

УДК 632.656:581.1

**МОДУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ *Mi-1* ПРИ
ДЕЙСТВИИ ЭКЗОГЕННОЙ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В
РАСТЕНИЯХ ТОМАТА, ЗАРАЖЕННЫХ ГАЛЛОВОЙ
НЕМАТОДОЙ**

**Лаврова В.В.¹, Удалова Ж.В.²,
Матвеева Е.М.¹, Зиновьева С.В.²**

¹ФГБУН Институт биологии Карельского научного центра РАН
185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11;

victoria.v.lavrova@gmail.com; тел. +7 (8142) 762706

²Центр паразитологии ИПЭЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский
проспект, 33, zinovievas@mail.ru, 8(495)9545034

Проведено исследование динамики экспрессии генов *Mi-1.1* и *Mi-1.2* в корнях устойчивых и восприимчивых растений томата в норме и при заражении. Выявлена роль гена *Mi-1.2* в развитии устойчивости томатов к *Meloidogyne incognita* за счет повышенного накопления транскриптов на этапе становления паразито-хозяйинных отношений. Установлена модуляция активности генов *Mi-1* при действии экзогенной салициловой кислоты, что доказывает ее участие в формировании индуцированной устойчивости к галловой нематоды у восприимчивых растений.

The dynamics of the expression of *Mi-1.1* and *Mi-1.2* genes in the roots of resistance and susceptible tomato plants was studied in healthy and in infectious conditions. The role of the *Mi-1.2* gene in the development of tomato resistance to *Meloidogyne incognita* has been identified due to the increased accumulation of transcripts at the stage of parasite-host relationships. Modulation of activity of *Mi-1* genes under the action of exogenous salicylic acid was established, which proves its participation in the formation of induced resistance to the root-knot nematode in susceptible plants.

Введение. Во взаимоотношениях растений и фитопатогенов важную роль играют гены устойчивости, R-гены. Наиболее многочисленными генами устойчивости растений к фитопатогенам являются NBS-LRR, которые кодируют белки, характеризующиеся наличием места связывания нуклеотидов и области обога-

щенной лейцином. Такие белки распознают продукты комплементарных генов авирулентности фитопатогенных организмов внутри клетки растения и участвуют в активации защитных реакций по типу реакции сверхчувствительности (Williamson., Kumar, 2006). К классу NBS-LRR генов относится ген *Mi-1*, который обеспечивает устойчивость растений томата к ряду вредителей, в том числе к галловым нематодам рода *Meloidogyne* (*M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica*) (Messegue, et al., 1991). К настоящему времени известны два гомолога гена устойчивости *Mi1*: *Mi-1.1* и *Mi-1.2*. Несмотря на сходный аминокислотный состав продуктов этих генов в экспериментах с восприимчивыми растениями, в геном которых вводили *Mi-1.1* или *Mi-1.2*, фенотипическое проявление устойчивости к нематоде (реакция сверхчувствительности) показана только у тех растений, которые содержали ген *Mi-1.2* (Messegue, et al., 1998).

Известно, что салициловая кислота (СК) является медиатором гена *Mi-1.2*, определяющего устойчивость растений томатов к галловой нематодой, и широко используется в качестве индуктора системной индуцированной устойчивости растений (Branch et al., 2004).

Объекты и методы исследования. Эксперименты проводили на восприимчивом (F1, Гамаюн) и устойчивом (F1, Шагане) к нематодой растений томатах. Семена перед посадкой выдерживали 2 часа в воде (контроль) или растворе СК (7×10^{-8} М). Через 3 недели после прорастания часть растений заражали нематодой (3000 личинок на растение). Заражение растений и их выращивание проводили по стандартным методикам (Zinovieva et al., 1995). Анализ растительных тканей (корни) проводили на нескольких этапах развития нематоды: 0 сутки – 3 часа после экзогенной обработки надземных органов СК; 4, 7 и 18 сутки после. Транскрипционную активность генов оценивали методом ПЦР в режиме реального времени.

Результаты и обсуждение. Показано, что в корнях устойчивых растений томата гены *Mi-1.1* и *Mi-1.2* находятся в активном состоянии и экспрессируются на низком уровне в условиях отсутствия инвазии. Заражение растений галловой нематодой *M. incognita* сопровождается значительным повышением уровня их экспрессии. Продукты генов устойчивости являются необходимыми

ми в начальный период становления паразито-хозяйинных отношений (на этапе проникновения личинок в корни и формирования области питания, так называемых «гигантских клеток»), что позволяет распознать внедрение и локально ограничить распространение нематоды за счет активации сигналинга, направленного на запуск реакции сверхчувствительности. Усиление накопления транскриптов гена *Mi-1.2* на 4-е сутки заражения, в период проникновения личинок нематоды в корни, позволяет своевременно активировать защитные реакции. В тоже время образование мРНК гена *Mi-1.1* происходит на более поздних этапах заражения (18-е сутки), когда прижившиеся личинки уже активно питаются, развиваются и способны подавлять иммунные реакции хозяина. В этот период продукт гена *Mi-1.1* не востребован. Выявленные различия в динамике накопления транскриптов генов *Mi-1.1* и *Mi-1.2* могут являться одной из причин устойчивости томатов к галловой нематоде за счет гена *Mi-1.2*.

В здоровых восприимчивых растениях уровень экспрессии генов *Mi-1.1* и *Mi-1.2* гораздо ниже, чем у устойчивых растений. Кроме того, при заражении таких растений галловой нематодой отсутствуют какие-либо изменения активности этих генов, т.е. отсутствует накопление транскриптов на этапе становления паразито-хозяйинных отношений (при проникновении личинок и начальных этапах развития нематоды), что свидетельствует о подверженности томатов заражению за счет отсутствия развития своевременного защитного ответа и, тем самым, создания благоприятных условий для развития нематоды.

Экзогенная обработка устойчивых растений СК до момента заражения модулирует активность гена *Mi-1.1* таким образом, что динамика его экспрессии становится схожей с таковой гена *Mi-1.2* при заражении нематодой (в варианте без обработки СК).

Экзогенная обработка восприимчивых растений СК до момента заражения способствует повышению уровня экспрессии генов *Mi-1.1* и *Mi-1.2* в условиях последующей инвазии нематодой. Это позволяет восприимчивым растениям более своевременно и адекватно реагировать на заражение путем активации сигнальных и защитных систем подобно устойчивым растениям. Учитывая, что наряду с экспрессией гена *Mi-1.2* на ранних этапах заражения при обработке растений СК повышается активность и гена *Mi-1.1*,

можно предположить участие *Mi-1.1* в формировании индуцированной устойчивости растений к нематоду.

Заключение. Учитывая современные данные о существовании общих механизмов устойчивости у растений при действии стресс-факторов различной природы (Кузнецов, 2001; Деревинская, Дервинский, 2015), а также стресс-протекторных функций СК и ее роли в трансдукции сигнала в геном (Тарчевский, 2002), полученные результаты об экспрессии генов устойчивости растений томатов при действии СК могут представлять интерес не только с точки зрения повышения устойчивости растений томатов в отношении *M. incognita*, но и в отношении других паразитов, а также абиотических факторов по принципу кросс-адаптации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 15-04-04625_а).

УДК 635.64 : 631.524.85 (478)

ОЦЕНКА МУТАНТНЫХ ОБРАЗЦОВ ТОМАТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ В ПЕРИОД ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

Маковой М.Д.

*Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии
Наук Молдовы, Кишинев, ул. Лесная 20. m_milania@mail.ru*

В статье представлены результаты изучения мутантных образцов томата с разным набором мутантных маркерных генов по характеру прорастания семян на искусственно смоделированных стрессовых фонах – жара, холод, засуха. Выявлена неоднозначная реакция каждого генотипа на тот или иной фактор воздействия. Показана, высокая генетическая разнородность изученных форм по устойчивости проростков к абиотическим факторам стресса.

Введение. В настоящее время сочетание потенциально высокой продуктивности сельскохозяйственных растений с их устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды является одной из главных задач селекции. Для решения этой актуальной