

УДК 635.21.24:577.27:551.524

<https://doi.org/10.31016/978-5-6050437-8-2.2024.25.135-139>

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ В РАСТЕНИЯХ ТОМАТА ПРИ ИНВАЗИИ *MELOIDOGYNE INCOGNITA*

Зиновьева С. В.¹,доктор биологических наук, главный научный сотрудник
лаборатории фитопаразитологии**Удалова Ж. В.¹,**кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории фитопаразитологии**Хасанов Ф. К.¹,**доктор биологических наук, старший научный сотрудник,
заведующий лабораторией фауны и систематики паразитов

Аннотация

Приведены данные исследования экспрессии гена устойчивости Mi-1,2 защитных генов PR-семейства (PR-2, PR-3) и генов ингибиторов сериновых и цистеиновых протеиназ (PIser PIcys) в тканях растений томатов устойчивого и восприимчивого гибридов при инвазии галловой нематодой и дана оценка их роли в устойчивости к паразиту. Выявлены различия в уровне экспрессии исследованных генов на всех этапах развития нематод в корнях устойчивых и восприимчивых растений. Проведенные исследования показали, что инвазия устойчивых растений вызывает повышение транскриптов изученных генов уже в начальный период заражения, что указывает на скорость реакции на проникновение личинок нематоды и быстроту адекватного развития защитного ответа. Изменения экспрессии генов защитного ответа у восприимчивых растений при заражении незначительны, и проявляются уже после проникновения личинок в корни, что может быть одной из причин развития заболевания. Повышенная экспрессия исследованных генов, кодирующих защитные белки в инвазированных корнях устойчивых растений, обнаруженная на всех стадиях развития паразита, свидетельствует о значимости защитных белков в устойчивости растений томатов к галловой нематоды.

Ключевые слова: томаты, галловая нематода, экспрессия генов устойчивости

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук (119071, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33)

EXPRESSION OF IMMUNE SYSTEM GENES IN TOMATO PLANTS INFECTED BY *MELOIDOGYNE INCOGNITA*

Zinovieva S. V.¹,

Doctor of Biological Sciences,
Chief Researcher of the Laboratory of Phytoparasitology

Udalova Z. V.¹,

Candidate of Biological Sciences,
Senior Researcher of the Laboratory of Phytoparasitology

Khasanov F. K.¹,

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher,
Head of the Laboratory of Parasite Fauna and Taxonomy

Abstract

Data were presented from a study on expression of resistance gene Mi-1.2 of protective genes of the PR gene family (PR-2, PR-3) and genes of serine and cysteine proteinase (P1ser P1cys) inhibitors in tissues of tomato plants of resistant and susceptible hybrids infected by gall nematodes and an assessment of their role in parasite resistance was given. Differences were detected in the expression of the studied genes at all stages of nematode development in the roots of resistant and susceptible plants. The studies showed that the infection of resistant plants caused an increase in the study gene transcripts as early as in the initial period of infection, which indicated the response time to nematode larvae penetration and the speed of adequate protective response. Changes in the defense response-related gene expression in infected susceptible plants were insignificant and appeared after the larvae penetrated the roots, which may be one of the reasons for disease progress. The increased expression of the studied genes that encode protective proteins in infected roots of resistant plants found at all parasite development stages indicates the importance of protective proteins in tomato plant resistance to gall nematode.

Keywords: tomatoes, gall nematode, resistance gene expression

Введение. Согласно современным воззрениям иммунитет растений представляет собой сложную интегрированную двухступенчатую систему, в основе которой лежит распознавание поверхностными и внутриклеточными рецепторами растений специфических молекул и белков, продуцируемых патогенами, приводящее к индукции различных клеточных ответов [4]. В настоящее время имеются существенные

¹ Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (33, Leninsky pr., Moscow, 119071, Russia)

доказательства их интеграции во взаимозависимые сети, контролирующие запуск эффективных реакций, обеспечивающих устойчивость к болезням [1]. Это генерация активных форм кислорода, синтез фитоалексинов, лигнификация клеточных стенок, отложение каллозы и синтез целого ряда защитных белков, что в совокупности создает неблагоприятные условия для жизнедеятельности паразита или приводит к его гибели. Ведущую роль в реализации иммунного ответа на заражение отводят веществам белковой природы. Это рецепторные белки, распознающие эффекторные молекулы патогена, белки, связанные с образованием сигнальных молекул, а также другие белки и пептиды, которые оказывают ингибирующее действие на фитопатогенов. В их число входят PR-белки (патоген-индуцируемые белки), к которым относятся бета-1,3-глюканазы (PR-2), хитиназы (PR-3), ингибиторы протеиназ (PR-6), пероксидазы, и т. д.

Материалы и методы. На протяжении ряда лет нами на системе томаты-галловая нематода *Meloidogyne incognita* проводилось изучение влияние инвазии на экспрессию ряда основных генов, определяющих устойчивость растений к фитопатогенам: гена устойчивости Mi-1,2 (R-ген), кодирующего рецепторные белки для распознавания специфических белковых и углеводных последовательностей эффекторных молекул нематоды; защитных генов PR-семейства (PR-2, PR-3) и генов ингибиторов сериновых и цистеиновых протеиназ (PIsер PIsys) – кодирующие белки, семейства PR-6. Материалом для исследования служили близкородственные линии растений томата – гибрид F1 Шагане, устойчивый к заражению галловой нематодой *M. incognita*, и восприимчивый гибрид F1 Гамаюн [2, 3, 5].

Уровень экспрессии генов исследовали в динамике на 3, 6, 18 сутки после инвазии и оценивали с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени. В этот период личинки нематоды проникают в корни, мигрируют в нем, становятся неподвижными (седентарными) и начинают процесс питания и образования яиц.

Результаты исследований. Результаты исследования показали, что у устойчивых растений R-ген Mi-1,2 находится в активном состоянии, в то время как у восприимчивых растений данные гены являются неактивными. При проникновении личинок нематоды в корни устойчивых растений активность гена возрастает (3-6 сутки после заражения), у восприимчивых растений этот ген так и остался в неактивном состоянии. Экспрессия генов, кодирующих PR-2 и PR-3 белки, при инвазии устойчивых растений также заметно возрастает в

начальный период заражения, что указывает на скорость реакции на проникновение личинок нематоды и быстроту адекватного развития защитного ответа. Изменения экспрессии генов защитного ответа у восприимчивых растений при заражении незначительны, и проявляются уже после проникновения личинок в корни, что может быть одной из причин развития заболевания. Выявленная индукция бета-1,3-глюконаз – ферментов, гидролизующих бета-1,3-связи в полисахаридах клеточных стенок, фрагменты обладают иммунорегулирующими свойствами. Одновременное повышение содержания хитиназ и бета-1,3-глюконаз в устойчивых растениях может быть весьма целесообразным потому, что они, по имеющимся данным вызывают синергическое подавление развития патогенов.

Заключение. Исследование экспрессии генов ингибиторов сериновых и цистеиновых протеиназ показало, что заражение вызывало повышение активности ингибиторов протеиназ (ИП) генов и в восприимчивом, и в устойчивом гибриде. Уровень транскриптов изменялся в процессе прохождения жизненного цикла и максимальное накопление транскриптов в тканях устойчивых растений происходит в период питания нематод к 18 суткам; в восприимчивых растениях в этот период (с 7 по 18-е сутки) экспрессия генов ИП была заметно снижена. У устойчивых растений повышение экспрессии генов ИП и их активность наблюдаются на 7-й день после инвазии и сохраняются в дальнейшем на всем протяжении всего онтогенеза нематод. По-видимому, это связано с тем, что ингибиторы, выполняют свою защитную функцию не только во время питания нематод и откладки яиц, но и во время образования питающих клеток в растении-хозяине. У восприимчивых растений такое не наблюдается. Проведенные исследования показали, что изменения экспрессии генов защитного ответа в устойчивых растениях происходит в начальный период заражения, что указывает на быструю реакцию устойчивых растений на инвазию и адекватного развития защитного ответа; у восприимчивых растений эти изменения при заражении незначительны, и проявляются уже после проникновения личинок в корни, что может быть одной из причин развития заболевания. Повышенная экспрессия кодирующих их генов в инвазированных корнях устойчивых растений, обнаруженная на всех стадиях развития паразита, свидетельствует о значимости исследованных показателей в устойчивости растений томатов к галловой нематодe.

Список источников / References

1. Dodds P. N., Chen J., Outram M. A. Pathogen perception and signaling in plant immunity. *The Plant Cell*. 2024: 1-17.
2. Lavrova V. V., Udalova Z. V., Matveeva E. M., Khasanov F. K., Zinovieva S. V. Mi-1 gene expression in tomato plants under root-knot nematode invasion and treatment with salicylic acid. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2016; 471: 413-416.
3. Lavrova V. V., Zinovieva S. V., Udalova Z. V., Matveeva E. M. Expression of PR genes in tomato tissues infected by nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White, 1919) Chitwood, 1949. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2017; 476: 306-309.
4. Ngou B. P. M., Ahn H-K., Ding P., Jones J. D. G. Mutual potentiation of plant immunity by cell-surface and intracellular receptors. *Nature*. 2021; 592: 110-115.
5. Zinovieva S. V., Udalova Z. V., Seiml-Buchinger V. V., Khasanov F. K. Gene expression of protease inhibitors in tomato plants with invasion by root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and modulation of their activity with salicylic and jasmonic acids. *Biology Bulletin*. 2021; 48(2): 130-139.