

УДК 631:(521/522+523)

**ПОИСК ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ФЕРТИЛЬНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ЦМС ТИПА *POLIMA* РАПСА ЯРОВОГО (*Brassica napus* L.)
И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА**

И.О. Пастухов, кандидат сельскохозяйственных наук
В.В. Карпачев, доктор сельскохозяйственных наук

Липецкий НИИ рапса – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК имени В.С. Пустовойта
398037, Россия, г. Липецк, ул. Боевой проезд, д. 26
vnirapsa@mail.ru; Pastuhov2009@rambler.ru

**SEARCH OF FERTILITY REGULATORS FOR *POLIMA* TYPE
CYTOPLASMIC MALE STERILITY OF SPRING RAPE (*Brassica napus* L.)
AND ASSESSMENT OF THEIR QUALITY**

I.O. Pastukhov, Candidate of Agricultural Sciences
V.V. Karpachev, Doctor of Agricultural Sciences

Lipetsk Research Institute of Rapeseed – branch of FSBSI FSC VNIIMK by V.S. Pustovoit
398037, Russia, Lipetsk, Boevoy proezd str., 26
vnirapsa@mail.ru; Pastuhov2009@rambler.ru

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-1-24-32>

Одним из основных направлений в современной селекции ярового рапса является создание гетерозисных гибридов. Семеноводство большинства используемых в производстве гибридов F₁ осуществляется на двух типах цитоплазматической мужской стерильности — *Polima* и *Ogura*. Во ВНИИ рапса созданы и оценены по основным селекционно-ценным признакам и биохимическим свойствам восстановители фертильности на стерильной цитоплазме. Цель работы заключалась в создании эффективных восстановителей, необходимых для получения высокопродуктивных гибридов на цитоплазме типа *Polima*. Материалом послужили 56 сортообразцов *Brassica napus* L., отобранных нами в 2013 г. Закладка опытов, наблюдения, учеты и анализы выполнялись с использованием методики полевого опыта, методики проведения полевых агротехнических опытов, методики статистической обработки данных. Исследования показали, что полученные восстановленные гибриды F₁ превысили по отдельным элементам структуры урожая и продуктивности родительские формы и стандарты — сорта рапса Ратник и Риф. Выделены перспективные восстановители цитоплазматической мужской стерильности типа *Polima*, которые обеспечивали полное восстановление фертильности стерильных линий с ЦМС типа *Polima*. Практический интерес для создания гибридов на цитоплазме типа *Polima* представляет восстановитель LHR-1.

Ключевые слова: рапс яровой (*Brassica napus* L.), гетерозис, цитоплазматическая мужская стерильность, продуктивность, качество семян.

One of the prior directions in modern rapeseed breeding is making heterotic hybrids. Seed production of most hybrids F₁ used in production are often carried out by two types of cytoplasmic male sterility, there are *Polima* and *Ogura*. At the All-Russian Rapeseed Research Institute, fertility restorers on sterile cytop-

lasm were made and estimated for the main valuable characteristics and biochemical properties. The purpose of the study was to create reducing agents necessary for obtaining highly productive hybrids on the *Polima* type cytoplasmic male sterility (CMS). The object of research was 56 varieties of *Brassica napus* L., which were chosen in 2013. The setting of experiments, observations, records and analyzes were carried out using the field plot technique, the methodology of field experiments, the method of statistical data processing. It is noted that hybrids F₁ had more productivity than the parental forms and the standard (Ratnik and Rif). Promising reducing agents of cytoplasmic male sterility of the *Polima* type were identified, which ensured complete restoration of fertility in sterile lines with CMS of the *Polima* type. The reducing agent LHR-1 is of practical interest for the creation of hybrids on the *Polima* CMS.

Keywords: winter rapeseed (*Brassica napus* L.), heterosis, cytoplasmic male sterility, productivity, seed quality.

Введение. Благодаря цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) и генетической регуляции восстановления фертильности, использование эффекта гетерозиса получило распространение в селекции сельскохозяйственных культур [1].

Одно из наиболее перспективных направлений селекции рапса — это создание гетерозисных гибридов [2; 3]. Для использования гибридов в производстве обязательным является контролируемое опыление на основе мужской стерильности материнской формы и отцовской линии — восстановителя фертильности гибрида F₁ [4].

Цитоплазматическая мужская стерильность типа *Polima* восстанавливается одной парой доминантных генов *Rf* [5].

Механизм данного типа стерильности заключается в отсутствии развития археспор или задержке их дифференциации, из-за чего пыльники стерильных растений являются мелкими, имеют стреловидную форму и белый цвет [6]. Во время развития пыльников и дифференциации археспор проявляется действие генов мужской стерильности.

Материнская линия простого гибрида должна быть стерильной, а отцовская

форма должна восстанавливать его фертильность [7].

Целью наших исследований являлось создание эффективных восстановителей, необходимых для получения высокопродуктивных гибридов на цитоплазме типа *Polima*.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2012–2019 гг. в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рапса» по поиску восстановителя фертильности ярового рапса. Поскольку все сорта рапса являлись закрепителями стерильности типа *Polima*, в качестве материала исследований были использованы 56 сортообразцов *Brassica napus* L., отобранные нами в 2013 г.

В наших исследованиях восстановитель фертильности LHR-1 для цитоплазмы типа *Polima* ЦМС создан на основе источника генов *Rf*, любезно предоставленного канадским селекционером Р.В.Е. McVetty. При создании восстановителя фертильности у ярового рапса проблема заключалась в том, что источник генов восстановления являлся озимой формой с содержанием в масле эруковой кислоты 7,66%, а в семенах содержание глюкозинолатов составляло более 2,75% [8].

Закладка опытов, наблюдения, учеты и анализы выполнялись с использованием методики полевого опыта [9], методики проведения полевых агротехнических опытов [10], методики статистической обработки данных [11].

Результаты и обсуждение. С целью получения восстановителей фертильности на стерильной основе для ЦМС типа *Polima* проводили насыщающие скрещивания стерильной линии LHS-1 выде-

ленными из гибридной комбинации линиями, несущими гены восстановления фертильности *Rf*.

При дальнейшей оценке гибридов F_1 , среди расщепляющихся образцов стерильной линии LHS-1 с самоопыленными линиями восстановителя фертильности типа *Polima*, выделили линии, имеющие 100%-ую восстановительную способность и соответственно ген *RfRf* (табл. 1).

1. Восстановительная способность выделенных линий LHR-1 (тип *Polima*) по гену *RfRf*, %

№	Комбинация скрещивания	Годы исследований			Среднее значение
		2014	2015	2016	
1	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-3	100	100	100	100
2	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-5	70	75	80	75
3	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-7	50	60	60	57
4	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-9	100	100	100	100
5	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-11	80	70	80	77
6	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-16	80	90	80	83
7	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-18	100	90	80	90
8	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-19	90	90	90	90
9	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-21	70	73	70	71
10	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-22	100	81	85	89
11	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) p-4), p-23	90	85	80	85
12	LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-13)	60	50	50	53
13	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-2	100	100	100	100
14	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-3	100	70	75	82
15	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-6	100	100	100	100
16	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-7	100	100	100	100
17	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-8	100	100	100	100
18	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-9	100	80	80	87
19	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-10	100	100	100	100
20	LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р ³) дел.), p-11	100	80	80	87

Исследуемые линии в основной массе являлись гетерозиготными по эффекту восстановления фертильности у рап-

са. К полуфертильным отнесены линии, в пыльниках цветков которых обнаружена фертильная и стерильная пыльца. У

гибрида LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-13) в соцветиях сформировалось 47% стерильных и 53% фертильных цветков, а у гибрида LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р³) p-4), p-7 было сформировано 43% стерильных и 57% фертильных цветков. Гибриды LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р³) p-4), p-15; LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-1); LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-2); LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-3); LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-5); LHS-1 × (LHS-1 × Monty, p-6) имели только стерильные цветки.

По итогам многолетних исследований установлено, что перспективные образцы LHS-1 × ((X-401, ф.р.©р³) p-4), p-3; LHS-1 × ((X-401, ф.р.©р³) p-4), p-9; LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р³) дел.), p-6; LHS-1 × ((X-401, ф.р.©р³) дел.), p-7;

LHS-1 × ((X-401, ф.р.©р³) дел.), p-8; LHS-1 × ((LHR-1, ф.р.©р³) дел.), p-10 при нормальных условиях роста и развития могут обеспечить высокую степень фертильности гибридов.

Перспективные гибридные комбинации изучены по продуктивности в трех повторениях в сравнении с сортами-стандартами Ратник и Риф.

Проведена агробиологическая оценка перспективных гибридных комбинаций, изучена структура урожая и качество семян.

Установлено, что высота растений гибридов F₁ варьировала от 93,5 см у LHS-1 × LHR-1, p-9 в 2017 г. до 125,8 см у LHS-1 × LHR-1, p-10 в 2018 г. (табл. 2).

2. Высота растений фертильных гибридов F₁ рапса, 2017–2019 гг.

№	Происхождение	Длина стебля, см			
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее значение
1	LHS-1 × LHR-1, p-3	114,2	110,7	119,7	114,9 ± 4,5
2	LHS-1 × LHR-1, p-9	93,5	112,0	125,7	110,4 ± 16,2
3	LHS-1 × LHR-1, p-6	96,7	117,8	121,6	112,0 ± 13,4
4	LHS-1 × LHR-1, p-7	98,2	115,7	120,0	111,3 ± 11,5
5	LHS-1 × LHR-1, p-8	108,0	112,6	122,3	114,3 ± 7,3
6	LHS-1 × LHR-1, p-10	103,8	125,8	123,7	117,8 ± 12,1
7	Ратник, St	108,3	128,0	130,3	122,2 ± 12,1
8	Риф, St	104,3	120,6	128,7	117,9 ± 12,4
	НСР ₀₅	12,3	10,0	7,9	10,1 ± 2,2

По результатам исследования продуктивности растений наиболее ценными оказались гибриды: LHS-1 × LHR-1, p-3; LHS-1 × LHR-1, p-8, LHS-1 × LHR-1, p-7.

По признаку «масса семян с одного

растения» значения варьировались от 2,93 до 3,04 г, что достоверно превосходило стандарт (табл. 3).

Продуктивность LHS-1 × LHR-1, p-10 была достоверно ниже других гибридов F₁ и стандарта.

3. Продуктивность гибридов F₁ ярового рапса, 2017–2019 гг.

№	Происхождение	Масса семян с растения, г			
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее значение
1	LHS-1 × LHR-1, p-3	1,48	5,97	3,04	3,50 ± 2,28
2	LHS-1 × LHR-1, p-9	1,35	4,20	1,50	2,35 ± 1,60
3	LHS-1 × LHR-1, p-6	1,28	3,97	1,31	2,19 ± 1,54
4	LHS-1 × LHR-1, p-7	1,67	2,91	3,00	2,53 ± 0,74
5	LHS-1 × LHR-1, p-8	1,34	3,35	2,93	2,54 ± 1,06
6	LHS-1 × LHR-1, p-10	1,13	2,03	1,63	1,60 ± 0,46
7	Ратник, St	0,76	1,71	1,11	1,19 ± 0,48
8	Риф, St	0,81	2,01	1,09	1,30 ± 0,63
	HCP ₀₅	0,54	2,11	1,39	1,35 ± 0,79

Показатель «масса 1000 семян» у гибридов F₁ рапса варьировал в пределах от 2,53 до 4,55 г, наиболее крупные семена были у гибридов F₁ LHS-1 × LHR-1, p-7 и LHS-1 × LHR-1, p-8: их масса со-

ставляла от 3,79 ± 1,09 до 3,83 ± 0,82 г (табл. 4).

Более низкие показатели массы 1000 семян выявлены у гибрида F₁ LHS-1 × LHR-1, p-3 – 3,57 ± 0,85 г.

4. Масса 1000 семян (г) у фертильных гибридов F₁ рапса

№	Происхождение	Годы исследований			
		2017	2018	2019	среднее значение
1	LHS-1 × LHR-1, p-3	4,14	3,98	2,60	3,57 ± 0,85
2	LHS-1 × LHR-1, p-9	4,27	4,17	2,86	3,77 ± 0,79
3	LHS-1 × LHR-1, p-6	4,23	4,13	2,71	3,69 ± 0,85
4	LHS-1 × LHR-1, p-7	4,47	4,38	2,53	3,79 ± 1,09
5	LHS-1 × LHR-1, p-8	4,39	4,22	2,89	3,83 ± 0,82
6	LHS-1 × LHR-1, p-10	4,55	4,05	2,63	3,74 ± 1,00
7	Ратник, St	4,35	4,09	2,78	3,74 ± 0,84
8	Риф, St	4,44	4,05	2,82	3,77 ± 0,84
	HCP ₀₅	0,51	0,33	0,52	0,45 ± 0,11

По содержанию масла в семенах все гибриды не имели достоверных различий (табл. 5). Самое низкое содержание масла в семенах в среднем за три года испытаний отмечено у гибридов LHS-1 × LHR-1, p-8 (36,9 ± 1,3%), LHS-1 × LHR-1, p-10 (36,9 ± 2,1%). Наиболее высокое

содержание масла — у гибридов LHS-1 × LHR-1, p-3 (38,0 ± 1,9%), LHS-1 × LHR-1, p-7 (37,8 ± 1,5%).

Содержание масла в семенах варьировало от 35,0% у гибрида LHS-1 × LHR-1, p-10 в 2018 г. до 39,8% у гибрида LHS-1 × LHR-1, p-3 в 2019 г.

5. Биохимическая характеристика семян гибридов F₁ рапса, %

№	Происхождение	Масличность, %				Белок, %			
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее значение	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее значение
1	LHS-1 × LHR-1, p-3	38,2	36,0	39,8	38,0 ± 1,9	27,31	28,02	24,70	26,7 ± 1,7
2	LHS-1 × LHR-1, p-9	38,1	37,2	37,7	37,7 ± 0,5	26,20	29,02	26,09	27,1 ± 1,7
3	LHS-1 × LHR-1, p-6	38,6	36,5	36,6	37,2 ± 1,2	26,06	27,72	26,16	26,6 ± 0,9
4	LHS-1 × LHR-1, p-7	39,3	36,2	37,8	37,8 ± 1,5	25,77	28,29	27,17	27,1 ± 1,3
5	LHS-1 × LHR-1, p-8	38,4	36,1	36,1	36,9 ± 1,3	26,68	28,49	27,59	27,6 ± 0,3
6	LHS-1 × LHR-1, p-10	39,1	35,0	36,4	36,9 ± 2,1	26,42	29,64	25,23	27,1 ± 2,3
7	Ратник, St	38,1	37,1	37,4	37,5 ± 0,5	27,45	28,96	26,68	28,0 ± 1,2
8	Риф, St	38,4	37,1	36,8	37,4 ± 0,9	26,18	28,71	26,53	27,1 ± 1,4
	НСР ₀₅	1,87	1,64	1,66	1,72 ± 0,1	1,60	1,17	2,08	1,7 ± 0,4

По содержанию белка в семенах гибридов рапса не имелось достоверных различий, этот показатель варьировал в пределах от 25,77% у LHS-1 × LHR-1, p-7 в 2018 г. до 29,02% у LHS-1 × LHR-1, p-9 также в 2018 г.

Одним из наиболее важных показателей, которые характеризуют качество рапсового масла, является содержание

олеиновой кислоты — мононенасыщенной жирной кислоты (Омега 9) [12].

Достоверно высокое содержание олеиновой кислоты в масле отмечено у LHS-1 × LHR-1, p-6 и составляет 64,0 ± 3,1% (табл. 6).

Все остальные гибриды имели содержание олеиновой кислоты на уровне стандарта.

6. Содержание отдельных жирных кислот в семенах гибридов F₁, %

№	Происхождение	Олеиновая кислота, %				Эруковая кислота, %			
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее значение	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее значение
1	LHS-1 × LHR-1, p-3	64,0	60,5	58,4	61,0 ± 2,8	0,25	0,28	0,45	0,33 ± 0,11
2	LHS-1 × LHR-1, p-9	63,9	59,8	58,2	60,6 ± 2,9	0,26	0,11	0,33	0,23 ± 0,11
3	LHS-1 × LHR-1, p-6	66,0	65,6	60,4	64,0 ± 3,1	0,14	0,07	0,35	0,19 ± 0,14
4	LHS-1 × LHR-1, p-7	65,0	62,4	61,2	62,8 ± 1,9	0,15	0,15	0,23	0,18 ± 0,05
5	LHS-1 × LHR-1, p-8	66,8	63,7	58,7	63,1 ± 2,1	0,11	0,09	0,44	0,21 ± 0,19
6	LHS-1 × LHR-1, p-10	66,1	61,7	60,2	62,7 ± 3,0	0,13	0,20	0,36	0,23 ± 0,11
7	Ратник, St	65,2	62,5	57,8	61,8 ± 3,7	0,10	0,00	0,32	0,14 ± 0,16
8	Риф, St	65,1	60,9	56,8	60,9 ± 4,1	0,11	0,23	0,45	0,26 ± 0,17
	НСР ₀₅	2,40	2,79	1,78	2,32 ± 0,5	0,21	0,13	0,14	0,16 ± 0,04

Содержание эруковой кислоты в семенах гибридов F₁ во все годы испытателей

не превышало допустимых показателей.

Самое высокое содержание отмечено у LHS-1 × LHR-1, p-3 (0,45%) в 2019 г., самое низкое — у LHS-1 × LHR-1, p-8 (0,11%) в 2017 г. и LHS-1 × LHR-1, p-9 (0,11%) в 2018 г.

Питательная ценность рапсового жмыха и шрота ограничивается содержащимися в них серосодержащими соединениями — глюкозинолатами. Во время гидролиза, под действием фер-

мента мирозиназы, они распадаются на изотиоцианаты, тиоцианаты, оксазолидинтионы, которые негативно влияют на щитовидную железу животных, и нитрилы, являющиеся токсичными [13].

Гибриды F₁ имели равное или достоверно более высокое содержание глюкозинолатов в семенах (16,04–25,27 мкмоль/г) в сравнении со стандартом Ратник и равное с Риф (табл. 7).

7. Содержание глюкозинолатов в семенах гибридов F₁, мкмоль/г

№	Происхождение	Годы исследований			
		2017	2018	2019	среднее значение
1	LHS-1 × LHR-1, p-3	22,1	19,2	25,3	22,2 ± 3,0
2	LHS-1 × LHR-1, p-9	17,2	16,0	22,0	18,4 ± 3,1
3	LHS-1 × LHR-1, p-6	17,7	21,4	23,6	20,9 ± 2,9
4	LHS-1 × LHR-1, p-7	20,6	21,6	22,7	21,7 ± 1,0
5	LHS-1 × LHR-1, p-8	20,9	20,6	22,7	21,4 ± 1,1
6	LHS-1 × LHR-1, p-10	18,9	22,4	21,4	20,9 ± 1,8
7	Ратник, St	16,0	14,3	20,4	16,9 ± 3,1
8	Риф, St	21,1	22,4	21,8	21,7 ± 0,6
	НСР ₀₅	0,18	0,18	4,18	1,51 ± 2,3

У LHS-1 × LHR-1, p-3 отмечено максимальное количество глюкозинолатов в семенах (25,27 мкмоль/г). У LHS-1 × LHR-1, p-9 — минимальное их количество (16,0 мкмоль/г).

Заключение. В результате проведенных исследований выделены перспективные восстановители цитоплазматической мужской стерильности типа *Polima*: LHR-1, p-3; LHR-1, p-7; LHR-1, p-8. Они обеспечивали полное восстановление фертильности стерильных ли-

ний с ЦМС типа *Polima*.

Отдельные элементы структуры урожая гибридов рапса F₁ с выделенными восстановителями фертильности, в том числе масса семян с одного растения, превысили показания родительских форм и стандартов.

Восстановитель фертильности ЦМС типа *Polima* LHR-1 представляет практический интерес в селекции рапса для создания фертильных гибридов F₁ на этом типе цитоплазмы.

Литература

1. Боос Г.В., Бадина Г.В., Буренин В.И. Гетерозис овощных культур. – Л. : Агропромиздат, 1990. – 223 с.
2. Кильчевский А.В. Генетические основы селекции растений. В 4 т. – Т. 1. Общая генетика растений / науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. – Минск : Белорусская наука, 2008. – 551 с.

3. Birchler J.A., Yao H., Chudalay S. et al. Heterosis // *Plant Cell*. – 2010. – Vol. 22, – P. 2105–2112.
4. Карпачев В.В., Пастухов И.О. Оценка нового материала для гетерозисной селекции ярового рапса, созданного на основе двух систем ЦМС // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 3. – С. 31–36.
5. Yang G., Fu T. The inheritance of Polima cytoplasmic male sterility in *Brassica napus* L. // *Plant Breed*. – 1990. – Vol. 104. – P. 121–124.
6. Bartkowiak-Broda I. CMS polima // *Proc. 9th Intern. Rapeseed Congr.* – 1995. – V. 1. – P. 22–28.
7. Wei W.L., Wang H.Z., Liu G.H. Cytological and molecular characterization of a new cytoplasmic male sterility in rapeseed // *Plant Breeding*. – Aug 2009. – Vol. 128. – Issue 4. – Pp. 426–428.
8. Карпачев В.В. Рапс яровой. Основы селекции : монография / ГНУ ВНИПТИ рапса. – Липецк, 2008. – 236 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М. : Агропромиздат, 1985. – 416 с.
10. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / В.М. Лукомец, Н.М. Тишков, В.Ф. Баранов и др. – Краснодар : РИА «АлВи-дизайн», 2010. – 327 с.
11. Вольф В.Г. Статистическая обработка опытных данных. – М. : Колос, 1966. – 253 с.
12. Пастухов И.О. Селекционно-генетические принципы создания гетерозисных гибридов рапса ярового (*Brassica napus* L.) в ЦЧР : дис. ... канд. с.-х. наук. – Рамонь, 2018. – 135 с.
13. Parnell A., Craig E.A., Draper S.P. Changes in the glucosinolate content of seed of winter oilseed rape varieties in successive generations // *J. Nation. Instit. Agric. Bot.* – 1983. – V. 16, № 2. – Pp. 207–212.

References

1. Boos G.V., Badina G.V., Burenin V.I. Geterozis ovoshchnykh kultur [Heterosis of vegetable crops]. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1990, 223 p.
2. Kilchevskiy A.V. Geneticheskiye osnovy selektsii rasteniy [The genetic basis of plant breeding]. In 4 vol. *Vol. 1. Obshchaya genetika rasteniy [General plant genetics]*. Eds.: A.V. Kilchevskiy, L.V. Khotyleva. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2008, 551 p.
3. Birchler J.A., Yao H., Chudalay S. et al. Heterosis. *Plant Cell*. 2010. Vol. 22. Pp. 2105–2112.
4. Karpachev V.V., Pastukhov I.O. Otsenka novogo materiala dlya geterozisnoy selektsii yarovogo rapasa, sozdannogo na osnove dvukh sistem CMS [Assessment of a new material for heterotic breeding of spring rapeseed, created on the basis of two CMS systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University]*. 2017, no. 3, pp. 31–36.
5. Yang G., Fu T. The inheritance of Polima cytoplasmic male sterility in *Brassica napus* L. *Plant Breed*. 1990. Vol. 104. Pp. 121–124.
6. Bartkowiak-Broda I. CMS polima. *Proc. 9th Intern. Rapeseed Congr.* 1995. V. 1. Pp. 22–28.
7. Wei W.L., Wang H.Z., Liu G.H. Cytological and molecular characterization of a new cytoplasmic male sterility in rapeseed. *Plant Breeding*. Aug 2009. Vol. 128. Issue 4. Pp. 426–428.
8. Karpachev V.V. Raps yarovoy. Osnovy selektsii [Spring rapeseed. Breeding Basics: Monograph]. Lipetsk, 2008, 236 p.
9. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 416 p.
10. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Baranov V.F. et al. Metodika provedeniya polevykh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami [Methodology for conducting field agrotechnical experiments with oilseeds]. Krasnodar, RIA "AlVi-dizayn" Publ., 2010, 327 p.

11. Volf V.G. Statisticheskaya obrabotka opytnykh dannykh [Statistical processing of experimental data]. Moscow, Kolos Publ., 1966, 253 p.
12. Pastukhov I.O. Seleksionno-geneticheskiye printsipy sozdaniya geterozisnykh gibridov rapsa yarovogo (*Brassica napus* L.) v TsChR [Selection and genetic principles of creating heterotic hybrids of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in the Central Chernozem Region: Dis. ... Candidate Agr. Sci.]. Ramon, 2018, 135 p.
13. Parnell A., Craig E.A., Draper S.P. Changes in the glucosinolate content of seed of winter oilseed rape varieties in successive generations. *J. Nation. Instit. Agric. Bot.* 1983. V. 16. N 2. Pp. 207–212.