

Научная статья

УДК 633.853.52:632.651:631.52(510)

ПРОГРЕСС В ИССЛЕДОВАНИИ СЕЛЕКЦИИ СОИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СОЕВОЙ НЕМАТОДЕ, ДОСТИГНУТЫЙ ФИЛИАЛОМ ГОРОДСКОГО ОКРУГА ДАЦИН АКАДЕМИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК ПРОВИНЦИИ ХЭЙЛУНЦЗЯНЛи Цзэюй¹, Ван Ди¹, Ли Минфэн²¹ Филиал Дацин, Академия сельскохозяйственных наук провинции Хэйлунцзян, КНР, dqnkylzy@126.com;² Хэйлунцзян Лонгкэ Сид Индастри Груп Ко., Лтд, КНР, mingfenglee@163.com

Аннотация. Соевая цистообразующая нематода является одной из основных болезней сои в провинции Хэйлунцзян, Китай. В данной статье представлена история исследования соевой цистообразующей нематоды в провинции Хэйлунцзян, Китай, 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.

Ключевые слова: селекция сои. соевая цистообразующая нематода.

Для цитирования: Ли Цзэюй, Ван Ди, Ли Минфэн Прогресс в исследовании селекции сои на устойчивость к соевой нематоде, достигнутый филиалом городского округа Дацин Академии сельскохозяйственных наук провинции Хэйлунцзян // Агронаука. 2023. Том 1. № 1. С. 59–62.

Original article

UDC 633.853.52:632.651:631.52(510)

PROGRESS IN RESEARCH ON SOYBEAN BREEDING FOR RESISTANCE TO SOYBEAN NEMATODE, DAQING BRANCH, HEILONGJIANG PROVINCIAL ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCESLi Zeyu¹, Wang Di¹, Li Mingfeng²¹ Daqing Branch, Heilongjiang Provincial Academy of Agricultural Sciences, dqnkylzy@126.com² Heilongjiang Longke Seed Industry Group Co., Ltd, mingfenglee@163.com

Abstract. Abstract: Soybean cyst nematode is one of the main soybean diseases in Heilongjiang province, China. This article presents the history of soybean cyst nematode research in Heilongjiang Province, China, and the progress made by the Daqing City Branch of the Heilongjiang Provincial Academy of Agricultural Sciences in soybean breeding for resistance to cyst nematode, in order to provide theoretical support for soybean cyst nematode resistance research. nematode.

Keywords: soybean breeding; soybean cyst nematode.

For citation: Li Zeyu, Wang Di, Li Mingfeng Progress v issledovanii selekcii soi na ustojchivost' k soevoy nematode, dostignutyj filialOM gorodskogo okruga Dacin akademiI sel'skohozyajstvennyh nauk provincii Hejlunczyan [Progress in research on soybean breeding for resistance to soybean nematode made by the Daqing City Branch of the Heilongjiang Provincial Academy of Agricultural Sciences]. *Agronauka. – Agrosience.* 2023; 1; 1: 59–62. (in Russ.)

Китай является родиной сои, а также родиной соевой цистообразующей нематоды, поскольку соевая цистообразующая нематода была впервые обнаружена в провинции Хэйлунцзян. В 1899 году русский ученый Ячевский впервые обнаружил соевую цисто-

образующую нематоду в провинции Хэйлунцзян. В настоящее время эта болезнь является одной из самых вредоносных болезней в мировом производстве сои, ежегодно наносит экономический ущерб производству сои в Китае и мире на миллиарды долларов. Сое-

© Ли Цзэюй, Ван Ди, Ли Минфэн, 2023

вая цистообразующая нематода встречается в районах производства сои в Китае и постепенно распространяется. Распространена в основном в двух районах производства сои – на северо-востоке Китая и Хуанхуайхай, особенно в полузасушливом районе с песчаной и солонцово-солончаковой почвой в западной части провинции Хэйлунцзян, в районе многолетнего непрерывного посева сои на востоке и в основном районе производства сои Хэйхэ на севере. Повсеместно в районах с тяжелыми условиями производство сократилось в больших объемах, вплоть до потери урожая. 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.

"Антинематода 4" – один из сортов с самым длительным периодом выращивания и самой большой площадью возделывания в пораженных нематодой районах на севере нашей страны. Сорт "Антинематода 6" был выведен методом введения экзогенной ДНК в пыльцевую трубку, "Антинематода 11" и "Антинематода 12" были выведены методами отдаленной гибридизации, ступенчатого скрещивания и полимеризации и устойчи-

вы 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% белка, 20,73% жиров), а "Nongqing Bean 28" – соя с высоким содержанием жиров (21,26% жиров). В то же время инновационная команда филиала ежегодно готовит 120-150 устойчивых к болезням и стрессам гибридных комбинаций, а группа отбора в потомстве богата материалами. Ежегодно она участвует в 3 государственных и региональных испытаниях провинции Хэйлунцзян на устойчивость к болезням и стрессам, а также имеет более тысячи других 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 33,47x. Всего было обнаружено 1974 863 SNP, из них 1275 848 SNP переходного типа (Ti); 699015 SNP типа трансверсии (Tv); коэффициент гетерозиготности 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. 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.

Инновационная команда филиала в Дацине ежегодно готовит 120-150 устойчивых к болезням и стрессам гибридных комбинаций, а группа отбора в потомстве богата материалами. Ежегодно она участвует в 3 государственных и региональных испытаниях на устойчивость к болезням и стрессам в провинции Хэйлунцзян, и есть более тысячи других стабильных устойчивых к болезням и стрессам видов, которые заложили материальную основу для зародышевой плазмы и инновации сортов. В 2019 году высокоурожайные исследования были проведены на 24 000 му бобов сорта Nongqing в городе Сицин уезда Линьдянь. Урожайность с каждого му составила 202,7 кг (содержание воды 13,0%) согласно экспертным оценкам. В 2021 году исследования были проведены на 28 000 му бобов сорта Nongqing в поселке Гудаху, город Аньда. Урожайность с каждого му достигла 219,3 кг (содержание воды 13,0%). В 2022 году на базе городского уезда Аньда была проведена частая посадка и выращивание на больших грядах и широких террасах. В 28 испытательных показательных посевах сорта бобов Nongqing средняя урожайность с одного му составила 266,1 кг. Площадь внедрения и применения серии "Anti-line" на северо-востоке Китая превышает 30 млн. му. Выращиваемый в период 13-й пятилетки сорт "Nongqing Bean" имеет 20-летнюю площадь распространения более 4 миллионов му, а "Nongqing Bean 28" был утвержден в качестве основного сорта сои в районах с засоленной солонцеватой почвой в провинции Хэйлунцзян в 2023 году.

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 "Anti-line 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 нематoде сортоB, что является основной проблемой устойчивых к нематoде сортоB на сегодняшний день. Поскольку болезнeустойчивые сорта оказали своего рода давление отбора на соевую цистообразующую нематoду, 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 сортоB, тем самым ускоряя процесс селекции сои на устойчивость к СЦН.

Сама соевая цистообразующая нематoда обладает генетической гетерогенностью и наследственной изменчивостью, поэтому особенно важен длительный мониторинг типов вирулентности и динамики биологических рас. Устойчивые сорта оказывают определенное влияние на плотность популяции соевой цистообразующей нематoды, а посев устойчивых сортоB может снизить потери урожая; однако наблюдались различия в потенциале урожайности устойчивых сортоB на разных участках. Потенциал устойчивых сортоB для повышения урожайности зависит от ряда фактоB, включая агрономические характеристики и устойчивость к дру-

гим болезням и вредителям; биологические фактоBы, такие как физические, химические, почвенные, климатические условия и схемы возделывания, влияют на потенциал производства устойчивых к нематoде сортоB 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 земли, пригодные для посева, в такие пригодные земли" и "активно реализовывать проекты по увеличению производственных мощностей сои и масличных культур", использование сортоB 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 съедобной сои и обеспечило сильные научно-технические достижения для комплексного развития и использования солонцово-солончаковых почв на равнине Суннэнь.

Информация об авторах

Ли Цзэюй – науч. сотр.;
Ван Ди – науч. сотр.;
Ли Минфэн – науч. сотр.

Information about the authors

Li Zeyu – Researcher;
Wang Di – Research Fellow;
Li Mingfeng – Researcher

**Статья поступила в редакцию 01.02.2023;
одобрена после рецензирования 28.02.2023;
принята к публикации 15.03.2023**

**The article was submitted 01.02.2023;
approved after reviewing 28.02.2023;
accepted for publication 15.03.2023**