

# Efeito da temperatura e exsudatos radiculares na eclosão e infectividade de *Meloidogyne javanica* raça 1 em *Solanum lycopersicum*

Francisco Jorge Carlos de Souza Junior<sup>[1]</sup>, Carmem Dolores Gonzaga Santos<sup>[2]</sup>

[1] jorgesouza@alu.ufc.br. Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Agronomia/Área de Fitossanidade.

[2] carmelo@ufc.br. Universidade Federal do Ceará/CCA/Departamento de Fitotecnia.

## RESUMO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das olerícolas mais cultivadas no mundo. Há diversas doenças que afetam essa cultura; entre elas, destacam-se fitonematóides do gênero *Meloidogyne*. O presente trabalho teve como objetivo realizar avaliação do efeito da influência da temperatura e exsudatos radiculares de tomate 'Santa Clara' e *Datura metel*, na eclosão de juvenis de *M. javanica* raça 1 e na infestação de mudas de tomateiro. As avaliações de eclosão foram realizadas em câmaras de eclosão, em diferentes temperaturas, e os testes de infectividade foram feitos em muda de tomateiro "Santa Clara" de 21 dias. Observou-se que os exsudatos radiculares do tomateiro foram os que mais favoreceram a eclosão dos juvenis – a temperatura influencia diretamente a infectividade. Mesmo que a *D. metel* seja considerada uma má hospedeira, seus exsudatos radiculares não afetam a capacidade de parasitismo de *M. javanica* raça 1.

**Palavras-chave:** Nematóide de galhas. Ovos. Parasitismo.

## ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most cultivated vegetables in the world. There are several diseases that affect culture, including phytonematodes of the genus *Meloidogyne*. The present study aimed to evaluate the effect of temperature influence and root exudates of tomato 'Santa Clara' and *Datura metel* on the hatching of juveniles of *M. javanica* race 1 and on the infestation of tomato seedlings. Hatching evaluations were carried out in hatching chambers at different temperatures, and the infectivity tests were carried out on 21-day 'Santa Clara' tomato seedlings. As a result, it was observed that the root exudates of tomatoes were the ones that favored the hatching of juveniles, the temperature influences directly infectivity. *D. metel*, even though it is considered a bad host, its root exudates do not affect the parasitism capacity of *M. javanica* race 1.

**Keywords:** Root-knot nematodes. Eggs. Parasitism.

## 1 Introdução

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta originária da América do Sul, sendo uma das principais olerícolas do mundo e amplamente distribuída devido a sua grande aceitabilidade e consumo (NAIKA *et al.*, 2006). China, Índia e Estados Unidos são responsáveis por 50% da produção de tomate no mundo, destacando-se a China com 31% do volume global. O Brasil ocupa a nona nesse ranking, com produção de 2,5% da produção mundial (FAOSTAT, 2017). Aqui, a área de cultivo de tomate foi de 59,7 mil hectares no ano de 2018, com uma produção de 4,48 milhões de toneladas. Na região Nordeste, os Estados da Bahia, Ceará e Pernambuco são responsáveis por mais de 90% da produção da região. De acordo com IBGE, para a safra de 2020, foram previstas a utilização de uma área de 55,8 mil hectares e uma produção estimada em valor de 3,88 milhões de toneladas (IBGE, 2020).

Há, entretanto, diversas pragas e doenças, prejudicando tanto a qualidade, quanto a quantidade de produção de tomate. Os fitonematóides são uma delas, pois representam uma importante restrição à entrega da segurança alimentar global. Os danos causados por nematoides parasitas de plantas foram estimados em US\$ 80 bilhões por ano (NICOL *et al.*, 2011). Os nematoides do gênero *Meloidogyne* (Goeldi) assumem considerável importância na cultura do tomate, sendo as quatro principais espécies encontradas *Meloidogyne incognita* (Goeldi), *Meloidogyne javanica* (Treub), *Meloidogyne arenaria* (Neal) e *Meloidogyne hapla* (Chitwood) (MOENS *et al.*, 2009).

A sobrevivência dos fitonematoides é dependente do crescimento da planta hospedeira e das condições ambientais. Dentre os fatores que afetam diretamente a infectividade, a temperatura apresenta papel importante, pois pode influenciar a capacidade de penetração de juvenis de segundo estágio (J2) de várias espécies de *Meloidogyne* (GOURD *et al.*, 1993). No solo, os J2 de *Meloidogyne* spp. necessitam de umidade e respondem à atração por substâncias exsudadas pelas raízes, que podem afetar a capacidade de penetração dos indivíduos. Essas substâncias naturais ou sintéticas podem estimular a eclosão dos nematoides, por promover a permeabilidade da membrana ou a degradação de outras camadas da parede do ovo (TIHOHOD, 2000).

Estudos que avaliem o papel dos exsudatos radiculares de plantas no processo de eclosão e

infectividade precisam, entretanto, ser realizados, em hospedeira e má hospedeira, bem como o efeito da temperatura. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da temperatura e exsudatos radiculares de tomate 'Santa Clara' e *Datura metel* na eclosão de juvenis de *M. javanica* raça 1 e na infestação de mudas de tomateiro.

## 2 Referencial teórico

Além de sustentar e absorver água e nutrientes, as raízes são responsáveis pela produção de exsudatos radiculares, que são liberados na rizosfera. A atração química dos microrganismos de solos para as raízes é um mecanismo já conhecido há muitas décadas, que envolve a sinalização cruzada entre raízes e microrganismos (BAIS *et al.*, 2004).

As substâncias químicas que são secretadas pelas raízes no solo são chamadas de exsudatos (BAIS *et al.*, 2006). Compostos exsudatos orgânicos e inorgânicos são um dos principais mecanismos de adaptação das plantas ao meio ambiente. A exsudação na rizosfera pode influenciar na regulação da atividade da comunidade microbiana, induzir resistência, alterar propriedades físicas e químicas do solo, além de inibir o crescimento de espécies de plantas concorrentes (NARDI *et al.*, 2000). Os exsudatos radiculares são constituídos por diversos compostos: enzimas, íons, aminoácidos, açúcares, metabólitos e CO<sub>2</sub>, que podem prejudicar o comportamento dos nematoides no solo (CURTIS, 2008).

Quase todos os gêneros de fitopatógenos habitantes do solo respondem aos exsudatos de raízes, entretanto pouco se conhece sobre as moléculas específicas que elucidam essas respostas (BOWEN; ROVIRA, 1991). O comportamento de eclosão de muitas espécies de nematoides parasitas é um componente essencial do ciclo de vida para aperfeiçoar as probabilidades de infecção bem sucedida pela sincronização de hospedeiro com o patógeno. A influência do hospedeiro sobre a eclosão manifesta-se principalmente pelos efeitos dos exsudatos radiculares – a maioria é evidente em espécies de nematoides de cisto. Para as espécies de *Meloidogyne*, com gamas de hospedeiro relativamente amplas, a influência de exsudato é menor – a maioria dos J2 incuba em água, sem a necessidade de estimulação de exsudatos radiculares (PERRY *et al.*, 2009).

O juvenil do segundo estágio (J2) de *Meloidogyne* é fundamental no parasitismo, pois é neste estágio que ele está na forma infectiva em plantas (CAMPOS *et*

al., 2001). No estádio J2, o nematoide vive em três diferentes ambientes, sendo primeiramente dentro do ovo, depois no solo e, por fim, na planta (VAN GUNDY, 1985).

Os exsudatos podem apresentar efeito nematostático por algum composto na sua composição, servindo como fator de inibição da eclosão ou paralisando a fase infectiva (J2), comprometendo a penetração dos juvenis, o que resulta numa fraca relação patógeno-hospedeiro (FERRAZ; FREITAS, 2004). Santos (2015) verificou que *Datura metel* é má hospedeira de *M. Enterolobii*, na qual encontrou poucas galhas do nematoide e reduzido número de massa de ovos nas raízes. De acordo com Campos *et al.* (2006), exsudatos radiculares de uma planta má hospedeira ou de espécie antagônicas a fitonematoides comprometem a mobilidade e a eclosão de juvenis, agindo nas divisões celulares do nematoide dentro do ovo, estendendo o ciclo de vida até o rompimento da cutícula pelo J2.

### 3 Método da pesquisa

O presente trabalho foi realizado em dois ensaios experimentais. A eclosão foi avaliada no laboratório de Fitopatologia e a avaliação da infectividade foi conduzida em casa de vegetação, ambos pertencentes ao Departamento de Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará – Fortaleza/CE, no período de outubro de 2018 a janeiro de 2019. A temperatura da casa de vegetação foi monitorada diariamente, com variação entre  $30 \pm 4^\circ\text{C}$  com média de  $29^\circ\text{C}$ .

#### 3.1 Obtenção dos exsudatos radiculares

Para a realização dos ensaios foram empregadas as espécies vegetais *Datura metel*, considerada uma má hospedeira da espécie *M. enterolobii*, e o tomateiro ‘Santa Clara’, devido a sua boa hospedabilidade aos nematoides do gênero *Meloidogyne*.

Sementes dessas espécies foram semeadas em bandejas de isopor; decorrido o prazo de 15 dias após semeadura, 10 plântulas de cada espécie foram retiradas cuidadosamente das bandejas, suas raízes lavadas para remoção do solo. Em seguida, as mudas foram colocadas em tubos de ensaio aberto, contendo 10 mL de água destilada, os quais permaneceram à temperatura ambiente do laboratório por nove dias. Ao final desse tempo, os exsudatos liberados pelas plântulas foram filtrados em papel de filtro e utilizados nos testes de eclosão (AWAD *et al.*, 2006).

#### 3.2 Obtenção das populações

A população de *M. javanica* raça 1 foi obtida a partir de tomateiros infestados da coleção do Laboratório de Fitopatologia da UFC. A identificação da população foi feita por meio da eletroforese com a isoenzima esterase, segundo os princípios de Alfenas (2006). A identificação da raça foi feita por meio de hospedeiras diferenciadoras, conforme Hartman e Sasser (1985). Após a confirmação da espécie, procedeu-se à extração dos ovos, seguindo a metodologia de Coolen e D’Herde (1972).

#### 3.3 Obtenção de mudas de tomateiro

Sementes de tomateiro ‘Santa Clara’ foram semeadas em bandejas de isopor de 128 células, contendo a mistura de solo e esterco na proporção 2:1, previamente autoclavado durante uma hora a  $120^\circ\text{C}$ . Após 21 dias da semeadura, as mudas de tomateiro, foram transplantadas para vasos com capacidade de 0,5 kg, contendo a mesma mistura de solo e esterco utilizados para produzir as mudas.

#### 3.4 Avaliação da eclosão

A suspensão de ovos de *M. javanica* raça 1 foi incubada em câmaras de eclosão preparadas, empregando-se placas de Petri de 4,5 cm de diâmetro. Foram adicionados aproximadamente 250 ovos do nematoide, em 2,5 mL de água destilada e 0,5 mL dos exsudatos radiculares de tomateiro ‘Santa Clara’ e de *D. metel*. Placas contendo apenas água destilada foram utilizadas como controle. As câmaras de eclosão foram fechadas e mantidas nas temperaturas de  $10^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$  em BOD (modelo LS334, 300 litros, marca Logen<sup>®</sup>);  $30^\circ\text{C}$  e  $35^\circ\text{C}$ , em estufa (DELEO<sup>®</sup>), no escuro. O ensaio foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com 18 tratamentos (seis temperaturas x dois tipos de exsudatos – tomateiro e *D. Metel* –, e água como controle) e doze repetições (placas). Por tratamento, foram avaliados, quanto à eclosão, 3.000 ovos.

Para manter somente a fase de ovos nas placas, procedeu-se à remoção de todos os J2 presentes na suspensão, antes de submetê-los aos 18 tratamentos. A contagem dos J2 eclodidos iniciou-se 24 h após a montagem do ensaio. A contagem foi realizada sob microscópio estereoscópico, retirando-se as placas, individualmente, de cada ambiente, para evitar variação nas temperaturas de cada tratamento. A

avaliação prosseguiu com intervalos de 24 h, até a retirada de 250 J2 de cada placa. A análise da eclosão dos J2 de *M. javanica* raça 1 foi feita por meio da área abaixo da curva de progresso da eclosão (AACPE), calculada pela equação proposta por Campbell e Madden (1990), como observado na Equação 1:

$$AACPD = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} Y_i + Y_{i+1}}{2} \times (T_{i-1} - T_i) \quad (1)$$

Os valores percentuais de J2 eclodidos foram aplicados na fórmula, considerando-se:  $Y_i$  = porcentagem de eclosão na  $i$ -ésima avaliação;  $T_i$  = tempo em dias na  $i$ -ésima avaliação;  $n$  = número de avaliações. Os dados da AACPE de *M. javanica* raça 1 foram transformados para  $\log(x)$  e submetidos à análise de variância e as médias ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se software SISVAR (FERREIRA, 2000).

### 3.5 Bioensaio para avaliação da infectividade

Para a avaliação da infectividade, todos os J2 eclodidos de cada duas placas (500 J2) foram transferidos para uma muda de tomateiro 'Santa Clara' de 21 dias. A inoculação foi realizada em três orifícios perfurados próximos ao colo das plantas, utilizando-se de uma pipeta graduada para depositar os juvenis, conforme a eclosão dos tratamentos. As plantas foram mantidas em casa de vegetação. Após 45 dias da inoculação, as raízes dos tomateiros foram lavadas em água corrente para remoção de restos de solo, coradas com fucsina ácida visando à contagem das massas de ovos. Posteriormente, utilizando-se microscópio estereoscópico, avaliou-se o número de galhas (NG) e número de massas de ovos (NMO). O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado, composto por 18 tratamentos e 6 repetições cada um – cada unidade experimental foi representada por um vaso, contendo uma planta inoculada com 500 J2 de *M. javanica* raça 1. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2000).

## 4 Resultados da pesquisa

Observou-se que, nas temperaturas de 10° C e 15° C, em exsudatos radiculares de tomate, a eclosão dos J2 finalizou no 14° dia, tendo apresentado aproximadamente 50% de eclosão no 5° dia e de 92,8% no 10° dia do ensaio. Nas mesmas temperaturas de 10° C e 15° C, a eclosão dos J2, em água e nos exsudatos radiculares de *D. metel*, a eclosão finalizou também no 14° dia, atingindo quase 50% no 6° dia e valores de 90% no 11° dia, um dia a mais que nos tratamentos com exsudatos radiculares do tomateiro (Figura 1, na página seguinte).

Nas placas submetidas a 20° C em exsudatos radiculares de tomate, a eclosão dos J2 finalizou no 7° dia, constatando-se 58,3% de eclosão no 4° dia e 90% de eclosão no 6° dia. Em água, a 20° C, a eclosão dos J2 findou no 9° dia, atingindo valor superior a 50% apenas no 5° dia e superiores a 90% no 8° dia. Em exsudatos radiculares de *D. metel*, a 20° C, a eclosão dos J2 terminou no 11° dia, alcançou valores superiores a 50% no 6° dia e a 90% no 11°. Em geral, houve redução no tempo final de eclosão dos J2, tanto para exsudatos radiculares de tomateiro como para água, com ganho de 7 e 2 dias respectivamente, o que não foi observado para o caso de J2 nos exsudatos de *D. metel*.

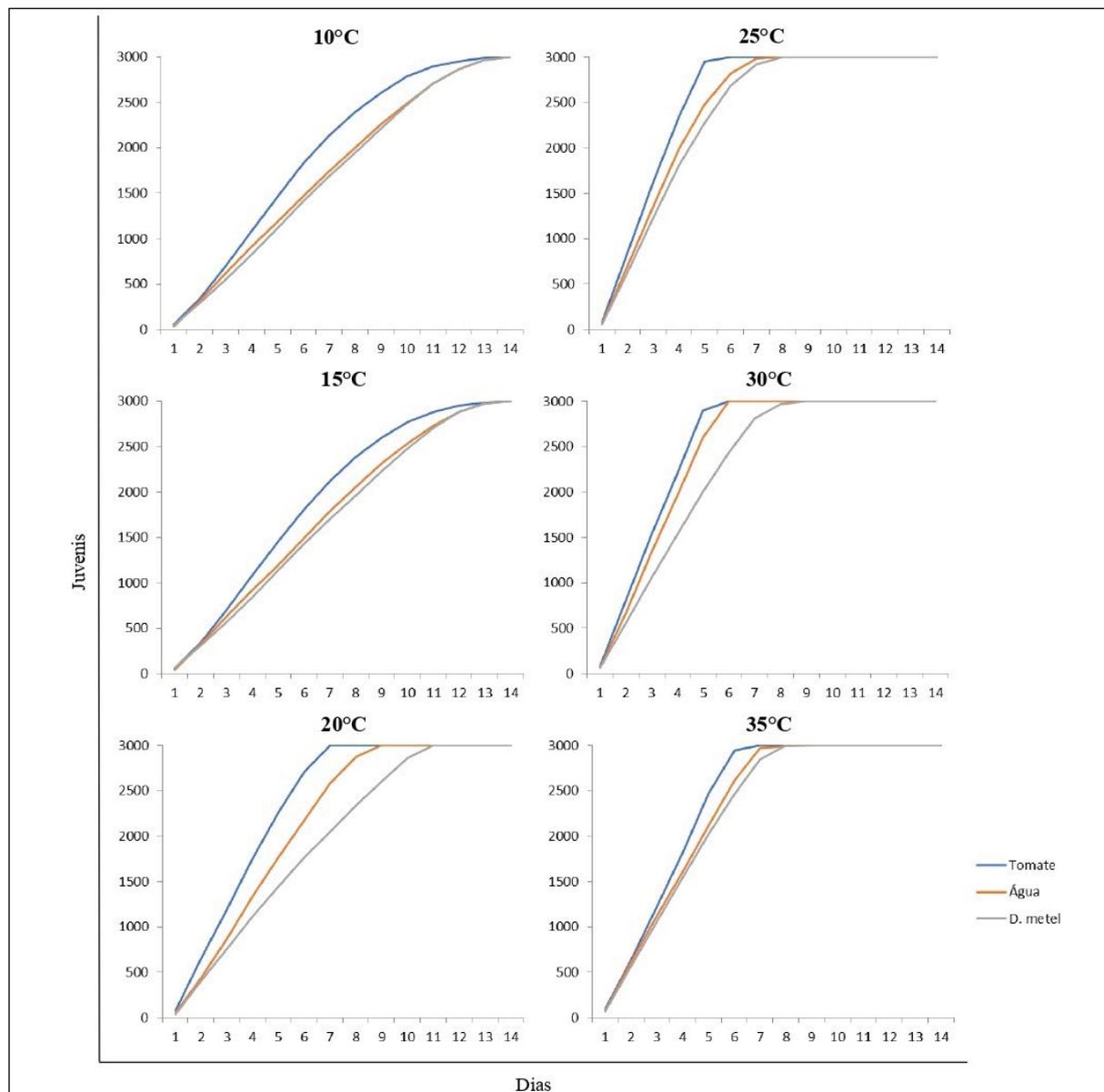
Nos tratamentos submetidos a 25° C, observou-se que, em exsudatos radiculares de tomateiro, a eclosão dos J2 encerrou-se no 6° dia, havendo 53,8% de eclosão já no 3° dia e 98% no 5° dia. Em água, a 25° C, a eclosão dos J2 foi concluída no 8° dia, atingindo valor próximo de 50% no 3° dia e superior a 90% no 6° dia. Em exsudatos radiculares de *D. Metel*, a 25° C, a eclosão dos J2 terminou no 8° dia e alcançou valores de 40,9%, no 3° dia, e superior a 90%, no 8° dia. Nessa última temperatura, a eclosão dos juvenis nos exsudatos do tomateiro foi reduzida em um dia, com relação ao de 20° C, e em dois dias, com relação à água e aos exsudatos de *D. metel*.

Na temperatura de 30° C, em exsudatos radiculares de tomateiro, a eclosão dos J2 finalizou no 6° dia, sendo que apresentou eclosão de aproximadamente 50% no 3° dia e de 96,4% já no 5° dia, comportamento semelhante ao observado em 25° C. Na mesma temperatura de 30° C, em água, a eclosão dos J2 finalizou no 6° dia, dois a menos que a 25° C, atingindo taxa de eclosão de 44,3% no 3° dia e valores próximos de 90% no 5° dia. Em exsudatos radiculares de *D. metel*, a eclosão dos J2 encerrou no 8° dia e alcançou valores próximo de 50% no 4° dia e superiores a

90% no 7º dia, dados semelhantes ao ensaio a 25°C. Porém, nos tratamentos a 35°C, verificou-se que, em exsudatos radiculares de tomateiro, a eclosão dos J2 foi encerrada no 7º dia, um dia a mais que em 25 e 30°C, mas com eclosão perto 50% no 3º dia e próxima

de 90% no 5º dia. Tanto na água como em exsudatos radiculares de *D. metel*, a eclosão dos J2 foi finalizada no 9º dia, alcançando valores próximos de 40% no 3º dia e de 70% no 5º dia.

**Figura 1** – Número de juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica* raça 1 eclodidos em água e em exsudatos radiculares de tomate e de *D. metel* em diferentes temperaturas



Fonte: Dados da pesquisa

Constatou-se, neste estudo, que os exsudatos radiculares de tomateiros, em todas as temperaturas, sempre tiveram o maior percentual de eclosão de J2 no menor tempo, quando comparados com os demais tratamentos, e que as temperaturas de 25 e 30°C, em todos os casos, foram as melhores do

ensaio para a formação e eclosão de J2. O aumento da eclosão de juvenis, devido à ação de exsudatos de raízes de plantas, também foram relatados por Tihohod (1993) para as espécies de *M. incognita*, *M. javanica* e *M. hapla*.

Exsudatos radiculares são fundamentais na eclosão de juvenis, como visto por Doncaster e Shepherd (1967) que, trabalhando com o nematoide de cisto da batata, *Globodera rostochiensis*, relataram a existência de sinal específico dos exsudatos radiculares de batata para iniciar a eclosão. Neste ensaio, nas temperaturas de 25°C e 30°C ocorreu eclosão de 100% dos juvenis em apenas sete dias, uma redução de 50% no tempo de eclosão total se comparada ao resultado obtido nas temperaturas de 10°C e 15°C, evidenciando que a faixa de 25°C a 30°C corresponde às temperaturas ideais para a eclosão, evidenciando que, no território brasileiro, há condições ambientais favoráveis à multiplicação de inóculo de *M. javanica*. Resultados semelhantes foram verificados por Alston e Schmitt (1988). Esses autores, avaliando o desenvolvimento da fase de vida de *Heterodera glycines* em diferentes temperaturas, concluíram que a temperatura ótima para a embriogênese e eclosão, com a menor taxa de mortalidade dos juvenis de *H. glycines*, foi de 24°C. De acordo com Ferraz e Brown (2016), temperaturas de até 30°C favorecem o desenvolvimento dos nematoides e, acima dessa temperatura, podem ocorrer alterações na eclosão e desenvolvimento de juvenis. Já temperaturas acima de 40°C levam os nematoides à morte.

**Tabela 1** – Área abaixo da curva de progresso da eclosão (AACPE) de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne javanica* raça 1 eclodidos em água e em exsudatos radiculares de tomate e de *D. metel* em diferentes temperaturas (T)

T	AACPE		
	Tomate	Água	<i>D. metel</i>
10°C	1260,0 aA	1126,4 aA	1103,6 aA
15°C	1255,3 aA	1143,1 aA	1113,4 aA
20°C	479,8 aB	653,5 aB	817,76 aB
25°C	440,7 aB	668,2 aB	629,6 aB
30°C	425,2 aB	380,7 aB	720,0 aB
35°C	508,5 aB	754,3 aB	727,5 aB

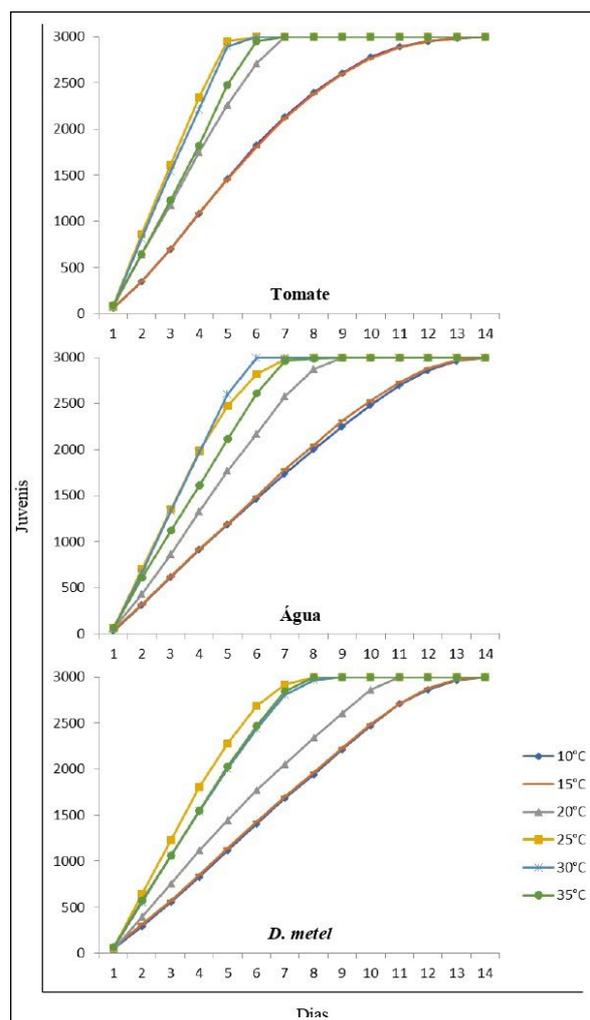
\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

A lenta eclosão dos J2 observada nas temperaturas de 10°C e 15°C, durante os oito dias seguintes, pode estar relacionada à redução da embriogênese

do nematoide nessa faixa de temperatura. Esses resultados são semelhantes aos constatados no experimento de Morris *et al.* (2011), com *M. minor* a 15°C. Para melhor observar o efeito dos exsudatos na eclosão, foi elaborada a Figura 2.

Figura 2 – Efeito da temperatura na eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica* raça 1 eclodidos em exsudatos radiculares de tomateiro, água e exsudatos radiculares de *D. metel*



Fonte: Dados da pesquisa.

Bird (1972), em experimento com ovos de *M. javanica* mantidos em uma temperatura constante de 30°C, encontrou uma taxa de embriogênese quatro a cinco vezes superior àquela observada a 15°C. Ele trabalhou, porém, em suas pesquisas, com ovos do nematoide apenas no estágio de duas células, diferente, portanto, do presente trabalho, que envolveu diversos estádios de desenvolvimento de ovos – esta diversidade de estádios é encontrada naturalmente

em massas de ovos em raízes. Lima (1984), avaliando a eclosão de juvenis de *M. exigua* em diferentes temperaturas, observou que a porcentagem média de eclosão decresceu exponencialmente com o tempo, para todas as temperaturas testadas. O máximo de eclosão (38,2%) observado pelo autor, ocorreu no segundo dia em temperatura de 25°C, enquanto que, a 30°C, 20°C, 15°C e 10°C, houve 26,1%, 8,2%, 6,4% e 5,7% de eclosão, respectivamente.

Os nematoides de galhas são, geralmente, estimulados pela presença de um hospedeiro, mas eclodem livremente, mesmo sem plantas hospedeiras na área, diante de uma temperatura favorável quando somente a água está disponível (NORTON; NIBLACK, 1991; SURDIMAN, 1995;). A baixa eclosão de J2 em exsudatos radiculares de *D. metel* pode ser explicada pelo provável efeito de metabólitos de ação inibitória ou nociva contidos nos exsudatos dessa planta, referida como má hospedeira de *M. enterolobii*. NELMES (1970) relata que más hospedeiras desfavorecem a evolução da embriogênese de juvenis, diminuindo seus movimentos ou retardando o processo de degradação da camada lipídica e da plasticidade da casca do ovo, que são eventos necessários para a eclosão do J2 de *G. rostochiensis*, como afirmaram Doncaster e Shepherd (1967). A ocorrência desses dois últimos processos (redução de movimento e degradação) que, sob a atuação de substâncias presentes em exsudatos de más hospedeiras, atrasaram a eclosão de juvenis, sugere que, possivelmente, os exsudatos radiculares de *D. metel* retardaram a embriogênese de *M. incognita*, mas não causando efeito nematostático.

Oka e Mizukubo (2009), avaliando o efeito de diferentes exsudatos radiculares de plantas hospedeiras de *M. incognita* (tomate e quiabo) na eclosão de J2, em comparação à água, observaram que os exsudatos radiculares de espécies hospedeiras tanto estimulam a eclosão como atraem os juvenis. O comportamento mais lento da eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica* raça 1 em exsudatos de *D. metel*, planta má hospedeira, foi semelhante ao observado no ensaio conduzido por Campos *et al.* (2006), os quais, trabalhando com exsudatos radiculares de *Brachiaria decumbens*, espécie não hospedeira de *M. javanica*, verificaram ocorrer uma redução de 9,2% no percentual de eclosão de *M. javanica* no 3º dia do ensaio, quando comparado com a água.

Os resultados observados em raízes de tomateiro 'Santa Clara' inoculados com os juvenis de *M. Incognita*, provenientes dos ensaios nas temperaturas de 20°C,

25°C e 30°C, mostraram os maiores valores médios de número de galhas (NG), os quais não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2). Os juvenis das temperaturas de 10 e 15°C provocaram os menores valores médios de NG, aproximadamente 23 galhas, porém estatisticamente iguais.

**Tabela 2** – Número médio de galhas (NG) e Número médio de massas de ovos (NMO) observadas após 45 dias em raízes de tomate 'Santa Clara' inoculada com juvenis de *Meloidogyne javanica* raça 1, após eclosão em água, exsudatos radiculares de tomate 'Santa Clara' e *D. metel* em diferentes temperaturas (T)

T	NG		
	Tomate	Água	<i>D. metel</i>
10°C	25,33 aA	23,16 aA	23,00 aA
15°C	23,00 aA	23,66 aA	23,13 aA
20°C	63,66 bD	50,50 aD	54,33 abD
25°C	59,00 bCD	54,66 abCD	47,83 aCD
30°C	48,00 aC	50,50 aC	42,66 aC
35°C	31,50 aB	33,83 aB	30,33 aB

T	NMO		
	Tomate	Água	<i>D. metel</i>
10°C	13,83 aA	12,00 aA	13,00 aA
15°C	15,83 aAB	17,50 aAB	16,00 aAB
20°C	30,83 aD	29,50 aD	33,16 aD
25°C	31,66 aCD	27,16 aCD	25,83 aCD
30°C	23,66 aBC	22,50 aBC	21,66 aBC
35°C	20,66 aBCD	21,83 aBCD	20,66 aBCD

\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelos resultados, foi possível verificar que os juvenis submetidos a diferentes temperaturas provocaram a formação de galhas em tomateiros, independentemente dos exsudatos ou água. Os maiores números de galhas e de massas de ovos foram observados em raízes de plantas inoculadas com J2 dos tratamentos, com as temperaturas de 20°C, 25°C e 30°C. Apesar de não haver diferenças estatísticas significativas, o NG foi um pouco superior nas inoculações com juvenis que eclodiram em água.

Reduções significativas no NG foram observadas não só para as plantas inoculadas com juvenis provenientes das placas sob temperatura de 35°C como também, e mais acentuadas, para os juvenis mantidos nas temperaturas de 10 e 15°C.

Neste ensaio, as temperaturas de 10°C e 15°C apresentaram a mais lenta eclosão em função do tempo, e o resultado, quanto ao NG, foi também o menor do ensaio. Este resultado pode ser comparado com o obtido por Van Gundy *et al.* (1967), os quais observaram que, quanto maior for o tempo para juvenis de *G. rostochiensis* eclodirem, após estímulo, maior será o seu consumo de lipídeos. E, segundo os autores, se o J2 chegar a consumir mais de 50% das suas reservas lipídicas e de nutrientes, não terá mais capacidade de infectar a planta. O parasitismo do J2 com a planta hospedeira é extremamente dependente da reserva de energia do J2, que é procedente do acúmulo de lipídio corporal durante o desenvolvimento embrionário (FREIRE *et al.*, 2007). Em virtude disso, juvenis que tardam a eclodir apresentam infectividade e desenvolvimento prejudicados, quando comparados aos nematoides que eclodem logo após a exposição (ROBINSON *et al.*, 1985).

Em relação à número médio de massa de ovos (NMO), nas raízes infestadas com juvenis de segundo estágio (J2) de *M. Javanica*, foi observado que os maiores valores de NMO (21 a 33) foram observados nas temperaturas de 20°C, 25°C, 30°C e 35°C não diferindo estatisticamente; porém, na temperatura de 30 e 35°C, os valores foram um pouco menores que 25°C. Os J2 eclodidos a 10°C e 15°C, e posteriormente inoculados, provocaram tanto uma menor formação de galhas como um reduzido número de massa de ovos (13 a 16), provavelmente por ineficiência no processo de parasitismo. Campos *et al.* (2006) observaram que, na faixa de temperaturas de 5°C a 28°C, há uma redução na infectividade de J2, portanto queda na produção de NMO.

## 5 Conclusão

Os exsudatos radiculares do tomateiro foram os que mais favoreceram a eclosão dos juvenis. A temperatura influencia diretamente a infectividade e formação de galhas, independentemente dos exsudatos radiculares. Mesmo que a *D. metel* seja considerada uma má hospedeira, seus exsudatos radiculares não afetam a capacidade de parasitismo de *M. javanica* raça 1.

## REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A.C. **Eletroforese e marcadores bioquímicos em plantas e microrganismos**. Viçosa: 2ª edição. UFV, 627 p., 2006.
- ALSTONS, D. G.; SCHMITT, D. P. Development of *Heterodera glycines* life stages as influenced by temperature. **Journal of Nematology**, Lawrence, v. 20, n. 3, p. 366-372, 1988.
- AWAD, A. A. *et al.* Characterization of strigolactones, germination stimulants for the root parasitic plants *Striga* and *Orobanche*, produced by maize, millet and sorghum. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 48, n. 3, p. 221, 2006.
- BAIS, H. P. *et al.* The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 57, p. 233-266, 2006.
- BAIS, H. P.; PARK, S. W.; WEIR, T. L.; CALLAWAY, R. M.; VIVANCO, J. M.
- How plants communicate using the underground information superhighway. **Trends Plant Science**, Cambridge, v. 9, p. 26-32, 2004.
- BIRD, A. F. Influence of temperature on embryogenesis in *Meloidogyne javanica*. **Journal of Nematology**, Raleigh, v. 4, p. 206-213, 1972.
- BOWEN, G. D.; ROVIRA, A. D. The rhizosphere, the hidden half of the hidden half. In: WAISEL, Y.; KAFKAFI, U., (ed.). **Plant roots the hidden half**. New York, Marcel Dekker, p.641-649, 1991.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. John Wiley & Sons, 1990.
- CAMPOS, H. D.; CAMPOS, V. P.; POZZA, E. A. Efeito do tempo e da temperatura de incubação de juvenis de segundo estágio (J2) no teor de lipídio corporal e no parasitismo de *Meloidogyne javanica* em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 387-393, 2006.
- CAMPOS, V.P.; CAMPOS, J.R.; SILVA, L.H.C.P.; DUTRA, M.R. Manejo de nematoides em hortaliças. In: SILVA, L.H.C.P.; CAMPOS, J.R.; NOJOSA, G.B.A. **Manejo integrado: doenças e pragas em hortaliças**. Lavras: UFLA. 2001. pp.125-158.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A. **Method for the Quantitative Extraction of Nematodes from Plant Tissue**. State Nematology and Entomology Research Station, Ghent, 77 p. 1972.

CURTIS, R.H.C. Plant-nematode interactions: environmental signals detected by the nematodes chemosensory organs control changes in the surface cuticle and behaviour. **Parasite**, Paris, v. 15, p. 310-316, 2008.

DONCASTER, C. C.; SHEPHERD, A. M. The behaviour of second-stage *Heterodera rostochiensis* larvae leading to their emergence from the egg. **Nematologica**, Leiden, v. 13, n. 3, p. 476-478, 1967.

FAOSTAT (2017). **Colheitas** (Crops). Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 28 fev. 2020.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, v. 1, p. 251, 2016.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. Use of antagonistic plants and natural products. In: CHEN, Z.X.; CHEN, S.Y.; DICKSON, D.W. (Ed.) **Nematology: advances and perspectives**. Wallingford UK: CABI Publishing, 2004. p. 931-977.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows. Versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45. **Programas e Resumos...** São Carlos: UFSCar. p. 235, 2000.

FREIRE E. S.; CAMPOS V. P.; DUTRA M. R.; ROCHA F. S.; SILVA J. R. C.; POZZA E. A. Infectividade de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne incognita* em tomateiro após privação alimentar em solo e água em diferentes condições. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, n. 3, p. 270-274, 2007.

GOURD, T.R.; SCHMITT, D.P.; BARKER, K.R. Penetration rates by second-stage juveniles of *Meloidogyne* spp. and *Heterodera glycines* into soybean roots. **Journal of Nematology**, Raleigh, v. 25, n. 1, p. 38-41, 1993.

HARTMAN, K. M.; SASSER, J.N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of diferencial host test and perineal pattern morphology. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER J. N. (ed.). **An advanced treatise on Meloidogyne**. Raleigh, North Carolina State University Graphics, v. 2, p. 69-77, 1985.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Tabela 1618: Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras**. Rio de Janeiro:IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 24 mai. 2020.

LIMA, R. D. **Embriogênese, desenvolvimento pós-embriogênico e caracterização morfométrica de *Meloidogyne exigua* Goeldi (1887)**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1984, 59 p.

MIZUKUBO, T.; OKA, Y. Tomato culture filtrate stimulates hatching and activity of *Meloidogyne incognita* juveniles. **Nematology**, Leiden, v. 11, n. 1, p. 51-61, 2009.

MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. *Meloidogyne* species – a diverse group of novel and important plant parasites. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. (Ed). **Rootknot nematodes**. Wallingford, UK, CAB International, p. 1- 17,2009.

MORRIS, K. S.; HORGAN, F.G.; DOWNES, M. J.; GRIFFIN, C.T. The effect of temperature on hatch and activity of second-stage juveniles of the root-knot nematode, *Meloidogyne minor*, an emerging pest in north-west Europe. **Nematology**, Leiden, v. 13, p. 985-993, 2011.

NAIKA, S.; JEUDE, J. V. L.; GOFFAU, M.; HILMI, M.; VAN DAM, B. **A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização**. Fundação Agromisa e CTA, Wageningen, 2006. 06 p.

NARDI, S. *et al.* A low molecular weight humic fraction on nitrate uptake and protein synthesis in maize seedlings. **Soil biology & biochemistry**, Greenburgh, v. 32, n. 3, p. 415-419, 2000.

NELMES, A. J. Behavioral responses of *Heterodera rostochiensis* larvae to aldicarb and its sulfoxide and sulfone. **Journal of Nematology**, Raleigh, v. 2, n. 3, p. 223, 1970.

NICOL, J. M.; TURNER, S. J.; COYNE, D. L.; DEN NIJS, L.; HOCKLAND, S.; MAAFI, Z. T. Current nematode threats to world agriculture. In: JONES, J. T.; GHEYSEN, G.; FENOLL, C. **Genomics and molecular genetics of plant- nematode interactions**. Heidelberg, Germany, Springer, p. 21-44, 2011.

NORTON, D. C.; NIBLACK, TERRY L. Biology and ecology of nematodes. **Manual of agricultural nematology**, p. 47-72, 1991.

PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. (Ed.).

**Root-knot nematodes.** CABI, 2009.

ROBINSON, M. P.; ATKINSON, H. J.; PERRY, R. N. The effect of delayed emergence on infectivity of juveniles of potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*.

**Nematologica** Leiden, v. 31, p.171-178, 1985.

SANTOS, M.L.L. **Emprego de plantas com princípios tóxicos no controle de *Meloidogyne enterolobii*.**

2015. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – CCA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2015.

SUDIRMAN, J. M. Effect of ammonium ions on egg hatching and second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* in axenic tomato root culture. **Journal of nematology**, Raleigh, v. 27, n. 3, p. 346, 1995.

TIHOHOD, D. **Nematologia Agrícola**

**Aplicada.** 1 ed. Jaboticabal. FUNEP. 1993.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada.**

2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 473 p.

VAN GUNDY, S.D. Ecology of *Meloidogyne* spp.- emphasis on environmental factors affecting survival and pathogenicity. In: SASSER, J.N.; CARTER, C.C. **An advanced treatise on *Meloidogyne*.** Raleigh North Carolina. v. 1, p. 177-182, 1985.

VAN GUNDY, S. D. Aging and starvation in larvae of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans*.

**Phytopathology**, Saint Paul, v. 57, p. 559-571, 1967.