

УДК 633.853.494:631.527.56

**РАЗРАБОТКА СХЕМ СЕМЕНОВОДСТВА ГИБРИДОВ F₁
ЯРОВОГО РАПСА НА ОСНОВЕ ЦМС****Н.Г. Маркелова**, младший научный сотрудник**А.Н. Власова**, аналитик**В.И. Черепанов**, бакалавр**В.В. Карпачев**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН*ФГБНУ ВНИИ рапса**398037, Россия, г. Липецк, ул. Боевой проезд, д. 26*vniirapsa@mail.ru**DESIGNING SCHEMES FOR SEED PRODUCTION OF SPRING RAPE
F₁ HYBRIDS BASED ON CMS****N.G. Markelova**, Junior Researcher**A.N. Vlasova**, Analyst**V.I. Cherepanov**, Bachelor**V.V. Karpachev**, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of RAS*Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Rapeseed Research Institute**398037, Russia, Lipetsk, Boevoy proezd str., 26*vniirapsa@mail.ruDOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-89-95>

В результате проведенных в 2018–2020 гг. во ВНИИ рапса исследований разработана схема первичного семеноводства самоопыленных линий и гибридов F₁ ярового рапса, создано около 45 сортообразцов, включающих самоопыленные линии, простые межлинейные и трехлинейные гибриды. Осуществлена сравнительная оценка инбредных линий (материнских форм) и гибридов ярового рапса двух наиболее распространенных систем цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) — *polima* (LHS-1, LMS-1, LMS-2) и *ogura* (LCS-4, LCS-5, LCS-6). Исследована выраженность признаков урожайности у простых стерильных гибридов типа *polima* и *ogura*, доказано, что гибриды по этим признакам превосходят инбредные материнские линии на 24,8% у гибридов на стерильной цитоплазме *ogura* и на 10,7% у гибридов на стерильной цитоплазме *polima*. В наших исследованиях самоопыленные линии — материнские компоненты гибридов — уступают гибридам по содержанию сырого жира в семенах; содержание его на 6,5% ниже, чем у гибридных форм для системы ЦМС *pol* и на 17,3% ниже для форм системы ЦМС *ogu*. Установлено, что урожайность семян гибридов систем ЦМС типа *ogura* в среднем на 22,0% выше, чем у гибридов *polima*. Создан исходный материал для первичного семеноводства гибридов рапса на основе ЦМС.

Ключевые слова: яровой рапс (*Brassica napus* L.), гетерозис, гибриды F₁, семеноводство, самоопыленные линии, цитоплазматическая мужская стерильность, продуктивность.

As the result of the research conducted in 2018–2020 at the All-Russian Rapeseed Research Institute, a scheme of primary seed farming of self-pollinated lines and F₁ hybrids of spring rape has been developed,

over 45 varieties have been created, including self-pollinated lines, simple interline and three-line hybrids. A comparative appraisal of spring rape inbred lines (female parents) and hybrids of the two most common systems of cytoplasmic male sterility (CMS) – Polima (LHS-1, LMS-1, LMS-2) and Ogura (LCS-4, LCS-5, LCS-6), was made. Yield traits distinctiveness in simple sterile hybrids of Polima and Ogura types was studied; it has been asserted that when compared to inbred maternal lines the traits predominate in hybrids, the indices are higher by 24.8% in the hybrids based on sterile Ogura cytoplasm and by 10.7% in the hybrids on sterile Polima cytoplasm. In our studies, self-pollinated lines, the maternal components of the hybrids, are inferior to the hybrids in terms of crude fat content in seeds, it is 6.5% lower than in the hybrid forms for the CMS Pol system and 17.3% lower for the forms of the CMS Ogu system. It was determined that the seed yield of CMS systems hybrids of Ogura type is on average 22.0% higher than the seed yield of Polima hybrids. The starting material for primary seed production of rape-seed hybrids based on CMS has been developed.

Keywords: spring rapeseed (*Brassica napus* L.), heterosis, F₁ hybrids, seed farming, self-pollinated lines, cytoplasmic male sterility, productivity.

Введение. Одним из основных направлений в селекции рапса является гетерозисная селекция. Исследования по созданию коммерческих гибридов F₁ ведутся во всех странах, занимающихся возделыванием рапса, поскольку гетерозисный эффект по выходу семян у междо-сортовых гибридов рапса достигает 20–60% [1], масла — на 10% и белка — на 25% [2].

В семеноводстве гибридов особенно важно создать систему контролируемого опыления, которая может базироваться на цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) [3].

Для получения гибридов в промышленных масштабах необходимы источники ЦМС, закрепители стерильности и восстановители фертильности (Rf).

В настоящее время в мире найдено несколько источников ЦМС, как у *Brassica napus*, так и у других видов рода *Brassica*. Они создаются на основе внутривидовых и отдаленных гибридов, а также в результате случайных мутаций. Так, ЦМС пар создана путем скрещиваний внутри вида *Brassica napus* [3]. ЦМС nig является гибридом *Brassica nigra* (материнская форма) и *B. oleracea*,

ЦМС ogu выделена из японской популяции сорта редьки *Raphanus sativum* и перенесена в *Brassica napus*. ЦМС jun создана из коллекции сортов *B. juncea*, ЦМС mur создана скрещиванием *Diplo-*taxis muralis** и *Brassica campestris*. ЦМС pol найдена в популяции *Brassica napus* ярового рапса польского сорта Polima, ЦМС sam источником стерильной цитоплазмы является дикая форма *B. campestris* [4].

Во ВНИИ рапса в 1990 г. была выделена стерильная линия из коллекционного образца Masora (обозначенная как Mas). Установлено, что данная стерильность относится к типу ЦМС pol, поскольку фертильность восстанавливалась при скрещивании с восстановителем pol [5].

Выявлено, что не все системы ЦМС могут быть пригодны для производства гибридных семян. Наиболее активные исследования в мире направлены на изучение ЦМС ogu и ЦМС pol.

В этой связи разработка схем и способов размножения гибридов F₁ ярового рапса и их родительских компонентов, решение теоретических и практических вопросов гетерозисной селекции, созда-

ние и внедрение в производство урожайных, с высоким качеством продукции отечественных гибридов ярового рапса имеет актуальное значение.

Методика проведения исследований. Объектом исследований являлись самоопыленные линии и гибриды ярового рапса, созданные в ФГБНУ ВНИИ рапса.

Агротехника перспективных линий родительских компонентов и гибридов F_1 в полевых условиях проводилась в соответствии с общепринятой технологией возделывания ярового рапса в лесостепи ЦЧР [6].

Посев родительских компонентов проводился ручной сажалкой, гнездовым способом, по заранее маркированным

полосам (2018–2019 гг.), а в 2020 г. линии высевались десятирядной порционной сеялкой СУ-10 на делянках учетной площадью 15 и 30 м² без повторений. Наблюдения, учеты и оценки ярового рапса проводили согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [7].

Результаты исследований и их обсуждение. Для создания экспериментальных восстановленных гибридов F_1 в 2018–2020 гг. использовались системы ЦМС polima и ЦМС ogura, получение осуществлялось по классической схеме (рис. 1), предполагающей наличие стерильной материнской линии (линии А) и отцовской линии восстановителя фертильности (линии R).

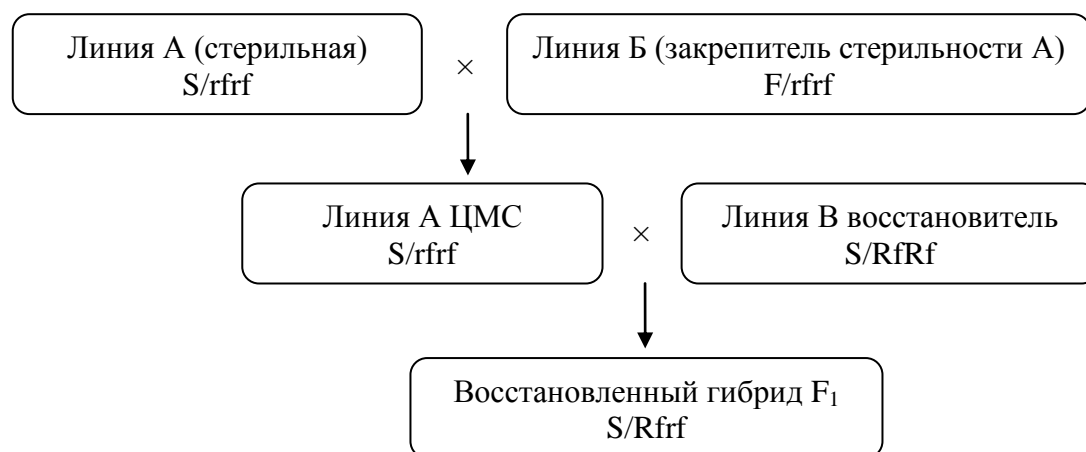


Рис. 1. Схема создания восстановленного гибрида рапса на основе ЦМС

В задачу первичного семеноводства входило производство генетически чистых семян стерильных аналогов инбредных линий (линий А), закрепителей стерильности (Б), восстановителей фертильности (В), а также материнских форм трехлинейных гибридов, начиная с категории маточных семян и заканчивая элитой.

Семена, полученные на первых этапах, использовались в первичном семеноводстве на пространственно изолированных участках (ИУ) при производстве репродукционных семян (РСт) простых межлинейных и трехлинейных гибридов F_0 , а также инбредных линий стерильных аналогов (материнских форм гибридов) ярового рапса.

На четырех пространственно изолированных участках (ИУ-1, ИУ-2, ИУ-3, ИУ-4), которые во избежание переопыления были размещены вдали от основных посевов рапса, в 2018–2019 гг. материнские и отцовские компоненты гибридов высевали ручной сажалкой гнездовым способом по заранее маркированным ярусам метровой ширины с площадью питания одного растения 10×15 см. Чередующиеся блоки делянок материнских

компонентов размещались внутри периметра, созданного отцовским компонентом (восстановителем фертильности) (рис. 2). Площади делянок обуславливались количеством имеющихся семян. За норму пространственной изоляции принималось не менее 5 км при отсутствии преград и 3 км при наличии естественных преград (лес, лесополоса и т.д.). Типы опыления — энтомофильное и свободное ветроопыление при открытом цветении.

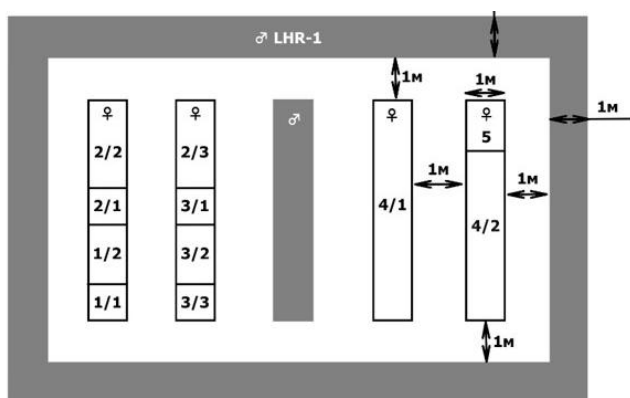


Рис. 2. Схема посева и участок ИУ-1-2019.
Первичное семеноводство гибридов F_1 на основе ЦМС pol

В целях снижения трудозатрат, сокращения сроков сева при увеличении площадей делянок родительских компонентов гибридов и получения большего количества семян, на всех участках в 2020 г. посев произведен десятирядной

порционной сеялкой СУ-10 в оптимальные для ЦЧЗ сроки. При этом блоки делянок отцовских форм были расположены через две и/или через одну материнскую делянку, а также образовывали периметр изолированного участка (рис. 3).

		↓		↓		↓		
		2		4		6		2 м
	♂	♀ 5	♀ 4	♂	♀ 3	♂		20 м
								2 м
	♂	♀ 1	♀ 1	♂	♀ 2	♂		20 м
	1		3		5			2 м
1 м	↑		↑		↑		1 м	



Рис. 3. Схема посева и участок ИУ-1-2020.
Первичное семеноводство гибридов F_1 на основе ЦМС pol

В наших исследованиях материнские инбредные линии высевались на участке (ИУ-3) по схеме «отцовская делянка через две материнские» и беккроссировались самоопыленной линией сорта Ратник.

Использувавшиеся в качестве материнских форм при получении гибридов

рапса на стерильной цитоплазме типа polima (ИУ-1) линии LHS-1, LMS-1, LMS-2 (табл. 1) обладали высокой комбинационной способностью по урожайности и другим хозяйственно полезным признакам; восстановителем фертильности была линия LHR-1.

1. Агробиологическая характеристика и качество семян материнских форм гибридов, среднее за 2018–2020 гг.

Материнские формы	Урожайность семян		Период всходы – цветение, сутки	Масса 1000 семян, г	Содержание, %		
	г/м ²	в % к среднему			жира	белка	олеиновой кислоты
Система ЦМС polima							
LHS-1	164	83	59	3,8	36,3	25,4	62,4
LMS-1	214	109	61	4,2	37,2	26,5	63,3
LMS-2	213	108	62	4,4	37,0	25,0	63,8
Среднее	197	100	61	4,1	36,8	25,6	63,2
Система ЦМС ogura							
LCS-4	243	114	58	3,8	37,0	26,2	62,8
LCS-5	210	98,6	60	3,5	35,4	25,6	66,4
LCS-6	187	87,8	58	3,7	36,6	25,8	61,4
Среднее	213	100	59	3,7	36,3	25,9	63,5

Основными инбредными линиями, использовавшимися в качестве материнских форм при получении гибридов рапса ЦМС ogura (ИУ-2), были LCS-4, LCS-5, LCS-6 (табл. 1), а в качестве отцовской формы — линия RGR-1.

За период исследований (2018–2020 гг.) по разработке первичного промышленного семеноводства гибридов ярового рапса на изолированных участках во ВНИИ рапса создано около 45 сортообразцов, включающих самоопыленные линии, простые межлинейные и трехлинейные гибриды, характе-

ристика наиболее высокопродуктивных из них приведена ниже (табл. 2).

Известно, что для многих самоопыленных линий рапса свойственна инбредная депрессия — уменьшение размеров растений и снижение семенной продуктивности по сравнению со свободно опыляющимися сортами [8], а с другой стороны, эффект гетерозиса по урожайности гибридов F₁ покрывает расходы на их создание, увеличивает валовые сборы продукции растениеводства, позволяя осуществлять авторский контроль семеноводства.

**2. Урожайность и хозяйственно ценные признаки
простых невосстановленных гибридов рапса, среднее за 2018–2020 гг.**

Гибриды	Урожайность семян		Период всходы – цветение, сутки	Масса 1000 семян, г	Содержание, %		
	г/м ²	в % к среднему			жира	белка	олеиновой кислоты
Система ЦМС polima							
LHS-1 × Ural ©i ⁷	218	100	50	4,2	38,5	23,4	66,9
LHS-1 × Галакси ©i ¹³	227	104	51	4,0	37,5	22,3	63,8
LHS-1 × ЛК-69-92 ©i ¹³	210	96	50	4,6	38,6	23,1	63,5
LMS-2 × LHR-1	224	103	53	4,1	40,4	22,4	66,1
LHS-1 × RGS003 ©i ⁸	209	96	54	3,7	40,9	24,3	63,3
Среднее	218	100	52	4,1	39,2	23,1	64,7
Система ЦМС ogura							
LCS-6 × Salsa, per3	277	104	52	3,8	40,9	24,8	64,5
LCS-5/2 × Salsa, per2	276	103	53	4,0	40,8	24,7	63,1
LCS-6 × СВ Тамбора, p-1 ©i ⁷	269	101	52	4,3	43,7	23,6	64,3
LCS-5 × AMC205, p-9 ©i ⁷	252	95	54	4,5	44,8	24,6	65,9
LCS-4 × Хантер ©i ⁵	256	96	51	3,7	42,7	23,4	61,8
Среднее	266	100	52	4,1	42,6	24,2	63,9

При исследовании выраженности признаков урожайности у простых стерильных гибридов типа pol и ogu в сравнении с материнскими линиями доказано, что гибриды по этим признакам превосходят инбредные линии, средний урожай семян с 1 м² на 53 г больше (или на 24,8%) у гибридов на стерильной цитоплазме ogu и на 21 г больше (или на 10,7%) у гибридов на стерильной цитоплазме pol.

Содержание сырого жира в семенах материнских форм на 6,5% ниже, чем у гибридных форм для системы ЦМС pol и на 17,3% ниже для форм системы ЦМС ogu. В то же время наблюдается обратная зависимость по содержанию белка, которого на 10,8% больше в материнских линиях по pol и по ogu на 7,0%.

Существенных различий по содер-

жанию олеиновой кислоты в масле инбредных линий и гибридных форм не выявлено, вариация значения показателя находилась в пределах 63,2–64,7%.

Материнские линии характеризуются большей продолжительностью периода «всходы – цветение» (от 4 до 11 дней) и в целом являются более позднеспелыми.

Урожайность семян гибридов систем ЦМС типа ogura в среднем выше, чем у гибридов polima на 22,0%. Это связано как с большей комбинационной способность восстановителя RGR-1, так и с его лучшей пыльцевой продуктивностью по сравнению с LHR-1.

Заключение. Разработанная схема первичного промышленного семеноводства гибридов ярового рапса с посевом на изолированных участках позволяет осуществлять контроль над получением

генетически чистых, с высокими посевными и урожайными свойствами инбредных линий и гибридов F₁.

В наших исследованиях самоопыленные линии — материнские компо-

ненты гибридов — уступают гибридам практически по всем количественным признакам, кроме процентного содержания белка и олеиновой кислоты в семенах, массы 1000 семян.

Литература

1. Воскресенская Г.С., Шелкоуденко В.Г. Гетерозис у межсортовых гибридов озимого рапса в реципрокных скрещиваниях // Сельскохозяйственная биология. — 1974. — Т. 9, № 4. — С. 529–533.
2. Anand I.J. Breeding hybrids in rapeseed and mustard. *Proc. 7th Intern. Rapeseed Congr.* 1987. V. 1. Pp. 79–85.
3. Thompson K.F. Cytoplasmic male sterility in oilseed rape. *Heredity*. 1972. V. 29. Pp. 253–257.
4. Жидкова Е.Н. Отдаленная гибридизация в селекции рапса (*Brassica napus* L.): монография. — Липецк : ЛГПУ, 2008. — 163 с.
5. Жидкова Е.Н., Карпачев В.В., Никоноренков В.А. Новый источник ЦМС для селекции рапса // Селекция и семеноводство. — 1997. — № 2. — С. 52.
6. Карпачев В.В., Савенков В.П., Горшков В.И. Перспективная ресурсосберегающая технология производства ярового рапса : метод. рекомендации. — М. : Росинформагротех, 2008. — 60 с.
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. М.А. Федина. — М. : Агропромиздат, 1985. — 296 с.
8. Bartkowiak-Broda I., Rousselle P., Renard M. Investigation of two kinds of cytoplasmic male sterility in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Genet. Pol.* 1979. V. 29, № 4. Pp. 487–497.

References

1. Voskresenskaya G.S., Shelkoudenko V.G. Geterozis u mezhsortovykh gibridov ozimogo rapsa v retsiproknykh skreshchivaniyakh [Heterosis in intervarietal hybrids of winter rapeseed in reciprocal crosses]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 1974, v. 9, no. 4, pp. 529–533.
2. Anand I.J. Breeding hybrids in rapeseed and mustard. *Proc. 7th Intern. Rapeseed Congr.* 1987. V. 1. Pp. 79–85.
3. Thompson K.F. Cytoplasmic male sterility in oilseed rape. *Heredity*. 1972. V. 29. Pp. 253–257.
4. Zhidkova E.N. Otdalennaya gibridizatsiya v selektsii rapsa (*Brassica napus* L.) [Distant hybridization in rapeseed breeding (*Brassica napus* L.)]. Lipetsk, 2008, 163 p.
5. Zhidkova E.N., Karpachev V.V., Nikonorenkov V.A. Novyy istochnik TsMS dlya selektsii rapsa [New CMS source for rape seed breeding]. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breeding and seed production], 1997, no. 2, pp. 52.
6. Karpachev V.V., Savenkov V.P., Gorshkov V.I. Perspektivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva yarovogo rapsa: metod. rekomendatsii [Promising resource-saving technology for spring rape production: methodical recommendations]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 2008, 60 p.
7. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Methodology for state variety testing of agricultural crops]. Ed.: M.A. Fedin. Moscow, Agropromizdat Publ, 1985, 296 p.
8. Bartkowiak-Broda I., Rousselle P., Renard M. Investigation of two kinds of cytoplasmic male sterility in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Genet. Pol.* 1979. Vol. 29, № 4. Pp. 487–497.