



УДК 633.853.494+631.527.5
DOI 10.25230/conf11-2021-115-120

**ЭФФЕКТ ГЕТЕРОЗИСА И ФЕНОТИПИЧЕСКОГО ДОМИНИРОВАНИЯ
У МЕЖЛИНЕЙНЫХ ГИБРИДОВ РАПСА ОЗИМОГО**

Стрельников Е.А.
ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
strelnikov.e.a.1989@mail.ru

Представлены данные проявления гетерозиса у экспериментальных гибридов первого поколения рапса озимого (*Brassica napus* L.) по основным хозяйственно-ценным признакам в условиях центральной зоны Краснодарского края. Определена степень фенотипического доминирования и эффекта гетерозиса у ряда гибридов рапса озимого. В предварительном испытании гибридная комбинация 39712 × ОРК 9 продемонстрировала достоверно высокий истинный и конкурсный гетерозис, а также сверхдоминирование по всем изучаемым признакам. По признакам урожайность и масличность семян, выделены лучшие гибридные комбинации – 1746 × ОРК 14, 40059 × ОРК 17 и 40059 × ОРК 21, которые проявили достоверно высокий конкурсный гетерозис, а также сверхдоминирование.

Ключевые слова: рапс озимый, линия, экспериментальный гибрид, признак, гетерозис, степень фенотипического доминирования, наследование.



Введение. Создание гибридов рапса озимого, соответствующих запросам сельскохозяйственного производства, во многом зависит от генетического разнообразия исходного материала. Подбор родительских пар для скрещивания – это сложный процесс, поскольку каждый признак или свойство родительских организмов не передаётся непосредственно их потомству. Наследуются гены, а признаки проявляются как результат их экспрессии в конкретных условиях среды.

Степень фенотипического доминирования как показатель для оценки селекционного материала на ранних этапах испытания используется у многих культур: пшеницы, гречихи, ячменя и других. Исследования по этому показателю подтверждают возможность его использования при подборе пар для скрещивания, а также для быстрой оценки гибридных потомков [4]. Основной отличительной особенностью гибридов F₁ является проявление эффекта гетерозиса по отдельным количественным и качественным признакам. Прежде всего, это обусловлено гетерозиготным состоянием организма [5]. Самый высокий эффект гетерозиса отмечают при скрещивании сортов, экологически и географически отдаленных. Чем значительнее генетические различия у родителей, тем сильнее проявляется гетерозис у гибридов [3].

Одним из приоритетных направлений в селекции рапса является получение гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности. В ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК программа создания отечественных гетерозисных гибридов рапса озимого основана на системе Ogura ЦМС. Создание гетерозисных гибридов рапса озимого является методом селекции, позволяющим сочетать в F₁ комплекс хозяйственно ценных признаков, повысить таким образом экономическую эффективность возделывания этой культуры и обеспечить сырьём пищевую и техническую промышленность, а также животноводство высокобелковым кормом.

Исследования по созданию коммерческих гибридов ведутся практически во всех странах, возделывающих рапс, поскольку гетерозисный эффект по урожаю семян у гибридов рапса может достигать 20–60 % [9]. В сравнении с исходным материалом, использование гибридов позволило повысить урожайность рапса на 20–30 %, а в некоторых случаях и на 50 %, повысить устойчивость к болезням и вредителям, обеспечить дружность созревания, создать скороспелые гибриды [11].

Гибриды рапса имеют преимущество перед сортами за счёт способности реализовывать заложенный потенциал продуктивности в различных почвенно-климатических условиях [1]. Среди селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, доля гибридов по рапсу озимому приблизилась к 80 %, по рапсу яровому более 41 % [8]. Гибриды озимого рапса отечественной селекции пока не зарегистрированы.

Целью наших исследований являлось изучение закономерностей проявления эффекта гетерозиса и степени фенотипического доминирования у экспериментальных гибридов F₁ рапса озимого (*Brassica napus* L.) селекции ВНИИМК по урожайности, масличности и массе 1000 семян.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2019 г. на центральной экспериментальной базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК (г. Краснодар).

Объектом исследований служили 10 гибридных комбинаций F₁ рапса озимого (*Brassica napus* L.), полученных путём скрещивания родительских линий под изоляторами из спанбонда в фитотронно-тепличном комплексе ВНИИМК.

Полевые опыты по оценке экспериментальных гибридов закладывали по принятой во ВНИИМК методике [7]. Семена экспериментальных гибридов рапса озимого высевали селекционной самоходной сеялкой «Wintershteiger» на 4-рядковых делянках. Ширина междурядий 30 см. Норма высева семян 0,6 млн шт./га. Глубина заделки семян 2,5–3,0 см. Стандартом служил высокопродуктивный среднеранний сорт рапса озимого Лорис.



Для определения массы 1000 семян отсчитывали 1000 штук семян из среднего образца семян каждой линии на счётчике Seedburo 801 count-a-pak и дальнейшем взвешивании на электронных весах в двукратной повторности. Биохимические анализы семян выполняли в лаборатории биохимии ВНИИМК с использованием ИК-анализатора Matrix-1.

Статистическую обработку результатов исследований проводили методом однофакторного дисперсионного анализа [3].

Учёт и оценку степени гетерозиса количественных и качественных признаков у рапса озимого проводили методом сравнения гибрида по урожайности и ряду других хозяйственно ценных признаков с лучшей родительской формой (истинный гетерозис), с лучшим стандартным сортом рапса озимого Лорис (конкурсный гетерозис) и выражали в процентах. Коэффициент истинного (1) и конкурсного гетерозиса (2) рассчитывали по Д.С. Омарову [8]:

$$\Gamma_{\text{ист.}} = \frac{F_1 - P_{\text{лучш.}}}{P_{\text{лучш.}}} \times 100 \quad (1) \qquad \Gamma_{\text{конк.}} = \frac{F_1 - St}{St} \times 100 \quad (2)$$

где: F_1 – среднее значение признака в первом поколении гибрида;
 $P_{\text{лучш.}}$ – среднее значение признака лучшей родительской формы;
 St – среднее значение стандарта.

Одним из показателей характера проявления гетерозиса является степень фенотипического доминирования (hp). Степень фенотипического доминирования признаков в первом поколении гибридов рассчитывали по формуле (3) G.M. Veil, B.E. Atkins [11]:

$$hp = \frac{F_1 - MP}{P - MP} \quad (3)$$

где: F_1 – среднее значение признака в первом поколении гибрида;
 P – среднее значение признака лучшей родительской формы;
 MP – среднее значение обоих родительских форм.

Полученные показатели степени доминирования (hp) интерпретировали следующим образом:

- 1) $hp > +1,0$ – положительное сверхдоминирование (положительный гетерозис);
- 2) $+0,5 < hp \leq +1,0$ – положительное доминирование;
- 3) $-1,0 \leq hp < -0,5$ – отрицательное доминирование;
- 4) $-0,5 \leq hp \leq +0,5$ – промежуточное наследование;
- 5) $hp < -1,0$ – отрицательное сверхдоминирование (отрицательный гетерозис или депрессия).

Результаты и обсуждение. В полевых условиях была проведена оценка гибридов F_1 и их родительских форм по урожайности, масличности и массе 1000 семян. По этим показателям нами изучалось проявление истинного и конкурсного гетерозиса, а также степени доминирования признака.

По признаку урожайность семян у всех 10 изучаемых экспериментальных гибридов озимого рапса наблюдался достоверно высокий истинный гетерозис (табл. 1).

По конкурсному гетерозису – 9 гибридов, или 90 % обладали достоверно высокими показателями. При анализе наследования признака урожайности семян установлено, что у полученных гибридов озимого рапса степень фенотипического доминирования (hp) варьировала от 4,4 до 50,8 (табл. 1). По признаку урожайность семян наблюдалось 100 %-е положительное сверхдоминирование или положительный гетерозис при наибольших значениях у 40059 × ОРК 10 и 40059 × ОРК 21 ($hp=50,8$ и 19,4 соответственно) (табл. 1).



Таблица 1. Проявление гетерозиса в питомнике предварительного испытания гибридов F₁ рапса озимого по урожайности семян

ВНИИМК, Краснодар, 2019 г.

Гибридная комбинация	Урожайность, т/га			Гетерозис, %		Степень фенотипического доминирования, (hp)
	P ♀	P ♂	F ₁	истинный	конкурсный	
1681 × ОРК 10	2,54	2,14	4,80	+89,0*	+15,1*	12,3
1746 × ОРК 14	3,14	2,45	5,41	+72,3*	+29,7*	7,6
1747 × ОРК 21	2,04	2,36	4,20	+78,0*	+0,7	12,5
39712 × ОРК 9	1,92	2,88	4,61	+60,1*	+10,6*	4,6
39859 × ОРК 11	2,35	1,10	4,50	+91,5*	+7,9*	4,4
40008 × ОРК 10	2,71	2,14	4,62	+70,3*	+10,8*	7,7
40059 × ОРК 9	2,04	2,88	4,64	+61,1*	+11,3*	5,2
40059 × ОРК 10	2,04	2,14	4,63	+116,4*	+11,0*	50,8
40059 × ОРК 17	2,04	2,67	4,91	+83,9*	+17,7*	8,1
40059 × ОРК 21	2,04	2,36	5,30	+124,6*	+27,1*	19,4
Лорис (сорт, стандарт)			4,17	-	-	-

* – отклонение достоверно на 5 %-ном уровне значимости

Наибольшей крупностью семян характеризовался гибрид 39712 × ОРК 9. По признаку масса 1000 семян из 10 изученных гибридных комбинаций положительный истинный гетерозис выявлен у двух гибридных комбинаций 39712 × ОРК 9 и 40059 × ОРК 9. Достоверное на 5 %-ном уровне значимости превышение контроля по массе 1000 семян наблюдалось у двух гибридов. Отмечен один гибрид с достоверно отрицательным конкурсным гетерозисом. Положительное сверхдоминирование или положительный гетерозис по данному признаку выявлен у трех изученных гибридов, или 30 % случаев (табл. 2).

Таблица 2. Проявление гетерозиса в питомнике предварительного испытания гибридов F₁ рапса озимого по массе 1000 семян

ВНИИМК, Краснодар, 2019 г.

Гибридная комбинация	Масса 1000 семян, г			Гетерозис, %		Степень фенотипического доминирования, (hp)
	P ♀	P ♂	F ₁	истинный	конкурсный	
1681 × ОРК 10	3,9	3,8	3,9	0,0	-2,5	1,0
1746 × ОРК 14	3,8	4,1	3,8	-7,3	-5,0	-1,0
1747 × ОРК 21	3,8	4,7	3,9	-17,0*	-2,5	-0,8
39712 × ОРК 9	4,5	3,2	4,8	+6,7*	+20,0*	1,5
39859 × ОРК 11	4,8	4,6	4,4	-8,3*	+10,0*	-3,0
40008 × ОРК 10	4,3	3,8	3,6	-16,3*	-10,0*	-1,8
40059 × ОРК 9	3,6	3,2	4,0	+11,1*	0,0	3,0
40059 × ОРК 10	3,6	3,8	4,0	+5,3	0,0	3,0
40059 × ОРК 17	3,6	4,7	3,8	-19,1*	-5,0	-0,6
40059 × ОРК 21	3,6	4,7	4,1	-12,8*	-2,5	-0,1
Лорис (сорт, стандарт)			4,0	-	-	-

* – отклонение достоверно на 5 %-ном уровне значимости

По признаку масличность семян положительный истинный достоверный гетерозис выявлен у гибридных комбинаций – 1746 × ОРК 14, 40059 × ОРК 17 и 40059 × ОРК 21. Что касается конкурсного гетерозиса, то достоверно высокий положительный гетерозис наблюдался у 5 гибридов (50 % от общего числа изученных гибридов) (табл. 3). Промежуточное наследование признака масличности семян выявлено у 3 гибридов (hp) варьировала от 0,1 до 0,4. У 5 гибридов наблюдалось положительное сверхдоминирование или положительный гетерозис. Значение (hp) варьировало от 1,2 до 3,0. Положительное доминирование отмечено у гибридной комбинации 40059 × ОРК 10 (hp=0,7) (табл. 3).



Таблица 3. Проявление гетерозиса в питомнике предварительного испытания у гибридов F₁ рапса озимого по масличности семян

ВНИИМК, Краснодар, 2019 г.

Гибридная комбинация	Масличность семян, %			Гетерозис, %		Степень фенотипического доминирования, (hp)
	P ♀	P ♂	F ₁	истинный	конкурсный	
1681 × ОРК 10	46,2	44,5	46,6	+0,9	+0,4	1,5
1746 × ОРК 14	45,9	47,2	47,7	+1,1*	+2,8*	1,8
1747 × ОРК 21	49,3	46,8	47,0	-4,6*	+1,3*	-0,8
39712 × ОРК 9	47,1	45,0	47,3	+0,4	+1,9*	1,2
39859 × ОРК 11	46,2	43,0	44,9	-2,8*	-3,2*	0,2
40008 × ОРК 10	48,6	44,5	46,7	-3,9*	+0,6	0,1
40059 × ОРК 9	45,7	45,0	45,5	-0,4	-1,9*	0,4
40059 × ОРК 10	45,7	44,5	45,5	-0,4	-1,9*	0,7
40059 × ОРК 17	45,7	44,5	46,9	+2,6*	+1,1*	3,0
40059 × ОРК 21	45,7	46,8	47,3	+1,1*	+1,9*	1,9
Лорис (сорт, стандарт)			46,4	-	-	-

* – отклонение достоверно на 5 %-ном уровне значимости

Заключение. Таким образом, в результате проведённых исследований выявлено проявление гетерозиса по урожайности, масличности и массе 1000 семян у гибридных комбинаций F₁ рапса озимого. По признаку урожайность семян установлен высокий эффект истинного гетерозиса до 124,6 % и конкурсного до 29,7 %, что даёт основание использовать наиболее перспективные гибридные комбинации для создания коммерческих гибридов на основе Oгига ЦМС. Степень фенотипического проявления признака (степень доминирования) и эффект гетерозиса у гибридов F₁ обусловлены генотипическим разнообразием исходных компонентов скрещивания, а также результатом взаимодействия генотипа с условиями внешней среды.

У гибридной комбинации 39712 × ОРК 9 выявлен достоверно высокий истинный и конкурсный гетерозис, а также сверхдоминирование по всем изучаемым признакам. По признакам урожайность и масличность семян, выделены лучшие гибридные комбинации – 1746 × ОРК 14, 40059 × ОРК 17 и 40059 × ОРК 21, которые проявили достоверно высокий конкурсный гетерозис, а также сверхдоминирование. Указанные выше гибридные комбинации представляют практический интерес для конкурсного сортоиспытания.

Благодарности. Работа выполнена с участием доктора сельскохозяйственных наук Э.Б. Бочкарёвой и кандидата биологических наук Л.А. Горловой.

Литература

1. Горлов С.Л. Современные аспекты и тенденции развития производства и селекции рапса // Масличные культуры. НТБ ВНИИМК. – 2011. – Вып. 2 (148–149). – С. 51–56.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки). – М.: Агропромиздат, 1988. – 352 с.
3. Драгавцев В.А., Литун П.П. Эколого-генетическая организация сложных количественных признаков продуктивности, устойчивости и качества продукции растений // Эколого-генетический скрининг генофонда и методы конструирования сортов сельскохозяйственных растений по урожайности, устойчивости и качеству: Методические рекомендации (новые подходы). – СПб., 1997. – С. 10–22.
4. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика): монография. В двух томах. – М.: ООО «Издательство Агрорус», 2004. – Том I. – 690 с.



5. Литун П.П., Кириченко В.В., Бондаренко Л.В. Гетерозис по признакам с системным контролем у растений и его прогнозирование // Тр. по фунд. и пр. генетике (к 100-летию юбилею генетики). – 2001. – С. 151–169.
6. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Баранов В.Ф., Пивень В.Т., Уго Торро Корреа, Шуляк И.И. Методика проведения агротехнических опытов с масличными культурами. – Краснодар, 2010. – 327 с.
7. Омаров Д.С. К методике учёта и оценки гетерозиса у растений // Сельскохозяйственная биология. – М.: Колос, 1975. – С. 123–127.
8. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Пыльнев В.В., Буклагин Д.С. Анализ состояния и перспективы развития селекции и семеноводства масличных культур. – М.: «Росинформагротех», 2019. – 96 с. (С. 22).
9. Bartkowiak-Broda I., Ogrodowczyk M. Strategiczne kierunki w hodowli rzepaku w Polsce // Рапс: масло, белок, биодизель // Материалы научно-практической конференции (25-27 сентября 2006 г., г. Жодино). Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск, 2006. – С. 26–35.
10. Beil G.M., Atkins R.E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum // Iowa State J. Science. – 1965. – Vol. 39 (3). – P. 345–358.
11. Sabaghnia N., Dehghani H., Alizadeh B., Mohghaddam M. Heterosis and combining ability analysis for oil yield and its components in rapeseed // Australian Journal of Crop Science. – 2010. – Т.4. – № 6. – P. 390–397.

EFFECT OF HETEROSIS AND PHENOTYPIC DOMINANCE I INTERLINE HYBRIDS OF WINTER RAPESEED

Strelnikov E.A.

there are presented data on heterosis displaying at the experimental hybrids F_1 of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) by the basic economically valuable traits. The research was conducted in the central zone of the Krasnodar region. We determined a level of phenotypic dominance and heterosis effect in some winter rapeseed hybrids. In preliminary test, a hybrid combination 39712 × ORK 9 demonstrated authentically high true and competitive heterosis and overdominance by all the studied traits. The best hybrid combinations by yield and oil content in seeds appeared to be 1746 × ORK 14, 40059 × ORK 17 and 40059 × ORK 21, which showed authentically high competitive heterosis and overdominance.

Key words: winter rapeseed, line, experimental hybrid, trait, heterosis, a level of phenotypic dominance, inheritance.