитоплазме незначительны, за исключением комбинации 40178 × Экспресс; у гибрида на стерильной цитоплазме глюкозинолатов в семенах значительно больше, чем у гибрида на фертильной цитоплазме (табл. 11).

Таблица 11

Характеристика гибридов рапса озимого на стерильной и нормальной цитоплазме по массе 1000 семян и содержанию глюкозинолатов

ЦЭБ ВНИИМК, 2010 г.

Гибрид	Масса 1000 семян, г			
	Ogu	N	± к N	НСР ₀₅
40178 × Лорис	4,97	4,71	+0,26	0,94
40178 × Экспресс	4,59	4,97	-0,28	0,24
40173 × Лорис	4,33	4,26	+0,07	0,33
40173 × Экспресс	4,50	4,61	-0,11	0,40
39859 × Лорис	4,26	4,56	-0,30	0,13
39859 × Экспресс	4,29	4,68	-0,39	0,35
39712 × Лорис	3,89	4,30	-0,51	0,34
839712 × Экспресс	4,22	4,83	-0,61	0,29
Глюкозинолатов в семенах, мкмоль/г				
40178 × Лорис	14,0	13,0	+1,0	2,5
40178 × Экспресс	16,9	14,6	+2,3	0,8
40173 × Лорис	16,0	16,8	-0,8	0,3
40173 × Экспресс	17,4	17,6	-0,2	0,7
39859 × Лорис	15,8	16,0	-0,2	2,1
39859 × Экспресс	16,3	16,2	+0,1	0,9
39712 × Лорис	15,0	16,2	-1,2	0,2
839712 × Экспресс	17,2	19,8	-2,6	2,5

Изучение посевных качеств гибридов показало, что по энергии прорастания и всхожести семян гибриды на стерильной и фертильной цитоплазме практически не различаются (табл. 12).

Таблица 12

Посевные качества семян гибридов рапса озимого на стерильной и фертильной цитоплазме, %

ЦЭБ ВНИИМК, 2010 г.

Гибрид	Энергия прорастания			Всхожесть		
	Ogu	N	± N	Ogu	N	± N
40178 × Лорис	97	97	0	98	98	0
40178 × Экспресс	95	94	+1	97	97	0
40173 × Лорис	97	95	+2	98	97	+1
40173 × Экспресс	95	93	+2	96	96	0
39859 × Лорис	96	96	0	98	98	0
39859 × Экспресс	97	96	+1	98	98	0
39712 × Лорис	98	98	0	98	99	-1
39712 × Экспресс	97	98	-1	99	100	-1

Таким образом, изучение ряда хозяйственно полезных признаков линий и гибридов рапса озимого с ЦМС-Ogura позволило выявить некоторые общие закономерности:

- у аналогов и гибридов на стерильной цитоплазме в сравнении с фертильными линиями и гибридами на фертильной цитоплазме, как правило, нет существенных различий по продолжительности периода всходы – цветение, масличности семян, содержанию глюкозинолатов в семенах, энергии прорастания и всхожести семян;

- специфическая реакция отдельных линий и гибридов на ЦМС-Ogura выражается в небольшом увеличении высоты растений и в повышении урожайности семян.

Оценка экспериментальных гибридов рапса озимого. В настоящее время на основе лучших инбредных линий селекции ВНИИМК рапса озимого создано 25 стерильных аналогов и 50 линий-восстановителей фертильности. Лучшие стерильные аналоги (BC₅–BC₆) характеризуются высокой продуктивностью, практически не отличаются по этому признаку от стандарта – сорта Лорис, а линии 39880, 39859 и 1681 в отдельные годы несколько превышают стандарт. Линия 39859 за два года испытания показала высокую масличность семян (на 1,7; 3,4 % выше стандарта), остальные линии, находились в основном на уровне сорта Лорис. Наиболее низкое содержание глюкозинолатов в семенах продемонстрировала линия 40059 (табл. 13).

Таблица 13

Хозяйственная характеристика ЦМС-аналогов линий рапса озимого (BC₅–BC₆)

ЦЭБ ВНИИМК

Линия	Урожайность семян, т/га		Масличность семян, %		Глюкозинолаты, мкмоль/г	
	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.
39880	5,1	4,1	45,1	46,5	15,4	16,4
39859	5,3	3,9	49,2	50,3	16,5	17,2
39712	4,8	4,4	45,4	46,8	18,5	18,1
1681	4,8	5,4	46,5	44,5	15,9	16,1
39750	4,8	5,1	46,2	46,0	15,5	16,2
40059	3,2	4,9	48,0	47,4	12,5	14,9
Лорис – ст.	4,9	4,5	47,5	46,9	17,0	17,8
НСР ₀₅	0,4	0,5	1,3	1,8	1,5	2,1

В 2010–2011 гг. была проведена оценка 20 линий-восстановителей фертильности BC₅ и BC₆. Для удобства в работе все они называются ОРК (озимый рапс Краснодарский) и порядковый номер. По урожайности семян Rf-линии в основном находятся на уровне стандарта – сорта Лорис, но уступают ему по масличности семян (табл. 14).

Известно, что одной из проблем при создании гибридов рапса с использованием ЦМС Огига является селекция линий-восстановителей 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 [22; 23]. В результате многократного беккроссирования с донорами низкого содержания глюкозинолатов получены Rf-линии, перспективные по этому качественному показателю (табл. 14).

Таблица 14

Хозяйственная характеристика линий-восстановителей фертильности рапса озимого (BC₅–BC₆)

ЦЭБ ВНИИМК

Линия	Урожайность семян, т/га		Масличность семян, %		Глюкозинолаты, мкмоль/г	
	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.
ОРК 7	5,5	4,6	44,3	42,9	15,0	15,0
ОРК 14	5,5	4,4	42,8	40,8	15,8	15,9
ОРК 8	5,2	4,7	43,1	42,5	16,2	14,6
ОРК 3	5,1	4,6	42,3	43,2	17,7	16,1
ОРК 18	4,5	5,4	45,7	44,3	19,0	16,8
ОРК 9	4,3	3,3	43,9	42,7	17,0	16,0
ОРК 19	3,4	3,1	44,4	42,0	14,4	13,2
Лорис – ст.	4,8	5,0	46,1	44,0	15,3	15,0
НСР ₀₅	0,7	0,6	1,0	1,2	2,6	2,7

К настоящему времени с участием лучших стерильных аналогов и линий-восстановителей фертильности нами создано около 100 экспериментальных гибридов. В 2016 г. в питомнике 2-го года изучения проведена оценка 52 экспериментальных гибридов рапса озимого. Средняя урожайность гибридов составила 4,9 т/га, превысив сорт-стандарт Лорис на 0,69 т/га. Наиболее высокую продуктивность продемонстрировали семь гибридов, урожайность которых была на уровне 5,19–6,24 т/га, что оказалось выше стандарта на 0,98–2,03 т/га (или на 23–48 %), по сбору масла – на 24–54 % (табл. 15).

Таблица 15

Хозяйственная характеристика экспериментальных гибридов рапса озимого

ЦЭБ ВНИИМК, 2016 г.

Гибрид	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Сбор масла		Глюкозинолаты, мкмоль/г
	т/га	% к ст.		т/га	% к ст.	
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 – ст.	4,21		48,1	1,80		18,3
НСР ₀₅	0,60			0,40		

В 2017 г. в питомнике 2-го года изучения проведена оценка 32 экспериментальных гибридов с использованием системы ЦМС-Огига. Средняя урожайность гибридов составила 4,27 т/га, у сорта-стандарт – 3,84 т/га. Лучшую продуктивность продемонстрировали шесть гибридов, урожайность которых была 4,41–5,87 т/га, что на 14–52 % выше стандарта, сбор масла – на 15–52 % (табл. 16).

Таблица 16

Хозяйственная характеристика экспериментальных гибридов рапса озимого

ЦЭБ ВНИИМК, 2017 г.

Гибрид	Урожайность семян,		Масличность семян, %	Сбор масла		Глюкозинолаты, мкмоль/г
	т/га	% к ст.		т/га	% к ст.	
39750 × ОРК 14	5,87	152	46,5	2,45	152	12,1
39880 × ОРК 18	5,54	144	45,0	2,24	139	20,3
39880 × ОРК 19	5,17	134	48,5	2,25	139	11,4
1681 × ОРК 19	5,11	133	48,4	2,22	138	12,7
39712 × ОРК 14	4,43	115	46,9	1,87	116	16,9
1681 × ОРК 14	4,41	114	45,9	1,85	115	15,7
Лорис – ст.	3,84		46,7	1,61		14,8
НСР ₀₅	0,5			0,4		

Заключение. Изучение ряда хозяйственных признаков линий и гибридов рапса озимого с ЦМС-Ogura позволило выявить некоторые общие закономерности: у аналогов и гибридов на стерильной цитоплазме в сравнении с линиями и гибридами на фертильной цитоплазме, как правило, нет существенных различий по продолжительности периода всходы – цветение, по маслячности семян; специфическая реакция некоторых линий и гибридов на ЦМС-Ogura выражается в небольшом увеличении высоты растений и повышении урожайности семян.

Многочисленное беккроссирование с донорами низкого содержания глюкозинолатов в семенах позволило улучшить линии-восстановители фертильности по этому признаку.

В результате изучения комбинационной способности линий и сортов рапса озимого селекции ВНИИМК выделено четырех линий, а также сорта Экспресс, Лорис, Дракон, перспективные для создания родительских линий гибридов. Наиболее удачным сочетанием эффектов общей и специфической комбинационных способностей, стабильно проявляющихся по годам, характеризовалась линия 39712.

В результате оценки экспериментальных гибридов рапса озимого с использованием ЦМС-Ogura выделены высокопродуктивные, превышающие сорт стандарт по урожайности и сбору масла на 14–52 %. Выделенные гибриды, при подтверждении результатов испытания, могут представлять интерес для производства.

Список литературы

1. Гончаров С.В., Горлова Л.А. Масличные культуры: новые вызовы и тенденции их развития // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – Краснодар, 2018. – Вып. 2 (174). – С. 69–100.
2. Pearson O.H. Cytoplasmically inherited male sterility characters and flavor components from the species cross *Brassica nigra* (L.) Koch x *B. oleracea* L. // Journal of American Society of Horticultural Science. – 1972. – V. 97. – P. 397–402.
3. Shiga T. Male sterility and cytoplasmic differentiation / Tsunoda, S. and Hinata, T. (eds.) *Brassica Crops and Wild Allies. Biology and Breeding*. – Japanese Scientific Societies Press, Tokyo, Japan, 1980. – P. 205–222.
4. Ogura H. Studies on the new male sterility in Japanese radish, with special references to the utilization of this sterility towards the practical raising of hybrid seeds

// Met Fac Agric Kagoshima Univ. – 1968. – No 6. – P. 39–78.

5. Thompson K.F. Cytoplasmic male-sterility in oilseed rape // J. Hered. – 1972. – Vol. 29. – No 2. – P. 255–257.

6. Fu T.D. Production and research of rapeseed in the People's Republic of China // *Eucarpia Cruciferae Newsletter*. – 1981. – V. 6. – P. 6–7.

7. Grant I. [et al.]. A comparative light and electron microscopic study of microspore and tapetal development in male fertile and cytoplasmic male sterile oilseed rape (*Brassica napus*) // Can. J. Bot. – 1986. – V. 64. – No 5. – P. 1055–1068.

8. Frauen M. [et al.]. Development and perspectives of MSL-hybrids in winter oilseed rape in Europe // *Proceeding of the 11th International Rapeseed Congress*, Copenhagen, Denmark. – 2003. – V. 1. – P. 316–318.

9. Дубовская А.Г. Исходный материал для селекции сортов и гибридов яровых рапса и сурепицы масличного направления: дис. ... к. с.-х. наук. – СПб: Петербург, 1993. – 147 с.

10. Pelletier G. [et al.]. Intergeneric cytoplasmic hybridization in cruciferae by protoplast fusion // *Molec. Gen. Genet.* – 1983. – V. 191. – P. 244–250.

11. Renard M., Mesquida J. Significance of male sterile rapeseed (*Brassica napus* L.) nectar production for bee (*Apis mellifera*) foraging and seed production // *Abstracts of the 7th International Rapeseed Congress*, Posnan, Poland. – 1987. – P. 86.

12. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // *Australian journal of biological sciences*. – 1956/ – No 9 (4). – P. 463–493.

13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

14. Вольф В.Г., Литун П.П. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. – Харьков, 1980. – 75 с.

15. Савченко В.К. Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях. – Минск: Наука и техника, 1984. – 223 с.

16. Brandle J., Mc Vetty P. Heterosis and combining ability in hybrids derived from oilseed rape cultivars and inbred lines // *Crop Sci.* – 1989. – No 29. – P. 1191–1195.

17. Singh H., Yadav C. Gene action and combining ability for seed yield, flowering and maturity in rapeseed // *Indian J. agric. Sci.* – 1980. – V. 50. – No 9. – P. 655–658.

18. Горлов С.Л. Селекция озимого рапса (*Brassica napus* L.) на гетерозис: дис. ... канд. с.-х. наук. – Краснодар, 1995. – 141 с.

19. Вахрушева Э.И. Сравнительное агроселекционное изучение стерильных и фертильных аналогов молдавского и техасского типов цитоплазмы ЦМС у кукурузы // Селекция растений с использованием цитоплазматической мужской стерильности. – Киев, 1966. – С. 121–136.

20. Анащенко А.В. Цитоплазматические формы мужской стерильности у подсолнечника // Доклады ВАСХНИЛ. – 1974. – № 4. – С. 11–12.

21. Матиенко А.Ф. Влияние цитоплазматической мужской стерильности типа *Heliantus petiolaris* на некоторые селекционно-ценные признаки растений подсолнечника: дис. ... канд. с.-х. наук. – Краснодар, 1988. – 162 с.

22. Poplawska W., Bartkowiak-Broda I., Szala L. Genetic and breeding evaluation of double haploids lines with restorer gene for CMS- Ogura system of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) // Brassica International Journal of Brassicas. – 2007. – Vol. – No 1–4. – P 29–32.

23. Klima M. Hybrid breeding of winter oilseed rape by utilization of self-incompatibility and cytoplasmic male sterility systems // Abstracts the 12th International Rapeseed Congress, Wuhan, China. – 2007. – P. 16.

References

1. Goncharov S.V., Gorlova L.A. Maslichnyye kul'tury: novyye vyzovy i tendentsii ikh razvitiya // Maslichnyye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – Krasnodar, 2018. – Vyp. 2 (174). – S. 69–100.

2. Pearson O.H. Cytoplasmically inherited male sterility characters and flavor components from the species cross *Brassica nigra* (L.) Koch x *B. oleracea* L. // Journal of American Society of Horticultural Science. – 1972. – V. 97. – P. 397–402.

3. Shiga T. Male sterility and cytoplasmic differentiation / Tsunoda, S. and Hinata, T. (eds.) Brassica Crops and Wild Allies. Biology and Breeding. – Japanese Scientific Societies Press, Tokyo, Japan, 1980. – P. 205–222.

4. Ogura H. Studies on the new male sterility in Japanese radish, with special references to the utilization of this sterility towards the practical raising of hybrid seeds // Met Fac Agric Kagoshima Univ. – 1968. – No 6. – P. 39–78.

5. Thompson K.F. Cytoplasmic male-sterility in oilseed rape // J. Hered. – 1972. – Vol. 29. – No 2. – P. 255–257.

6. Fu T.D. Production and research of rapeseed in the People's Republic of China // Eucarpia Cruciferae Newsletter. – 1981. – V. 6. – P. 6–7.

7. Grant I. [et al.]. A comparative eight and electron microscopic study of microspore and tapetal development in male fertile and cytoplasmic male sterile oilseed rape (*Brassica napus*) // Can. J. Bot. – 1986. – V. 64. – No 5. – P. 1055–1068.

8. Frauen M. [et al.]. Development and perspectives of MSL-hybrids in winter oilseed rape in Europe // Proceeding of the 11th International Rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark. – 2003. – V. 1. – P. 316–318.

9. Dubovskaya A.G. Iskhodnyy material dlya selektsii sortov i gibridov yarovykh rapsa i surepitsy maslichnogo napravleniya: dis. ... k. s.-kh. nauk. – S-Peterburg, 1993. – 147 s.

10. Pelletier G. [et al.]. Intergeneric cytoplasmic hybridization in cruciferae by protoplast fusion // Molec. Gen. Genet. – 1983. – V. 191. – P. 244–250.

11. Renard M., Mesquida J. Significance of male sterile rapeseed (*Brassica napus* L.) nectar production for bee (*Apis mellifera*) foraging and seed production // Abstracts of the 7th International Rapeseed Congress, Posnan, Poland. – 1987. – P. 86.

12. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Australian journal of biological sciences. – 1956/ – No 9 (4). – R. 463–493.

13. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. – M.: Agropromizdat, 1985. – 352 s.

14. Vol'f V.G., Litun P.P. Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu matematicheskikh metodov dlya analiza eksperimental'nykh dannykh po izucheniyu kombinatsionnoy sposobnosti. – KHar'kov, 1980. – 75 s.

15. Savchenko V.K. Geneticheskiy analiz v setevykh probnykh skreshchivaniyakh. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1984. – 223 s.

16. Brandle J., Mc Vetty P. Heterosis and combining ability in hybrids derived from oilseed rape cultivars and inbred lines // Crop Sci. – 1989. – No 29. – P. 1191–1195.

17. Singh H., Yadav C. Gene action and combining ability for seed yield, flowering and maturity in rapeseed // Indian J. agric. Sci. – 1980. – V. 50. – No 9. – P. 655–658.

18. Gorlov S.L. Seleksiya ozimogo rapsa (*Brassica napus* L.) na geterozis: dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Krasnodar, 1995. – 141 s.

19. Vakhrusheva E.I. Sravnitel'noye agroseleksionnoye izucheniye steril'nykh i fertil'nykh analogov molдавского i tekhnasskogo tipov tsitoplazmy TSMS u kukuruzy // Seleksiya rasteniy s ispol'zovaniyem tsitoplazmaticheskoy muzhskoy steril'nosti. – Kiyev, 1966. – S. 121–136.

20. Anashchenko A.V. TSitoplazmaticheskiye formy muzhskoy steril'nosti u podsolnechnika // Doklady VASKHNIL. – 1974. – № 4. – S. 11–12.

21. Mатиенко А.Ф. Vliyaniye tsitoplazmaticheskoy muzhskoy steril'nosti tipa *Heliantus petiolaris* na nekotoryye selektsionno-tsennyye priznaki rasteniy podsolnechnika: dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Krasnodar, 1988. – 162 s.

22. Poplawska W., Bartkowiak-Broda I., Szala L. Genetic and breeding evaluation of double haploids lines with restorer gene for CMS- Ogura system of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) // Brassica International Journal of Brassicas. – 2007. – Vol. – No 1–4. – P 29–32.

23. Klima M. Hybrid breeding of winter oilseed rape by utilization of self-incompatibility and cytoplasmic male sterility systems // Abstracts the 12th International Rapeseed Congress, Wuhan, China. – 2007. – P. 16.

Получено: 24.09.2018 Принято: 06.11.2018

Received: 24.09.2018 Accepted: 06.11.2018