

Научная статья

УДК 632.9

ПРОГРЕСС В ИССЛЕДОВАНИИ СЕЛЕКЦИИ СОИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СОЕВОЙ НЕМАТОДЕ

Ли Цзэюй¹, Ван Ди¹, Ли Минфэн²

¹Академия сельскохозяйственных наук провинции Хэйлунцзян, филиал Дацин, Китай

²Heilongjiang Longke Seed Industry Group Co., Ltd, China, dqncywd@126.com

Аннотация. Соевая цистообразующая нематода является одной из основных болезней сои в провинции Хэйлунцзян в Китае. В данной статье представлена история исследования соевой цистообразующей нематоды в провинции Хэйлунцзян, и прогресс, достигнутый филиалом городского округа Дацин академии сельскохозяйственных наук провинции Хэйлунцзян в селекции сои на устойчивость к цистообразующей нематоде, с целью обеспечения теоретической поддержки для исследовательских работ по устойчивости сои к цистообразующей нематоде. Использование болезнестойчивых сортов является одной из наиболее экономически эффективных мер по профилактике заболевания сои соевой цистообразующей нематодой. Селекционная группа филиала в Дацине использовала два метода идентификации, биологическую расу и тип HG. Всего было обнаружено 5 биологических рас соевой цистообразующей нематоды (№1, №3, №4, №6 и №14) и 11 типов HG. Используя метод секвенирования генома сои Антинематода 12 было обнаружено 1974 863 SNP, из них 1275 848 SNP переходного типа (Ti); 699015 SNP типа трансверсии (Tv); коэффициент гетерозиготности составил 61,2%. Установлено, что механизм устойчивости широкого спектра действия этого сорта связан с изменением вариаций числа копий локуса rhg1 и что для устойчивости необходимы два локуса rhg-a и Rhg4. Устойчивость сорта Антинематода 12 к HG типу 7 соевой цистообразующей нематодой 3 контролируется 3 парами рецессивных генов (rhg rhg rhg), а устойчивость к HG типа 1.3.4.7 соевой цистообразующей нематоды 14 соответствует генной модели, контролируемой 1 парой доминантных генов и 2 парами рецессивных генов (Rhg rhg rhg).

Ключевые слова: соя; соевая цистообразующая нематода, селекция сои, локусы, секвенирование.

Для цитирования: Ли Цзэюй, Ван Ди, Ли Минфэн Прогресс в исследовании селекции сои на устойчивость к соевой нематоде // Агронаука. 2023. Том 1. № 1. С.142–145.

Original article

UDC 632.9

PROGRESS IN SOYBEAN BREEDING RESEARCH FOR SOYBEAN NEMATODE RESISTANCE

Li Zeyu¹, Wang Di¹, Li Mingfeng²

¹Heilongjiang Provincial Academy of Agricultural Sciences, Daqing Branch, China

²Heilongjiang Longke Seed Industry Group Co., Ltd, China, dqncywd@126.com

Abstract. Soybean cyst nematode is one of the main soybean diseases in Heilongjiang province in China. This article presents the history of soybean cyst nematode research in Heilongjiang Province, and the progress made by the Daqing City Branch of the Heilongjiang Provincial Academy of Agricultural Sciences in soybean breeding for cyst nematode resistance, in order to provide theoretical support for soybean cyst nematode resistance research. The use of disease-resistant varieties is one of the most cost-effective measures to prevent soybean cyst nematode disease in soybeans. The Daqing branch breeding team used two identification methods, biological race and HG type. A total of 5 biological races of soybean cyst nematode (#1, #3, #4, #6 and #14) and 11 types of HG were detected. Using the Antinematode 12 soybean genome sequencing method, 1974 863 SNPs were detected, of which 1275 848 SNPs of the transitional type (Ti); 699015 SNP of transversion type (Tv); the heterozygosity coefficient was 61.2%. It has been established that the mechanism of resistance to a wide spectrum of action of this variety is associated with a change in copy number variations of the rhg1 locus and that two loci, rhg-a and Rhg4, are required for resistance. Antinematoda 12 resistance to HG type 7 soybean cyst nematode 3 is controlled by 3 recessive gene pairs

© Ли Цзэюй, Ван Ди, Ли Минфэн, 2023

(rhg rhg rhg), and resistance to HG type 1.3.4.7 soybean cyst nematode 14 corresponds to a gene model controlled by 1 dominant gene pair and 2 recessive gene pairs (Rhg rhg rhg).

Keywords: soy; soybean cyst nematode, soybean breeding, loci, sequencing.

For citation: Li Zeyu, Wang Di, Li Mingfeng progress v issledovanii selekcii soi na ustojchivost' k soevoj nematode [Progress in soybean breeding research for soybean nematode resistance]. *Agronauka. – Agrosience*. 2023; 1; 1: 142–145. (in Russ.)

Китай является родиной сои (*Glycine max* (L.) Merr.), а также родиной соевой цистообразующей нематоды (СЦН), поскольку она была впервые обнаружена в провинции Хэйлунцзян в 1899 году русским ученым А.А. Ячевским. В Амурской области очаги соевой нематоды впервые были обнаружены в 1973 г. В настоящее время данный паразит выявлен во всех соесеющих районах. В Китае в борьбе с этим паразитом используют химические меры, т.е. протравливание семян сои, в России обязательным мероприятием по борьбе с нематодой является введение севооборота [1].

В настоящее время эта болезнь является одной из самых вредоносных болезней в мировом производстве сои, ежегодно нанося экономический ущерб производству сои в Китае и мире на миллиарды долларов. Соевая цистообразующая нематода встречается в районах производства сои в Китае [2]. Распространено это заболевание в основном в двух районах производства сои – на северо-востоке Китая и провинции Хуанхуайхай, особенно в полузасушливом районе с песчаной и солонцово-солончаковой почвой в западной части провинции Хэйлунцзян, в районе многолетнего непрерывного посева сои на востоке в основном районе производства сои, в г. Хэйхэ на севере и постепенно распространяется на другие регионы. Повсеместно в районах с тяжелыми условиями из-за потери урожая производство сои значительно сократилось. Производители сои по всему миру, включая Китай, уже полвека борются с соевой цистообразующей нематодой. Использование болезнестойчивых сортов является одной из наиболее экономически эффективных мер по профилактике и лечению соевой цистообразующей нематоды.

Китайская селекция сои на устойчивость к соевой цистообразующей нематоды началась в 1980-х годах. Филиал Дацин академии сельскохозяйственных наук провинции Хэйлунцзян является самым первым научно-исследовательским учреждением в нашей стране, занимающимся генетической селекцией сои, устойчивой к цистообразующей нематоды. В

настоящее время основные сорта сои, устойчивые к нематоды в провинции Хэйлунцзян, такие как Nenfeng 20, Heinong 531, Andou 162, Fengdou 3 и другие, относятся к устойчивым к нематоды сортам филиала Дацин. В 1981 году филиал Дацин вывел сорт Anti-line 1, который стал первым устойчивым сортом сои в нашей стране. Он был удостоен Государственной премии за изобретение и заполнил пробел в области селекции сои, устойчивой к соевой цистообразующей нематоды в Китае. Всего было выведено 18 сортов сои серии Anti-line и Nongqing. Они были утверждены и широко используются в провинции Цзилинь, автономном районе Внутренняя Монголия, Синьцзяне, Ляонине и других районах.

Целью настоящего исследования было изучить генетическую устойчивость сои сортов селекции округа Дацин к соевой цистообразующей нематоды HG типа.

Антинематода 4 – один из сортов с самым длительным периодом выращивания и самой большой площадью возделывания в пораженных нематодой районах на севере Китая. Сорт Антинематода 6 был выведен методом введения экзогенной ДНК в пыльцевую трубку. Антинематода 11 и Антинематода 12 были выведены методами отдаленной гибридизации и ступенчатого скрещивания по устойчивости к нескольким биологическим расам соевой нематоды № 1, 3, 4 и 14. В то же время Антинематода 2, Антинематода 4 и Антинематода 9 были признаны провинцией Цзилинь и автономным районом Внутренняя Монголия и широко используются в пораженных нематодой районах с засоленной солонцеватой почвой. В период 13-й пятилетки были выведены три новых болезнестойчивых, высокоурожайных и высококачественных сорта сои серии Nongqing: Nongqing Bean 20, Nongqing Bean 24 и Nongqing Bean 28, которые получили распространение и применение в районах с засоленной солонцеватой почвой на северо-востоке Китая. Кроме того, Nongqing Bean 20 – это первый сорт сои в провинции Хэйлунцзян, имеющий желтый рубчик семени, сбалансированное содержание белка и жиров, устойчивость к болезням и стрессам;

сорт Nongqing Bean 24 – соя с высоким содержанием белка и жиров (42,58% и 20,73% соответственно), а Nongqing Bean 28 – соя с высоким содержанием жира (21,26%). В то же время инновационная команда филиала ежегодно готовит 120-150 гибридных комбинаций устойчивых к болезням и стрессам, а группа отбора имеет в коллекции богатый материал. Ежегодно она участвует в 3 государственных и региональных испытаниях провинции Хэйлунцзян на устойчивость к болезням и стрессам, а также имеет более тысячи стабильных устойчивых к болезням и стрессам видов, которые заложили материальную основу для зародышевой плазмы и инновации сортов.

Технология высокопроизводительного секвенирования была использована для повторного секвенирования всего генома сорта сои Антинематода 12 с глубиной секвенирования 33,47. Всего было обнаружено 1974 863 SNP, из них 1275 848 SNP переходного типа (Ti); 699015 SNP типа трансверсии (Tv); коэффициент гетерозиготности составил 61,2%. После аннотации было обнаружено 30 726 синонимичных мутаций и 46 535 несинонимичных мутаций. Всего было обнаружено 241 356 инделов, включая 155 466 межгенных вариаций. Среди 17067 обнаруженных СИ 330 фрагментов были введены и 8890 фрагментов были удалены; было обнаружено 1874 мутации в области экзонов и 840 мутаций в области интронов. Было обнаружено 12 941 ВЧК, 1 334 в области экзонов, 326 в области интронов и 10 184 ВЧК в межгенной области.

В то же время было проанализировано, что механизм устойчивости широкого спектра действия сорта Антинематода 12 связан с изменением вариаций числа копий локуса *rhg1* и что для этого необходимы два локуса, *rhg-a* и *Rhg4*. Устойчивость сорта Антинематода 12 к HG типа 7 (СЦН3) контролируется 3 парами рецессивных генов (*rhg rhg rhg*), а устойчивость к HG типа 1.3.4.7 (СЦН14) соответствует генной модели, контролируемой 1 парой доминантных генов и 2 парами рецессивных генов (*Rhg rhg rhg*). Среди первого поколения Hefeng 50×Qingdou 13, 336 семей F2:3 HG типа 7 (СЦН3) и HG типа 1.3.4.7 (СЦН 14) показали соотношение сегрегации устойчивости и восприимчивости 4:332 (У:В). Результаты анализа методом хи-квадратов показывают, что генетический закон сорта Qingdou 13 соответствует генетической модели (*Rhg rhg rhg rhg*), контролируемой 1 парой доминантных генов и 3 парами рецессивных

генов.

Селекционная группа филиала в Дацине использовала два метода идентификации, биологическую расу и тип HG, а также использовала общепринятого дифференцирующего хозяина для определения фенотипов вирулентности 62 образцов популяции соевой цистообразующей нематоды в провинции Хэйлунцзян [3]. Всего было выявлено 11 типов HG, исключая HG тип 7 и HG тип 1.3.7, HG тип 0, 1.2.3.5.7, 1.2.3.7, 1.3.4.7, 2, 2.5.7, 2.7, 6. HG типы 6.7 и 9 были впервые зарегистрированы в провинции Хэйлунцзян. На долю HG типа 7 пришлось 45,16% от общего числа тестов, на долю HG типа 0-30,65%. HG типа 1.2.3.5.7 был самым вирулентным из изученной популяции. На сорте PI548402 типы популяций соевой цистообразующей нематоды с индексом самки более 10 составляли 12,9%, а диапазон вирулентности составлял 10-48,99. Диапазон показателей ИС вирулентности популяции PI88788 составляет 10-29,93, а диапазон показателей ИС вирулентности популяции PI548316 составляет 10-65,86; среди испытываемых популяций наименьший показатель вирулентности был у популяции PI437654 – 4,84%. Всего было обнаружено 5 биологических рас соевой цистообразующей нематоды, а именно №1, №3, №4, №6 и №14. Среди них биологическая раса №3 составила 64,52% от общего числа испытаний и была доминирующей биологической расой. Среди них биологическая раса №3 с поля в Дацине соответствует типу HG 7, а микровид №14 с поля в Аньде соответствует типу HG 1.3.4.7.

В настоящее время для борьбы с СЦН в качестве исходного материала в основном используются китайские черные соевые бобы Peking и изогенные линии, полученные в результате гибридизации. Например, используемые для производства сортов Antiline 4, Liaodou 13, Fengdou 3 и Anti-line 11, которые происходят от сорта Franklin, а их гены устойчивости к болезням получены от сорта Peking. Несмотря на то, что многие устойчивые сорта были отобраны внутри страны и за рубежом, генетическая база устойчивых к нематоде сортов очень ограничена. Длительная посадка одного и того же сорта или сортов, содержащих одни и те же гены устойчивости к болезням, приведет к потере устойчивости у устойчивых к нематоде сортов, что является основной проблемой устойчивых к нематоде сортов на сегодняшний день. Поскольку болезнеустойчивые сорта оказали своего рода давление отбора на соевую цистообразую-

щую нематоду, гены патотипа в популяции были изменены, что привело к изменению классификационного статуса биологической расы. Поэтому полное изучение источника устойчивости и использование новых устойчивых материалов может расширить генетическую основу устойчивости и улучшить разработку сортов, тем самым ускоряя процесс селекции сои на устойчивость к соевой цистообразующей нематоде.

Сама соевая цистообразующая нематода обладает генетической гетерогенностью и наследственной изменчивостью, поэтому особенно важен длительный мониторинг типов вирулентности и динамики биологических рас этого паразита. Устойчивые сорта оказывают определенное влияние на плотность популяции соевой цистообразующей нематоды, а посев устойчивых сортов может снизить потери урожая; однако наблюдались различия в потенциале урожайности устойчивых сортов на разных участках. Потенциал устойчивых сортов для повышения урожайности зависит от ряда факторов, включая агрономические характеристики и устойчивость к другим болезням и вредителям; биологические факторы, такие как физические, химические,

почвенные, климатические условия, а также схемы возделывания, которые влияют на потенциал производства устойчивых к нематоде сортов сои.

Новые сорта сои, устойчивые к болезням, высокоурожайные и высококачественные, выведенные селекционной командой филиала Дацин, соответствуют государственному стратегическому плану. В случае солонцово-солончаковых почв идея состоит в том, чтобы "перевести эти земли в пригодные для посева" и "активно реализовывать проекты по увеличению производственных мощностей сои и масличных культур", использование новых сортов повысило объем производства сои на единицу площади в районах с засоленными почвами и увеличило энтузиазм фермеров в выращивании сои, повысило экономическую отдачу и стабилизировало производственные мощности страны по выращиванию сои, увеличило коэффициент самообеспечения зеленой овощной сои и обеспечило высокие научно-технические достижения для комплексного развития и использования солонцово-солончаковых почв на равнине Суннэнь.

Список источников

1. Zhang W. Advances of studies on soil microbial diversity and environmental impact factors / W. Zhang, 1. Хунпэн Ли, Дубовицкая Л.К., Кожушко И.Б. Оценка сортов и сортообразцов сои на устойчивость к соевой цистообразующей нематодe / Ли Хунпэн, Л.К. Дубовицкая, И.Б. Кожушко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 11 (37), С. 27-30.
2. Хэйиань У. Изучение вредоносности соевой цистообразующей нематоды механизма устойчивости / У. Хэйиань, Юан Фань. 2001. Т. 20-4(11). 285 с.
3. Zhao, X. Loci and candidate genes conferring resistance to soybean cyst nematode HG type 2.5.7 / X. Zhao, W. Teng, Y. Li, [et al.]. // BMC Genomics. 2017. 18, 462. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3843-y>.

References

1. Хунпэн Ли, Дубовицкая Л.К., Кожушко И.Б. Оценка сортов и сортообразцов сои на устойчивость к соевой цистообразующей нематодe / Ли Хунпэн, Л.К. Дубовицкая, И.Б. Кожушко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 11 (37), С. 27-30.
2. Хэйиань У. Изучение вредоносности соевой цистообразующей нематоды механизма устойчивости / У. Хэйиань, Юан Фань. 2001. Т. 20-4(11). 285 с.
3. Zhao, X. Loci and candidate genes conferring resistance to soybean cyst nematode HG type 2.5.7 / X. Zhao, W. Teng, Y. Li, [et al.]. // BMC Genomics. 2017. 18, 462. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3843-y>.

Информация об авторах

Ли Цзэюй – научный сотрудник;
Ван Ди – научный сотрудник;
Ли Минфэн – научный сотрудник

Information about the authors

Li Zeyu – Researcher, Specialist
Wang Di – Researcher, Specialist
Li Mingfeng – Researcher, Specialist

**Статья поступила в редакцию 15.02.2023;
одобрена после рецензирования 28.02.2023;
принята к публикации 15.03.2023**

**The article was submitted 15.02.2023;
approved after reviewing 28.02.2023;
accepted for publication 15.03.2023**