

Controle Biológico de Nematoides por Fungos do Gênero *Paecilomyces*

Visão Geral e Mecanismos de Ação

Fungos do gênero *Paecilomyces*, em especial *Paecilomyces lilacinus* (recentemente reclassificado como *Purpureocillium lilacinum*), têm sido amplamente estudados como agentes de biocontrole de nematoides fitoparasitas. Esses fungos são parasitas de ovos de nematoides e podem infectar também juvenis e fêmeas, produzindo enzimas líticas (quitinases, proteases, etc.) e metabólitos que destroem as estruturas dos nematoides ¹ ². *P. lilacinus* é considerado um dos fungos nematófagos mais importantes, capaz de controlar várias espécies de nematoides em diferentes culturas ³. Outros integrantes do gênero, como *P. marquandii* e *P. variotii*, também demonstraram eficácia em alguns estudos ³. Além do efeito direto de predação/parasitismo, esses fungos podem competir por recursos na rizosfera e até induzir resistência sistêmica em plantas hospedeiras, melhorando sua saúde e vigor frente a patógenos ⁴ ⁵.

Eficácia na Redução de Nematoides (Laboratório e Casa de Vegetação)

Em condições de laboratório (*in vitro*), *P. lilacinus* mostrou alta capacidade nematicida. Por exemplo, um isolado de *P. lilacinus* obteve **97,6% de mortalidade** de juvenis de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne incognita* em 72 horas, além de **inibir 79,8%** da eclosão de ovos na mesma faixa de tempo ⁶. Ahmad et al. (2019) relataram que isolados locais de *Purpureocillium* (= *Paecilomyces*) destruíram cerca de **67,9% dos ovos** de *Meloidogyne* ⁷, ilustrando o potente efeito ovicida. Esses resultados de laboratório indicam o forte potencial predatório do fungo.

Em experimentos em vaso e casa de vegetação, *P. lilacinus* também tem demonstrado reduzir significativamente populações de nematoides e danos radiculares. Estudos com tomate infestado por nematoide-das-galhas (*Meloidogyne spp.*) mostram consistentemente redução de galhas e ovos quando tratados com *P. lilacinus*. Por exemplo, Kiewnick & Sikora (2004) observaram que todas as aplicações (isoladas ou combinadas) do fungo reduziram o índice de galhas e o número de massas de ovos de *M. incognita* e *M. hapla* em tomate, comparado ao controle sem tratamento ⁸. Aplicações combinando tratamento de mudas (imersão das raízes em suspensão do fungo) antes do transplante **mais** aplicação no solo no plantio proporcionaram os maiores níveis de controle, superando tratamentos únicos ⁹. Adicionar uma aplicação pós-plantio teve efeito incremental modesto ⁹, sugerindo que o momento da aplicação (antes e no momento da infestação) é crítico para máxima eficácia. De modo semelhante, um estudo egípcio avaliando *P. lilacinum* (AUMC 10149) versus *M. incognita* em tomate relatou que praticamente todos os tratamentos com o fungo **suprimiram significativamente** as populações do nematoide no solo e nas raízes em relação ao controle positivo (com nematoide sem tratamento) ¹⁰ ¹¹. O melhor tratamento (aplicação do fungo antes do transplantio e após a infestação) reduziu a população total de *M. incognita* em **~68%** (fator de reprodução Rf = 1,9, comparado a Rf = 3,9 no pior tratamento e Rf muito maior no controle) ¹⁰ ¹². Nesse mesmo estudo, a aplicação do fungo também diminuiu a quantidade de juvenis no solo em até **85%** (próximo ao desempenho do nematicida químico oxamyl) ¹¹.

Outros trabalhos corroboram a necessidade de doses adequadas e aplicações repetidas para um controle ótimo. Cabanillas & Barker (1989) demonstraram em microparcelas de solo que a melhor proteção contra *M. incognita* em tomate ocorreu com inoculação de **10–20 gramas** de sementes de trigo colonizadas pelo fungo, aplicada antes do transplantio; doses elevadas assim foram capazes de colonizar bem o solo e parasitar muitos ovos de nematoide ¹³. De fato, Mendoza et al. (2007), testando *P. lilacinus* cepa 251 contra *Radopholus similis* (nematoide das lesões, praga de bananeira) em vasos, observaram uma relação dose-resposta clara: densidades no solo acima de **3×10⁶ UFC/g** de solo (obtidas com aplicações múltiplas) foram necessárias para obter supressão substancial da penetração do nematoide nas raízes ¹⁴ ¹⁵. Com aplicação única de dose baixa, a redução de *R. similis* nas raízes foi de apenas ~4%, enquanto um regime de aplicações múltiplas elevou a redução para **52%** ¹⁶ ¹⁷. Isso reforça que, em condições controladas, *Paecilomyces* pode efetivamente preda nematoides, mas a eficácia depende de aplicar quantidade suficiente de inóculo e no momento adequado para estabelecer o fungo antes ou durante a infecção do hospedeiro ¹⁸ ⁴.

Vale notar que *P. lilacinus* tem amplo espectro de ação. Além de *Meloidogyne* (nematoides de galha) e *Radopholus*, estudos citam controle sobre *Globodera rostochiensis* (nematoide de cisto da batata) e outras espécies sedentárias e migratórias ¹⁹ ²⁰. Por exemplo, em batata-doce infectada pelo nematoide-do-caule (*Ditylenchus destructor*), Shi et al. (2024) reportaram que um isolado *P. lilacinus* (CS-Z) alcançou **85,1% de supressão** da população do nematoide em comparação ao controle sem tratamento, em experimento em vasos ²¹. Esse tratamento também **estimulou o crescimento das plantas** de batata-doce, indicando efeito benéfico indireto possivelmente por alívio do estresse causado pelo nematoide ²¹. Em suma, em ensaios controlados de laboratório e estufa, *Paecilomyces* tem exibido alta eficácia predatória contra diversas espécies de nematoides, resultando em menores contagens de juvenis e ovos viáveis.

Impacto na Produtividade Agrícola (Estufas e Campo)

Um aspecto crucial ao avaliar agentes de biocontrole é verificar se a redução de nematoides se traduz em melhoria no crescimento e produtividade das culturas. Diversos estudos mostram que o uso de *Paecilomyces* pode, sim, proteger as plantas dos danos e **aumentar o rendimento** colhido, embora os resultados variem conforme a cultura e as condições de campo.

Em tomateiros, há evidências consistentes de recuperação de produtividade quando *P. lilacinus* é usado contra nematoides-das-galhas. Lara et al. (1996) demonstraram que *P. lilacinus* reduz significativamente as populações de *M. incognita* no solo e nas raízes, o que se refletiu num **aumento no rendimento de tomate** em relação a plantas apenas infestadas ¹⁹. No já citado estudo de Cabanillas & Barker (1989), a aplicação adequada do fungo resultou em um aumento de **3 a 4 vezes na produção de tomate** comparado a parcelas com *M. incognita* sem controle biológico ¹³. Os melhores tratamentos com *P. lilacinus* produziram rendimentos próximos aos de tomateiros sem nematoide, indicando que o fungo conseguiu suprimir o patógeno a ponto de evitar perdas significativas. Kiewnick et al. também relataram ganhos produtivos: ao testar uma estratégia otimizada de aplicação do *P. lilacinus* (cepa 251) em tomate, esses autores observaram **incremento significativo na colheita de frutos**, acompanhado de redução drástica no número de galhas por raiz ²². Ou seja, quando o biocontrole foi bem-sucedido em reduzir a doença radicular, as plantas responderam com maior vigor e produtividade. De modo semelhante, em experimentos de casa de vegetação com tomate infectado por *M. incognita*, *P. lilacinus* (isolado nativo) não apenas diminuiu a população do nematoide como **melhorou parâmetros de crescimento**: plantas tratadas apresentaram até +55–65% em altura e massa fresca, comparadas ao controle apenas com nematoide ²³. Esse ganho de biomassa sugere que parte do potencial de rendimento é recuperado com o uso do fungo.

Resultados positivos também foram obtidos em outras hortaliças. Em pepino infectado por *M. incognita*, um bioproduto comercial à base de *P. lilacinus* (Bio-Nematon 1,15% WP) foi testado em condições de campo e mostrou efeito equivalente ao nematicida químico carbofurano, tanto na redução do nematoide quanto no aumento de produção ²⁴ ²⁵. No melhor tratamento (drench no solo com 6 kg/ha do produto, aplicado no plantio e reaplicado ~30 dias depois), a população final de nematoides no solo e raízes caiu cerca de **78–80%** em relação à testemunha, e o rendimento alcançou **18,73 t/ha**, significativamente maior que no controle não tratado (que ficou abaixo de 12 t/ha) ²⁵. Além disso, observou-se aumento no número de nematoides benéficos no solo dessas parcelas tratadas, indicando que *P. lilacinus* não afetou negativamente a biota benéfica do solo ²⁵. Em berinjela (*Solanum melongena*), Sarven et al. (2019) relataram que aplicações de *P. lilacinus* (10⁶ UFC/g solo, antes do transplantio e poucos dias após) reduziram em **72%** o índice de galhas e **84%** o número de ovos de *M. incognita*, resultados que sugerem forte proteção da raiz; consequentemente, plantas tratadas mantiveram melhor desenvolvimento do que aquelas sem controle ²⁶.

Para culturas de raízes e tubérculos, estudos de campo evidenciam benefícios do biocontrole com *Paecilomyces*. A tabela a seguir resume alguns resultados de pesquisas em diferentes culturas, incluindo dados de redução de nematoides e impacto na produtividade.

Estudo (Cultura, Nematoide)	Condições / Tratamento	Redução de Nematoides	Impacto na Produtividade
Cabanillas & Barker (1989) – Tomate + <i>M. incognita</i>	Microparcels de campo; fungo em grãos de trigo (10–20 g) antes do plantio	População de nematoides reduzida (melhor proteção com dose alta) ¹³	Rendimento ~3–4 vezes maior que tomate com nematoide sem controle ¹³ .
Kiewnick & Sikora (2004) – Tomate + <i>M. incognita/hapla</i>	Estufa (vasos); <i>P. lilacinus</i> cepa 251 aplicado em mudas + solo (pré- e no plantio)	↓ Índice de galhas e ↓ número de massas de ovos (controle efetivo requer aplicação combinada) ⁹	Aumento significativo na produção de frutos , acompanhando a redução de galhas ²² .
Shi et al. (2024) – Batata-doce + <i>D. destructor</i>	Vasos (casa de vegetação); isolado CS-Z de <i>P. lilacinus</i> no solo	85,1% de supressão do nematoide (vs. controle) ²¹	Plantas com fungo apresentaram maior crescimento (melhor vigor) ²¹ .
Ameen et al. (2015) – Batata + <i>M. arenaria</i> (nematode das galhas)	Campo (Egito); <i>P. lilacinus</i> (Stanes Bionematon) + biofertilizantes (Azosp., Bacillus, micorriza)	58,3% redução de J2 no solo; 80–87% redução de galhas, ovos e fêmeas nas raízes ²⁷	+68,7% de produção de batata (kg/ha) em relação à área infestada sem tratamento ²⁷ .
Sivakumar et al. (2017) – Pepino + <i>M. incognita</i>	Campo (Índia); <i>P. lilacinus</i> (Bio-Nematon 1,15% WP) em drench (plantio + 30 DAP)	~78% redução da população no solo (dose ótima 6 kg/ha) ²⁴ ²⁸	Rendimento máximo 18,73 t/ha no tratamento (controle < 12 t/ha) ²⁵ ; sem fitotoxicidade.

Estudo (Cultura, Nematóide)	Condições / Tratamento	Redução de Nematóides	Impacto na Produtividade
Hewlett et al. (1988) – Fumo (tabaco) + <i>M. javanica</i>	Microparcelas de campo (2 anos); fungo em sementes de trigo no transplante	Sem controle efetivo: índice de galhas 5,0 tanto com quanto sem <i>P. lilacinus</i> ²⁹	Nenhum ganho de produção; ao contrário, fungo + nematóide gerou menor produção que nematóide isolado ²⁹ .

Observação: DAP = dias após plantio; UFC = unidades formadoras de colônia. Os dados de rendimento referem-se ao aumento em comparação ao controle infestado não tratado.

Como se vê, na maioria dos cenários o uso de *Paecilomyces lilacinus* resultou em considerável diminuição da população de nematoides e em melhorias no desempenho das culturas (mais frutos, maior peso de raízes, etc.). Em tomate, pepino, batata e batata-doce os benefícios foram claros, principalmente quando o fungo foi bem estabelecido antes ou durante a infestação do nematóide. No caso de banana (nematóide *R. similis*), apesar de reduções até ~50% em casa de vegetação, não se registrou incremento significativo de biomassa nas plantas tratadas, sugerindo que talvez o nível de controle não tenha sido suficiente para refletir em produtividade dentro do período avaliado ³⁰. Já em fumo (tabaco), um estudo de microcampo não encontrou eficácia alguma do *P. lilacinus*: o nematóide *M. javanica* não foi controlado e as plantas tratadas com o fungo tiveram produtividade igual ou inferior às não tratadas ²⁹. Esse caso isolado (em 1988) contrasta com os sucessos em outras culturas, e destaca a importância de desenvolver técnicas de aplicação e cepas adequadas para cada situação. Fatores como tipo de solo, clima, variedade da cultura e densidade de inóculo do fungo podem influenciar muito os resultados em campo ¹⁸ ⁴.

Considerações Finais

De modo geral, a literatura indica que fungos do gênero *Paecilomyces* são ferramentas promissoras no manejo biológico de nematoides. *P. lilacinus*, em particular, mostrou capacidade de **reduzir populações** de nematoides-das-galhas, nematoides de cisto e outras espécies, protegendo as raízes e, em muitos casos, **aumentando a produtividade** das culturas tratadas ¹⁹. As evidências cobrem desde estudos controlados em laboratório (com altas taxas de mortalidade de ovos e juvenis) até ensaios em casa de vegetação e em campo com diversas plantas hospedeiras. Em tomates e hortaliças, o uso desse fungo frequentemente se traduz em menos galhas e mais frutos ou massa verde. Em culturas como batata e batata-doce, a combinação de *P. lilacinus* com outros insumos biológicos (como bactérias benéficas e matéria orgânica) tem se mostrado particularmente efetiva, levando a reduções acima de 50–80% na carga de nematoides e recuperando boa parte do rendimento perdido ²⁷.

É importante salientar que o sucesso consistente no campo requer *estratégias de aplicação apropriadas*: usar cepas eficazes, em formulados de boa qualidade, aplicar no momento certo (geralmente antes ou no início da infestação) e em doses suficientes para garantir que o fungo colonize o solo/rizosfera do hospedeiro ³¹ ¹⁴. Alguns estudos destacam que aplicações duplas ou repetidas (antes do plantio, no transplantio e/ou pós-emergência) melhoram substancialmente o controle e o impacto positivo na planta ³². Ademais, a integração com práticas como adição de matéria orgânica ou biofertilizantes pode sinergizar com *Paecilomyces*, aumentando sua eficácia contra ovos e juvenis de nematoides ⁴.

Em conclusão, os fungos *Paecilomyces* representam agentes de biocontrole promissores e ecologicamente corretos no manejo de nematoides fitoparasitas. Diversos trabalhos científicos, em diferentes países e culturas, documentam reduções significativas de nematoides e melhorias correlatas

no vigor e produtividade das plantas tratadas. Embora haja casos onde o fungo isoladamente não alcançou controle suficiente (especialmente em condições de campo subótimas), a tendência geral sugere que, com o desenvolvimento contínuo de formulações comerciais e protocolos de aplicação, *Paecilomyces lilacinus* e espécies afins podem se tornar componentes valiosos de programas de Manejo Integrado de Pragas, contribuindo para menores perdas por nematoides e redução do uso de nematicidas químicos ^{19 6} .

Referências Seleccionadas:

- Ahmad, R.Z. *et al.* (2019). *Paecilomyces lilacinus* and *P. variotii* as a predator of nematode and trematode eggs. *Earth and Environmental Science*, 299: 012056.
- Ameen, H.H.A. *et al.* (2015). Management of root-knot nematode (*Meloidogyne arenaria*) in potato with bioproducts and biofertilizers. *Middle East J. Agric. Res.*, 4(1): 37–41 ²⁷ .
- Cabanillas, E. & Barker, K.R. (1989). Impact of *Paecilomyces lilacinus* inoculum level and application time on control of *Meloidogyne incognita* on tomato. *J. Nematol.*, 21(1): 115–120 ¹³ .
- Hewlett, T.E. *et al.* (1988). Evaluation of *Paecilomyces lilacinus* as a biocontrol agent of *Meloidogyne javanica* on tobacco. *J. Nematol.*, 20(4): 578–584 ²⁹ .
- Kiewnick, S. & Sikora, R.A. (2004). Optimizing the efficacy of *Paecilomyces lilacinus* (strain 251) for the control of root-knot nematodes. *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 69(3): 373–380 ²² .
- Mendoza, A.R. *et al.* (2007). Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* (strain 251) for the control of *Radopholus similis* in banana. *Nematropica*, 37(2): 285–299 ^{33 34} .
- Shi, F. *et al.* (2024). Effects of *Paecilomyces lilacinus* and *Bacillus pumilus* on stem nematode and rhizosphere bacterial communities of sweet potato. *Sci. Reports*, 14: 23290 ^{21 19} .
- Sivakumar, T. *et al.* (2020). Bio-efficacy of Bio-Nematon (*Paecilomyces lilacinus* 1.15% WP) against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in cucumber crop. *Plant Archives*, 20(2): 3805–3810 ²⁵ .
- **(Outras referências consultadas ao longo do texto estão citadas nos trechos correspondentes.)**

^{1 2 3 4 5} Paecilomyces and Its Importance in the Biological Control of Agricultural Pests and Diseases - PMC

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7763231/>

^{6 7 10 11 12 18 23 26} SciELO Brazil - Efficacy of *Purpureocillium lilacinum* AUMC 10149 as biocontrol agent against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infecting tomato plant Efficacy of *Purpureocillium lilacinum* AUMC 10149 as biocontrol agent against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infecting tomato plant

<https://www.scielo.br/j/bjb/a/GNX5mWgysYcyp8hTdjSXN4t/>

^{8 9 22 32} Optimizing the efficacy of *Paecilomyces lilacinus* (strain 251) for the control of root-knot nematodes - PubMed

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15759437/>

^{13 31} Impact of *Paecilomyces lilacinus* Inoculum Level and Application Time on Control of *Meloidogyne incognita* on Tomato - PubMed

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19287585/>

^{14 15 16 17 30 33 34} journals.flvc.org

<https://journals.flvc.org/nematropica/article/download/64426/62094/0>

19 20 21 Effects of *Paecilomyces lilacinus* and *Bacillus pumilus* on stem nematode and rhizosphere bacterial communities of sweet potato | Scientific Reports

<https://www.nature.com/articles/s41598-024-74268-w>

24 25 28 Microsoft Word - 3805-3810.doc

http://www.plantarchives.org/SPL%20ISSUE%2020-2/624__3805-3810_.pdf

27 [curreweb.com](https://www.curreweb.com)

<https://www.curreweb.com/mejar/mejar/2015/37-41.pdf>

29 Evaluation of *Paecilomyces lilacinus* as a Biocontrol Agent of *Meloidogyne javanica* on Tobacco - PubMed

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19290257/>