

Научная статья

УДК 581.169:582.952.6:633.854.78

DOI: 10.25230/2412-608X-2022-3-191-9-13

Наследование устойчивости к расе G *Orobanche cumana* Wallr. в F₂ и BC₁ у линии подсолнечника RGM

Саида Заурбиевна Гучетль
Татьяна Сергеевна Антонова
Нина Михайловна Арасланова
Татьяна Аркадьевна Челюстникова
Юлия Владимировна Питинова

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
Тел.: (861) 275-86-53
saida.guchetl@mail.ru

Аннотация. Одним из наиболее вредоносных биотических факторов, влияющих на стабильность получения урожая подсолнечника, является сорняк-паразит – зарази́ха кумская (*Orobanche cumana* Wallr.). Среди различных методов борьбы с паразитом наиболее экологичным является использование генетической устойчивости. В ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК были созданы линии разного происхождения, резистентные к расе G. Но наследование признака устойчивости изучено не у всех линий. В связи с этим целью данной работы было изучение генетического контроля устойчивости к расе G зарази́хи у линии RGM в поколениях F₂ и BC₁. Для анализа наследования использовали линию RGM, устойчивую к расе G зарази́хи, а также стерильную и фертильную формы линии BK 680 селекции ВНИИМК, восприимчивые к этой расе. Устойчивость растений потомств F₂ и BC₁ тестировали на инфекционном фоне из семян расы G зарази́хи в защищённом грунте, используя метод ранней диагностики А.Я. Панченко. Реципрокные скрещивания линии RGM с восприимчивыми линиями подсолнечника показали, что все полученные гибриды первого поколения имели невысокую среднюю степень поражения зарази́хой. При скрещивании гетерозиготных растений F₁ с восприимчивой родительской формой подсолнечника в потомстве BC₁ получили два фенотипа – восприимчивые и неполно устойчивые (промежуточные) в соотношении 1 : 1, что харак-

терно для моногенного наследования признака. Величина χ^2 составила 1,38, что подтверждает гипотезу о контроле устойчивости у этой линии одним геном с вероятностью от 0,20 до 0,30. В популяции F₂ наблюдалось расщепление на три фенотипических класса: устойчивые, промежуточные и восприимчивые в соотношении 1 : 2 : 1. Величина χ^2 составила 0,58, что также подтверждает гипотезу о контроле устойчивости у изучаемой линии одним геном с неполным доминированием с вероятностью от 0,95 до 0,98.

Ключевые слова: подсолнечник, зарази́ха, устойчивость, раса G, доноры, наследование, F₂, BC₁

Для цитирования: Гучетль С.З., Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Челюстникова Т.А., Питинова Ю.В. Наследование устойчивости к расе G *Orobanche cumana* Wallr. в F₂ и BC₁ у линии подсолнечника RGM // Масличные культуры. 2022. Вып. 3 (191). С. 9–13.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края, грант № 19-44-230025 «Генетический контроль устойчивости к расе G зарази́хи у линий подсолнечника разного происхождения».

UDC 581.169:582.952.6:633.854.78

Inheritance of resistance to race G of *Orobanche cumana* Wallr. in F₂ and BC₁ in sunflower line RGM

Guchetl S.Z., head of the lab., leading researcher, PhD in biology
Antonova T.S., head of the lab., chief researcher, doctor of biology
Araslanova N.M., leading researcher, PhD in agriculture
Chelyustnikova T.A., 2-nd category analyst
Pitinova Yu.V., analyst

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops
17 Filatova str., Krasnodar, 350038 Russia
Tel.: (861) 275-86-53
saida.guchetl@mail.ru

Abstract. One of the most harmful biotic factors influencing the stability of sunflower yields is a parasite weed – broomrape (*Orobanche Cumana* Wallr.). Among the different measures of this parasite control, the usage of genetic resistance is the most ecologic. Lines of the different origin resistant to a race G were developed in V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops. However, inheritance of a trait of resistance was not studied in all lines. Thus, the purpose of this work was studying the genetic control

of resistance to a broomrape race G in a line RGM in F₂ and BC₁. To analyze inheritance, we used the line RGM resistant to the broomrape race G and susceptible to this race the sterile and fertile forms of a line VK 680 of VNIIMK breeding. Resistance of plants in F₂ and BC₁ was tested in protected ground infected with seeds of a broomrape race G using a method of earlier diagnosis by A.Ya. Panchenko. Reciprocal crosses of the line RGM and susceptible sunflower lines resulted that all obtained hybrids F₁ had low middle level of broomrape infestation. When crossing heterozygous plants F₁ and a susceptible parental form of sunflower in BC₁ two phenotypes were obtained: susceptible and incomplete resistant (intermediate) in the ratio of 1 : 1. This is typical for monogenic inheritance of a trait. A value χ^2 was equal 1.38 that certifies the hypothesis the only gen controls resistance of this line with a probability from 0.20 to 0.30. In F₂ population splitting for three phenotypical classes was observed: resistant, intermediate, and susceptible in the ratio of 1 : 2 : 1. A value χ^2 was equal 0.58 that certifies the hypothesis the only gen controls resistance of the studied line with an incomplete dominance with a probability from 0.20 to 0.30.

Key words: sunflower, broomrape, resistance, race G, donors, inheritance, F₂, BC₁

Acknowledgements. The research was conducted under financial support of the RFFR and the Government of the Krasnodar region, grant project No 19-44-230025 “Genetic control of the resistance to broomrape race G in sunflower lines of the different origin”.

Введение. Подсолнечник является одной из распространённых масличных культур во всем мире и основной в Российской Федерации. На стабильность получения урожая этой культуры негативно воздействуют различные биотические и абиотические факторы. Одним из наиболее вредоносных биотических факторов является сорняк-паразит – заразиха кумская (*Orobanche cumana* Wallr.), поражающий посевы подсолнечника во многих странах мира [1]. Исследования лаборатории иммунитета ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК показали, что в настоящее время в РФ на многих полях доминирующее положение занимает раса G заразихи [2]. Среди различных методов борьбы с паразитом наиболее экологичным является использование генетической устойчивости.

Во многих странах мира созданы генотипы подсолнечника, происходящие из различных межвидовых гибридов, устойчивые к наиболее вирулентным расам паразита. Было изучено наследование генов резистентности для разработки дальнейшей стратегии их передачи перспективным селекционным линиям [3; 4; 5; 6; 7]. В ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК из разных иностранных источников были выделены линии, резистентные к расе G и изучено наследование этого признака [8]. Установлено неполное доминирование признака устойчивости к указанной расе у этих линий. Линия RGM также относится к линейке устойчивых форм, имеет отличное от других происхождение, и в предыдущих исследованиях F₁ у нее показано неполное доминирование признака [9]. Целью данной работы было изучение генетического контроля устойчивости к расе G заразихи у линии подсолнечника RGM в поколениях F₂ и BC₁ для подтверждения типа наследования и установления количества генов, контролирующих проявление признака.

Материалы и методы. Для анализа наследования использовали линию RGM, устойчивую к расе G заразихи, а также стерильную и фертильную формы линии VK 680 селекции ВНИИМК, восприимчивые к этой расе. Семена расы G заразихи были собраны на полях Боковского района Ростовской области.

Гибридизацию выполняли с применением ручной кастрации или нанесением пыльцы на корзинку растения линии с ЦМС. Принудительное самоопыление растений проводили принятым во ВНИИМК методом [10], используя индивидуальные изоляторы из спанбонда. Устойчивость растений потомств F₂ и BC₁ тестировали на инфекционном фоне из семян расы G заразихи в защищённом грунте, используя метод ранней диагностики А.Я. Панченко [11]. Инфекционный фон создавали внесением семян заразихи в короба объёмом 250 кг почвенно-песчаной смеси из расчета 200 мг на 1 кг смеси. Растения выращивали при темпе-

ратуре 25–27 °С и 16-часовом фотопериоде. Через 25–30 дней после появления всходов растения выкапывали и проводили учет клубеньков и побегов заразики на их корнях. Восприимчивыми считали растения, на корнях которых было обнаружено семь и более клубеньков или начавших формироваться побегов заразики. К устойчивым относили растения, на корнях которых не было обнаружено здоровых клубеньков и побегов. Растения подсолнечника со степенью поражения корней от одной до шести особей заразики были определены как генотипы с неполной устойчивостью (промежуточные). В качестве контроля был использован восприимчивый сорт ВНИИМК 8883. Математическую обработку результатов проводили с использованием χ^2 -критерия соответствия фактических расщеплений теоретически ожидаемым в моногибридных скрещиваниях [12].

Результаты и обсуждение. Выполненные нами ранее реципрокные скрещивания линии RGM с восприимчивыми линиями подсолнечника показали, что все полученные гибриды первого поколения имели невысокую среднюю степень поражения заразихой – одна–две заразики на одно пораженное растение, причём поражено было от 8 до 100 % растений каждой оцененной выборки. Степень доминирования hr у разных комбинаций скрещивания колебалась от 0,93 до 1,00. Предварительные наблюдения позволили предположить неполное доминирование признака устойчивости к расе G заразики у линии RGM в F₁ [9].

Настоящее исследование было проведено, чтобы подтвердить тип наследования и определить количество генов, которые контролируют устойчивость к расе G у данной линии. Растения F₁ гибридной комбинации (RGM × BK 680 Б) были инцуктированы для получения потомства F₂, а пыльца гибрида F₁ (BK 680 А × RGM) была нанесена на восприимчивую родительскую форму BK 680 А для получения BC₁. Потомства F₂ и BC₁ оценены на устойчивость к расе G заразики. В таблице 1 приведено фактическое количество клубеньков и побегов

заразики на корнях растений расщепляющейся популяции F₂ (RGM × BK 680 Б).

Таблица 1

Количество клубеньков и побегов заразики на корнях растений F₂ (RGM × BK 680 Б)

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар, 2022 г.

Количество клубеньков и побегов заразики на корнях	Количество учетных растений
0	29
1	18
2	9
3	11
4	5
5	7
6	1
более 50	27

Как видно из таблицы 1, 29 растений были полностью устойчивы к заразихе. Со степенью от одной до шести особей заразики поражено 51 растение. На 27 растениях обнаружено более 50 клубеньков и побегов. Не было растений с поражением корней от семи до пятидесяти побегов заразики. Это подтверждает правильность выбранной нами классификации генотипов по устойчивости.

При скрещивании гетерозиготных растений F₁ с восприимчивой родительской формой подсолнечника в потомстве BC₁ получили два фенотипа – восприимчивые и неполно устойчивые (промежуточные) в соотношении 1 : 1, что характерно для моногенного наследования признака (табл. 2). Величина χ^2 составила 1,38, что подтверждает гипотезу о контроле устойчивости у этой линии одним геном с вероятностью от 0,20 до 0,30.

Таблица 2

Наследование признака устойчивости линии подсолнечника RGM к расе G заразики в BC₁ и F₂

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар, 2022 г.

Происхождение	Число растений, шт.				Ожидаемое соотношение	χ^2	df	P
	все-го	устойчивых	промежуточных	восприимчивых				
BC ₁ BK680A × (BK680A × RGM)	87	0	49	38	1:1	1,38	1	0,20–0,30
F ₂ (RGM × 680 Б)	107	29	51	27	1:2:1	0,58	2	0,95–0,98

В популяции F₂ наблюдалось расщепление на три фенотипических класса: устойчивые, промежуточные и восприимчивые в соотношении 1 : 2 : 1. Величина χ^2 составила 0,58, что также подтверждает гипотезу о контроле устойчивости у изучаемой линии одним геном с неполным доминированием с вероятностью от 0,95 до 0,98.

Полученные в данной работе результаты соответствуют полученным в нашем предыдущем исследовании наследования устойчивости к расе G заразихи у линий подсолнечника, выделенных нами из гибридов иностранной селекции. У 13 таких линий разного происхождения, устойчивых к расе G заразихи: 2RGB, 2RGNV, 2RGA, 2RGN, 2RGS, RGL1, RGL2, RGP1, RGP2, RGB, RGN, RGA и RG, признак устойчивости также контролируется одним геном с неполным доминированием [8]. Для линий RG, RGL2, RGL1, RGB, RGP1, RGA и RGN определено, что это единственный ген, который отвечает за устойчивость подсолнечника к расе G заразихи у этих генотипов [13]. Мы полагаем, что ген устойчивости линии RGM тоже является идентичным гену устойчивости у других линий. Использование данной линии, а также других вышеперечисленных, требует интрогрессии гена в обе родительские линии потенциального гибрида. Наши результаты показывают, что, по крайней мере, у изученных нами возделываемых в РФ иностранных гибридов подсолнечника, заявленных как устойчивые к расе G, устойчивость контролируется одним и тем же – идентичным геном. Это неблагоприятная ситуация в условиях интенсификации производства подсолнечника при максимально сокращённом сроке возврата культуры на прежнее поле до 1–3 лет. Чаще всего ген устойчивости введён лишь в отцовские формы гибридов. И поскольку мы имеем дело с устойчивостью с неполным доминированием, это ведет к быстрому преодолению действия этого гена устойчивости у подсолнечника и по-

явлению новой, более вирулентной расы паразита. Для отечественной селекции подсолнечника на устойчивость к зарази-хе актуальной задачей является привлечение и других источников устойчивости.

Заключение. Таким образом, проведенный анализ наследования устойчивости к расе G заразихи в F₂ и BC₁ у линии подсолнечника RGM показал, что устойчивость у данной линии контролируется одним геном с неполным доминированием.

Список литературы

1. Miladinović D., Cantamutto M., Vasin J., Dedić B., Alvarez D., Poverene M. Exploring environmental determinants of the geographic distribution of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) // *Helia*. – 2012. – Vol. 35. – Is. 56. – P. 79–882.
2. Imerovski I. Dimitrijević A., Miladinović D., Dedić B., Jocić S., Kocić Tubić N., Cvejić S. Mapping of a new gene for resistance to broomrape races higher than F // *Euphytica*. – 2015. – Vol. 209. – Is. 2. – P. 281–289. DOI 10.1007/s10681-015-1597.
3. Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Путинова Ю.В. Расовая принадлежность семян заразихи (*Orobanche cumana* Wallr.), собранных на полях разных регионов РФ в 2019 году // *Аграрная наука*. – 2020. – № 339 (6). – С. 62–65.
4. Pacureanu-Joita M., Raranciuc S., Procopovici E., Sava E., Nastase D. The impact of the new races of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) parasite in sunflower crop in Romania // In: Proc. of 17th Intern. Sunflower Conf., Cordoba. Spain, 2008. – P. 225–231.
5. Velasco L., Pérez-Vich B., Yassein A., Jan C., Fernández-Martínez J.M. Inheritance of resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in an interspecific cross between *Helianthus annuus* and *Helianthus debilis* subsp. *tardiflorus* // *Plant Breeding*. – 2012. – Vol. 131. – Is. 1. – P. 220–221. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2011.01915.x.
6. Cvejić S., Jocić S., Dedić B., Miladinović D., Dimitrijević A., Imerovski I., Jocković M., Miklič V. Inheritance of resistance to broomrape in sunflower inbred line LIV17 // In: Proceedings of 4th International Symposium on Broomrape in Sunflower, Bucharest, Romania, 2–4 July 2018. – P. 156–164.
7. Cvejić S., Dedić B., Jocić S., Miladinović D., Miklič V. Broomrape resistance in newly developed sunflower inbred lines // In: Proc. of 18th Intern. Sunfl. Conf., Mar del Plata, Argentina, 2012. – Vol. 2. – P. 1037–1042.
8. Martín-Sanz A., Pérez-Vich B., Rueda S., Fernández-Martínez J.M., Velasco L. Characterization of post-haustorial resistance to sunflower broomrape // *Crop Science*. – 2020. – Vol. 60. – Is. 3. – P. 1188–1198.

9. Гучетль С.З., Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Челюстникова Т.А., Путинова Ю.В. Генетический анализ устойчивости к расе G *Orobancha cumana* Wallr. в F₂ и BC₁ линий подсолнечника RGP1, RGP2, RGB, RGL1, RGL2 // Масличные культуры. – 2019. – Вып. 4 (180). – С. 23–28.

10. Гучетль С.З., Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Челюстникова Т.А., Путинова Ю.В. Наследование устойчивости линии подсолнечника RGM к расе G заразики в F₁ // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 82. – С. 63–67.

11. Гундаев А.И. Основные принципы селекции подсолнечника. Генетические основы селекции растений. – М.: Наука, 1971. – С. 417–465.

12. Панченко А.Я. Ранняя диагностика заразикуустойчивости при селекции и улучшающем семеноводстве подсолнечника // Вестник с.-х. науки. – 1975. – № 2. – С. 107–115.

13. Гершензон С.М. Основы современной генетики. – Киев: Наукова думка, 1979. – 508 с.

14. Гучетль С.З., Антонова Т.С., Арасланова Н.М. [и др.]. Идентичность генов устойчивости к расе G заразики у линий подсолнечника разного происхождения // Масличные культуры. – 2021. – Вып. 3 (187). – С. 3–9. DOI: 10.25230/2412-608X2021-3-187-3-9.

References

1. Miladinović D., Cantamutto M., Vasin J., Dedić B., Alvarez D., Poverene M. Exploring environmental determinants of the geographic distribution of broomrape (*Orobancha cumana* Wallr.) // *Helia*. – 2012. – Vol. 35. – Is. 56. – P. 79–882.

2. Imerovski I., Dimitrijević A., Miladinović D., Dedić B., Jocić S., Kocić Tubić N., Cvejić S. Mapping of a new gene for resistance to broomrape races higher than F // *Euphytica*. – 2015. – Vol. 209. – Is. 2. – P. 281–289. DOI 10.1007/s10681-015-1597.

3. Antonova T.S., Araslanova N.M., Pitinova Yu.V. Rasovaya prinadlezhnost' semyan zarazikhi (*Orobancha cumana* Wallr.), sobrannykh na polyakh raznykh regionov RF v 2019 godu // *Agrarnaya nauka*. – 2020. – № 339 (6). – С. 62–65.

4. Pacureanu-Joita M., Raranciuc S., Procopovici E., Sava E., Nastase D. The impact of the new races of broomrape (*Orobancha cumana* Wallr.) parasite in sunflower crop in Romania // In: Proc. of 17th Intern. Sunflower Conf., Cordoba. Spain, 2008. – P. 225–231.

5. Velasco L., Pérez-Vich B., Yassein A., Jan C., Fernández-Martínez J.M. Inheritance of resistance to sunflower broomrape (*Orobancha cumana* Wallr.) in an interspecific cross between *Helianthus annuus* and *Helianthus debilis* subsp. *tardiflorus* // *Plant Breeding*. – 2012. – Vol. 131. – Is. 1. – P. 220–221. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2011.01915.x.

6. Cvejić S., Jocić S., Dedić B., Miladinović D., Dimitrijević A., Imerovski I., Jocković M., Miklič V. Inheritance of resistance to broomrape in sunflower inbred line LIV17 // In: Proceedings of 4th Interna-

tional Symposium on Broomrape in Sunflower, Bucharest, Romania, 2–4 July 2018. – P. 156–164.

7. Cvejić S., Dedić B., Jocić S., Miladinović D., Miklič V. Broomrape resistance in newly developed sunflower inbred lines // In: Proc. of 18th Intern. Sunfl. Conf., Mar del Plata, Argentina, 2012. – Vol. 2. – P. 1037–1042.

8. Martín-Sanz A., Pérez-Vich B., Rueda S., Fernández-Martínez J.M., Velasco L. Characterization of post-haustorial resistance to sunflower broomrape // *Crop Science*. – 2020. – Vol. 60. – Is. 3. – P. 1188–1198.

9. Guchetl' S.Z., Antonova T.S., Araslanova N.M., Chelyustnikova T.A., Pitinova Yu.V. Geneticheskiy analiz ustoychivosti k rase G *Orobancha cumana* Wallr. v F₂ i VS1 linii podsolnechnika RGP1, RGP2, RGV, RGL1, RGL2 // *Maslichnye kul'tury*. – 2019. – Вып. 4 (180). – С. 23–28.

10. Guchetl' S.Z., Antonova T.S., Araslanova N.M., Chelyustnikova T.A., Pitinova Yu.V. Nasledovanie ustoychivosti linii podsolnechnika RGM k rase G zarazikhi v F₁ // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2020. – № 82. – С. 63–67.

11. Gundaev A.I. Osnovnye printsipy selektsii podsolnechnika. Geneticheskie osnovy selektsii rasteniy. – М.: Nauka, 1971. – С. 417–465.

12. Panchenko A.Ya. Rannyaya diagnostika zarazikhoustoychivosti pri selektsii i uluchshayushchem semenovodstve podsolnechnika // *Vestnik s.-kh. nauki*. – 1975. – № 2. – С. 107–115.

13. Gershenzon S.M. Osnovy sovremennoy genetiki. – Киев: Naukova dumka, 1979. – 508 s.

14. Guchetl' S.Z., Antonova T.S., Araslanova N.M. [i dr.]. Identichnost' genov ustoychivosti k rase G zarazikhi u linii podsolnechnika raznogo proiskhozhdeniya // *Maslichnye kul'tury*. – 2021. – Вып. 3 (187). – С. 3–9. DOI: 10.25230/2412-608X2021-3-187-3-9.

Сведения об авторах

С.З. Гучетль, зав. лаб., вед. науч. сотр., канд. биол. наук

Т.С. Антонова, зав. лаб., гл. науч. сотр., д-р биол. наук

Н.М. Арасланова, вед. науч. сотр., канд. с.-х. наук

Т.А. Челюстникова, аналитик 2 катег.

Ю.В. Путинова, аналитик

Получено/Received

16.08.2022

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

18.08.2022

Получено после доработки/Manuscript revised

19.08.2022

Принято/Accepted

12.10.2022

Manuscript on-line

30.11.2022