

УДК 635.21.24:577.27:551.524

<https://doi.org/10.31016/978-5-6055300-5-3.2026.27.345-349>

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОДЕРЖАНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ И ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТ В КОРНЯХ ТОМАТОВ ПРИ ИНВАЗИИ ГАЛЛОВОЙ НЕМАТОДОЙ *MELOIDOGYNE INCOGNITA*

Зиновьева С. В.¹,доктор биологических наук, главный научный сотрудник
лаборатории фитопаразитологии**Удалова Ж. В.^{1,2},**кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории фитопаразитологии

Аннотация

Ген *Mi-1,2* в настоящее время является единственным коммерчески доступным источником устойчивости томатов к галловым нематодам, однако его эффективность значительно снижается, когда температура почвы превышает 28 °С. В последние годы активно обсуждается связь потери устойчивости растений к фитопатогенам при повышенной температуре с уменьшением синтеза – салициловой (СК) и/или жасмоновой (ЖК) кислот – ключевых гормонов, которые имеют решающее значение для местной и системной защиты от биотрофных и гемибитрофных патогенов. В представленном сообщении приведены данные исследования содержания СК и ЖК и основных ферментов их синтеза – соответственно фенилаланин-аммиак-лиазы (ФАЛ) и липоксигеназы (ЛОГ) в корнях томатов, инвазированных *Meloidogyne incognita*, выращенных при нормальной (25 °С) и повышенной (34 °С) температуре. Было показано, что при повышенной температуре в растениях, инвазированных нематодой, синтез СК и ЖК и активность основных ферментов их синтеза снижается, при этом динамика изменения этих показателей у растений, выращенных

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

² Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (117218, Россия, г. Москва, ул. Б. Черемушкинская, д. 28)

при разных температурах, отличается. Эти результаты раскрывают важную причину потери устойчивости томатов к галловой нематоды при повышенной температуре.

Ключевые слова: томаты, *Meloidogyne incognita*, температура, салициловая и жасмоновая кислоты, фенилаланин-аммиак-лиаза, липоксигеназа

**EFFECT OF TEMPERATURE ON THE CONTENT
OF SALICYLIC AND JASMONIC ACIDS IN TOMATO ROOTS
UNDER INVASION BY THE KNOT-KNOT NEMATODE
*MELOIDOGYNE INCOGNITA***

Zinovieva S. V.¹,

Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher,
of the Laboratory of Plant Parasitology

Udalova Zh. V.^{1,2},

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
of the Laboratory of Plant Parasitology

Abstract

The *Mi-1.2* gene is currently the only commercially available source of tomato resistance to root-knot nematodes, but its effectiveness is significantly reduced when soil temperatures exceed 28 °C. In recent years, the connection between the loss of plant resistance to phytopathogens at elevated temperatures and the reduced synthesis of salicylic (SA) and jasmonic (JA) acids – key hormones that are crucial for local and systemic defense against biotrophic and hemibiotrophic pathogens – has been actively discussed. This paper presents data from a study of the levels of SA and JA and the main enzymes involved in their synthesis – phenylalanine ammonia lyase (PAL) and lipoxygenase (LOX), respectively – in tomato roots infested with the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*, grown at normal (25 °C) and elevated (34 °C) temperatures. It was shown that at elevated temperatures, the synthesis of SA and JA acids and the activity of the main enzymes involved in their synthesis are reduced in plants infested with the nematode, with the dynamics of these parameters varying in plants grown at different temperatures. These results reveal an important

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

² All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre VIEV" (28, Bolshaya Chermushkinskaya st., Moscow, 117218, Russia)

reason for the loss of resistance of tomatoes to the root-knot nematode at elevated temperatures.

Keywords: tomato, *Meloidogyne incognita*, temperature, salicylic and jasmonic acids, phenylalanine ammonia lyase, lipoxxygenase

Введение. На сегодняшний день *Mi-1,2* является единственным коммерчески доступным геном устойчивости томатов к галловой нематоде, одному из самых опасных патогенов растений. Он относится к классу генов, кодирующих белки устойчивости растений СС-NBS-LRR, и запускает реакцию гиперчувствительности (СВЧ) в клетках, окружающих нематоду, что приводит к остановке развития паразита. Однако его функция обеспечения устойчивости к нематодам снижается при температуре почвы выше 28 °С, что приводит к заражению растений галловыми нематодами. Понимание, как и когда тепловое воздействие нарушает устойчивость к этому гену, необходимо для разработки стратегий по снижению агроэкономических потерь, связанных с этими паразитами. Молекулярная основа ингибирования иммунитета растений при высоких температурах до конца не изучена. Проведенные исследования показали, что действие высокой температуры проявляется в целом ряде физиологических реакций и обусловлено влиянием на различные компоненты иммунной системы растений, как локальных, так и системных. В последние годы было показано, что реакции растений на температуру тесно связаны с растительными гормонами – салициловой (СК) и/или жасмоновой (ЖК) кислотами [1, 5]. Многочисленные литературные данные свидетельствуют о том, что СК и ЖК являются ключевыми молекулами, принимающими участие в защите растений от фитопатогенов, включая паразитических нематод [4]. Они являются участниками системной сигнальной трансдукции, связанной с транслокацией стрессовых сигналов от поверхности инвазированной клетки до ядра, а также дистанционно по всем клеткам, индуцируя и усиливая экспрессию защитных генов. В статье приведены данные о содержании СК и ЖК и активности основных ферментов их синтеза – соответственно, ФАЛ и ЛОГ в корнях томатов, инвазированных галловой нематодой, выращенных при нормальной (25 °С) и повышенной (34 °С) температурах.

Материалы и методы. В работе использовали растения томатов *Lycopersicon esculentum* L. – гомозиготный гибрид F1 Шагане (*Mi-1,2*) – устойчивый к заражению галловой нематодой *M. incognita*, выра-

щенные при двух температурах – оптимальной (25 °С) и повышенной (34 °С). Инвазирование растений нематодами проводили по стандартной методике (3000 личинок/растение), описанной нами ранее. Анализ корней проводили перед инвазией и на 3, 6 и 18 сутки после заражения – период, охватывающий этапы проникновения личинок в корни растения-хозяина, формирования области питания («гигантских клеток»), активного питания и развития нематоды. Содержание СК и ЖК определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии [2], активность ФАЛ и ЛОГ – спектрофотометрически [3].

Результаты исследований. Проведенные исследования показали, что температура оказала значительное влияние на содержание СК в корнях томатов – при температуре 25 °С: количество этого гормона до инвазии было в 2 раза больше, чем при 34 °С. Инвазия вызвала значительное возрастание уровня СК в обоих вариантах, при этом максимальное содержание СК в растениях, выращенных при 25 °С, наблюдалось на 3-й день после инвазии, тогда как при 34 °С достоверное увеличение содержания СК наблюдалось лишь на 6-й день и было в этот период в 1,8 раза меньше, чем в корнях растений, выращенных при нормальной температуре. Исследование активности ФАЛ показало, что активность этого фермента в растениях, выращенных при 34 °С, была значительно ниже на всем протяжении развития нематод. Содержание ЖК в корнях растений до инвазии при повышенной температуре было в 1,5 раза больше. Однако реакция этого гормона на инвазию при температуре 25 °С была значительно сильнее, и уже на третьи сутки после инвазии количество ЖК в этих условиях увеличилось в 7 раз и высокий уровень этого гормона в корнях сохранялся на протяжении всего эксперимента. При температуре 34 °С содержание ЖК в корнях растений в ответ на инвазию также возросло, но не так значительно (в 1,5 раза), и уже на 3-и сутки после инвазии количество ЖК в корнях растений при температуре 34 °С было в 3,5 раза меньше, чем в корнях томатов, выращенных при 25 °С; максимальный уровень ЖК при повышенной температуре зафиксирован лишь на 6-е сутки после инвазии. Исследования ЛОГ выявили меньшую активность фермента в корнях инвазированных растений, выращенных при 34 °С, чем при 25 °С; динамика проявления активности различалась – максимум активности фермента при 25 °С был зафиксирован на 3-и сутки после инвазии, а при повышенной температуре только на 6-е сутки, т. е. в период активного питания и развития паразита, вторгшегося в растения с утраченным иммунитетом.

Заключение. Полученные данные показали, что потеря устойчивости томатов к галловой нематоде при повышенной температуре связана со снижением биосинтеза СК и ЖК – ключевых гормонов в иммунной системе растений. Они работают как мощные индукторы синтеза широкого спектра вторичных метаболитов и специфических белков (PR-белков) для защиты от различных патогенов. Выявленные чувствительные к температуре компоненты иммунной системы растений составляют неотъемлемую часть защитной системы растений. Необходимы дополнительные исследования для выявления как термостабильных, так и чувствительных к температуре блоков иммунной системы растений для разработки эффективных стратегий управления, направленных на повышение устойчивости культур к изменчивым климатическим условиям.

Список источников / References

1. Castroverde C. D. M., Dina D. Temperature regulation of plant hormone signaling during stress and development. *Journal of experimental botany*. 2021; 72(21): 7436-7458.
2. Du C., Shen F., Li Y., Zhao Z. Effects of salicylic acid, jasmonic acid and reactive oxygen species on the resistance of *Solanum peruvianum* to *Meloidogyne incognita*. *Scientia Horticulturae*. 2021; 275(2): 109649.
3. Ferraz H. G. M., Resende R. S., Moreira P. C., Silveira P. R., Milagres E. A., Oliveira J. R., Rodrigues F. A. Antagonistic rhizobacteria and jasmonic acid induce resistance against tomato bacterial spot. *Plant Protection*. 2015; 417-427.
4. Gheysen G., Mitchum M. G. Phytoparasitic nematode control of plant hormone pathways. *Plant physiology*. 2019; 179(4): 1212-1226.
5. Son Park S. R. Climate change impedes plant immunity mechanisms. *Frontiers in plant science*. 2022; 13: 1032820.