المكافحة الحيوية لنيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.)

دليل علمي متكامل لفهم بيولوجيا نيماتودا تعقد الجذور وتطبيق استراتيجيات المكافحة الحيوية في الزراعة العضوية والإدارة المتكاملة للآفات (IPM)

Biological Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.)

A Comprehensive Scientific Guide to Understanding Root-Knot Nematode Biology and the Applications of Biological Control in Organic Agriculture and Integrated Pest Management (IPM)

Prepared by:

Dr. Doaa Ahmed Soliman

Researcher in Environmental Agricultural Sciences

Dr. Hasnaa Fawzy El-Nagar

Dr. Omer El-Hawary

Under the Supervision of:

Prof. Dr. Mohammed Fathy Salem

Professor of Plant Pathology and Biopesticides, Consultant of Organic Farming, Head of Organic Farming Research and Production Unit, Head of Medicinal Mushroom Research and Production Unit, Head of Mycotoxins Research Group, Department of Environmental Biotechnology, Genetic Engineering and Biotechnology Research Institute

الفصل الأول

أولًا: مقدمة

تُعد نيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne* spp. من أخطر النيماتودا المتطفلة على النباتات، وتمثل إحدى أهم المشكلات التي تواجه الإنتاج الزراعي في مختلف أنحاء العالم. ويرجع ذلك إلى اتساع مداها العائلي، إذ تستطيع إصابة أكثر من ٣٠٠٠ نوع نباتي، تشمل محاصيل الخضر والفاكهة والمحاصيل الحقلية ونباتات الزينة والنباتات الطبية والعطرية، مما يجعلها من أكثر مسببات الأمراض النباتية انتشارًا وخطورة (Jones *et al.*, 2013؛ Sharma *et al.*, 2024).

وتشير التقديرات الحديثة إلى أن النيماتودا المتطفلة على النباتات تتسبب في خسائر اقتصادية عالمية تُقدَّر بعشرات المليارات من الدولارات سنويًا نتيجة انخفاض إنتاجية المحاصيل وتدهور جودتها، وتُعد أنواع جنس *Meloidogyne* من أكثر الأنواع مساهمةً في هذه الخسائر بسبب انتشارها الواسع وقدرتها الكبيرة على التكيف مع مختلف الظروف البيئية والعوائل النباتية (Jones *et al.*, 2013).

تعيش نيماتودا تعقد الجذور في التربة، وتقضي معظم دورة حياتها مرتبطة بجذور النباتات. وتبدأ الإصابة عندما تفقس اليرقة المعدية الثانية (Second-stage juvenile, J2) من البيضة، ثم تتحرك داخل مسام التربة بحثًا عن الجذور الفتية، مسترشدةً بالإفرازات الجذرية الغنية بالأحماض الأمينية والسكريات والأحماض العضوية. وبعد وصولها إلى الجذر، تستخدم الرمح الفموي (Stylet) لاختراق خلايا البشرة، ثم تهاجر بين خلايا القشرة حتى تصل إلى الأسطوانة الوعائية، حيث تستقر وتبدأ مرحلة التطفل الدائم (Abad *et al.,* 2003؛ Caillaud *et al*., 2008).

ولا يقتصر تأثير النيماتودا على التغذية المباشرة، بل تُفرز مجموعة معقدة من البروتينات المؤثرة (Effector Proteins) والإنزيمات التي تعيد برمجة الخلايا النباتية على المستوى الفسيولوجي والجزيئي، فتتحول بعض الخلايا الوعائية إلى خلايا عملاقة (Giant Cells) ذات نشاط أيضي مرتفع، تعمل كمراكز تغذية متخصصة تمد النيماتودا بالغذاء طوال دورة حياتها. ويُعد تكوين هذه الخلايا من أكثر صور التفاعل بين الطفيل والعائل تعقيدًا في أمراض النبات (Bellafiore, and Briggs, 2010؛ Abad et al., 2003).

ويؤدي تكوين الخلايا العملاقة إلى انقسام وتضخم الخلايا المحيطة بها، فتظهر العقد أو الأورام الجذرية (Root Galls)، وهي العلامة التشخيصية الأكثر تميزًا للإصابة بنيماتودا تعقد الجذور. وتؤثر هذه العقد بصورة مباشرة في كفاءة الجهاز الجذري، حيث تقلل من قدرة النبات على امتصاص الماء والعناصر الغذائية، كما تعيق انتقال العصارة داخل الأوعية الناقلة، مما ينعكس على جميع العمليات الفسيولوجية للنبات (Caillaud *et al.,* 2008؛ Tapia-Vázquez *et al.*, 2022).

ونتيجة لذلك تظهر على النباتات المصابة أعراض متعددة تشمل الذبول أثناء فترات الحرارة، واصفرار الأوراق، وضعف النمو، وتقزم النباتات، وانخفاض معدل البناء الضوئي، وضعف التزهير والعقد، وصغر حجم الثمار، وانخفاض كمية وجودة المحصول. كما تؤدي الإصابة الشديدة إلى زيادة حساسية النبات للإجهادات البيئية مثل الجفاف والملوحة، فضلًا عن زيادة قابليته للإصابة بالفطريات والبكتيريا الممرضة الموجودة بالتربة (Jones Abd-Elgawad, 2021 *et al*., 2013).

واعتمدت برامج مكافحة النيماتودا لعقود طويلة على مبيدات النيماتودا الكيميائية، إلا أن الاستخدام المكثف لهذه المركبات أدى إلى العديد من المشكلات البيئية والصحية، من أهمها تلوث التربة والمياه، والتأثير السلبي في الكائنات الحية النافعة، وارتفاع تكاليف الإنتاج، إضافةً إلى حظر استخدام عدد كبير من المبيدات في العديد من الدول نتيجة آثارها السمية على الإنسان والبيئة (Abd-Elgawad, 2021 & Oka, 2010).

ومن هذا المنطلق اتجهت الأبحاث الحديثة نحو تطوير استراتيجيات مكافحة أكثر أمانًا واستدامة تعتمد على الإدارة المتكاملة للآفات (Integrated Pest Management, IPM)، ويُعد استخدام الكائنات الحية الدقيقة النافعة أحد أهم محاور هذه الاستراتيجيات. وتشمل هذه الكائنات البكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR)، وفطريات الميكوريزا الشجيرية (AMF)، والفطريات المتطفلة على النيماتودا، والبكتيريا المنتجة للمركبات الحيوية، والتي أثبتت قدرتها على خفض كثافة النيماتودا وتحسين نمو النبات وتنشيط المقاومة الجهازية وتقليل الاعتماد على المبيدات الكيميائية (Sharma *et al*., 2024؛ Khan *et al*., 2023؛ Bhat *et al*., 2023).

وتستعرض هذه النشرة العلمية أحدث الاتجاهات في المكافحة الحيوية لنيماتودا تعقد الجذور، مع توضيح بيولوجية النيماتودا، وآلية إحداث الإصابة، والأضرار الفسيولوجية والاقتصادية، وأهم وسائل المكافحة التقليدية والحديثة، مع التركيز على استخدام الكائنات الحية الدقيقة النافعة بوصفها ركيزة أساسية لتحقيق زراعة مستدامة، والحفاظ على خصوبة التربة، وتعزيز الإنتاج الزراعي مع تقليل الآثار البيئية للمبيدات الكيميائية (Aioub *et al*., 2022؛ Sharma *et al*., 2024؛ Pontes *et al.*, 2024).

نبذة تاريخية واكتشاف النيماتودا

التسمية والملاحظة الأولى : تعود أولى الملاحظات العلمية لأعراض تعقد الجذور إلى العالم Berkeley عام ١٨٥٥، متمثلة في رصد تشوهات نسيجية على جذور نبات الخيار المنزرع تحت نظام الصوب الزجاجية في إنجلترا.

تأسيس الجنس العلمي : قام العالم Göldi في عام ١٨٨٧ بوصف وتأسيس الجنس لأول مرة تحت المسمى اللاتيني *Meloidogyne* المستوحى من الإغريقية ويعني "الأنثى شبيهة التفاح أو الكمثرى"، وذلك بعد عزل العينات من جذور أشجار البن في البرازيل.

الانفصال التصنيفي الحاسم : ظل الجنس متداخلاً ومربكاً مع نيماتودا الحويصلات (Heterodera) لعقود، حتى نجح العالم Chitwood عام ١٩٤٩ في وضع حد فاصل وفصل جنس *Meloidogyne* تصنيفياً بشكل نهائي وثابت. اعتمد في ذلك على "بصمة النقوش المحيطة بفتحة المجمع للأنثى البالغة (Perineal Patterns) ، واصفاً حينها خمسة أنواع رئيسية.

ثانيًا: التسلسل الزمني لظهور وانتشار نيماتودا تعقد الجذور في مصر

تُعد نيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.) من أكثر النيماتودا المتطفلة انتشارًا في الأراضي الزراعية المصرية، وقد ارتبط تاريخ اكتشافها وتطور الدراسات الخاصة بها بالتوسع في علم النيماتولوجيا الزراعية في مصر خلال القرن العشرين. ومع تطور وسائل التشخيص من الفحص المورفولوجي إلى التقنيات الجزيئية، أصبح من الممكن التعرف بدقة على الأنواع المنتشرة وتتبع انتشارها الجغرافي، الأمر الذي ساعد على وضع برامج أكثر كفاءة للإدارة والمكافحة (Ibrahim & Mokbel, 2009؛ Ibrahim et al., 2023).

أولًا: خمسينيات القرن العشرين (١٩٥٠s)

بداية الدراسات النيماتولوجية في مصر

شهدت خمسينيات القرن الماضي بداية الاهتمام العلمي بالنيماتودا النباتية في مصر، بالتزامن مع إنشاء أقسام متخصصة في الجامعات والمراكز البحثية لدراسة أمراض النبات والكائنات المتطفلة في التربة. وخلال هذه الفترة سُجلت أولى الملاحظات حول وجود نيماتودا تعقد الجذور على عدد من المحاصيل الاقتصادية، خاصة محاصيل الخضر والقطن وبعض أشجار الفاكهة. واعتمد التشخيص آنذاك على الصفات المورفولوجية، مثل شكل الأنثى، والذكر، واليرقة الثانية، بالإضافة إلى نمط المنطقة العجانية (Perineal Pattern)، والذي كان يُعد الوسيلة الأساسية للتمييز بين الأنواع قبل ظهور التقنيات الجزيئية الحديثة (Ibrahim & Mokbel, 2009).

ثانيًا: الستينيات والسبعينيات

تأكيد الأهمية الاقتصادية للنيماتودا خلال الستينيات والسبعينيات توسعت الدراسات الحقلية بصورة ملحوظة، وأثبتت أن نيماتودا تعقد الجذور أصبحت من أهم مسببات الأمراض التي تهدد إنتاج العديد من المحاصيل المصرية. وأظهرت المسوحات إصابة محاصيل الطماطم، والباذنجان، والفلفل، والخيار، والبطاطس، والقطن، والموالح، والفاصوليا، وغيرها من المحاصيل ذات الأهمية الاقتصادية. كما تبين أن الأراضي الخفيفة جيدة التهوية كانت أكثر ملاءمة لانتشار النيماتودا نتيجة سهولة حركة اليرقات المعدية داخلها (Ibrahim & Mokbel, 2009). وفي هذه المرحلة بدأ الباحثون في تقدير الخسائر الاقتصادية الناتجة عن الإصابة، وربطها بانخفاض كفاءة المجموع الجذري وتراجع امتصاص الماء والعناصر الغذائية، مما أسهم في زيادة الاهتمام بإدراج مكافحة النيماتودا ضمن برامج إدارة أمراض النبات.

ثالثًا: الثمانينيات والتسعينيات

التوسع الزراعي وزيادة انتشار النيماتودا مع بدء تنفيذ مشروعات استصلاح الأراضي الصحراوية في مصر، ازداد انتشار نيماتودا تعقد الجذور بصورة ملحوظة، خاصة في الأراضي الرملية المستصلحة حديثًا. ويُعزى ذلك إلى أن التربة الرملية تتميز بارتفاع المسامية وانخفاض الكثافة الظاهرية، مما يسهل حركة اليرقات الثانية (J2) بين حبيبات التربة ووصولها إلى الجذور. كما أن زراعة العوائل الحساسة بصورة متكررة، وقلة التنوع في الدورات الزراعية، ساعدا على زيادة الكثافة العددية للنيماتودا عامًا بعد عام. وخلال هذه الفترة أصبحت النيماتودا تُعد من أهم العوامل المحددة لإنتاجية الخضر والفاكهة في الأراضي الجديدة، خاصة في مناطق الاستصلاح الزراعي (Abd-Elgawad, 2021؛ Ibrahim *et al*., 2023).

رابعًا: الفترة من ٢٠٠٦ إلى ٢٠٠٩

أكبر المسوحات الحقلية في شمال مصر مثلت هذه الفترة نقطة تحول مهمة في دراسة نيماتودا تعقد الجذور، حيث أجرى الباحثان إبراهيم ومقبل مسحًا ميدانيًا واسعًا في محافظتي الإسكندرية والبحيرة. وشملت الدراسة ١١٧٦ عينة نباتية جُمعت من ٨٠ نباتًا عائلًا، واستهدفت تحديد الأنواع المنتشرة ومدى انتشارها على المحاصيل المختلفة. وأظهرت النتائج أن الأنواع السائدة في شمال مصر كانت:

-*Meloidogyne incognita*.(النوع الأكثر انتشارًا)

-*Meloidogyne javanica*.

-*Meloidogyne arenaria*.

كما أكدت الدراسة أن *M. incognita* يمثل النوع الغالب في معظم المحاصيل، لما يمتلكه من قدرة عالية على التكيف مع الظروف البيئية المصرية واتساع نطاق عوائله النباتية (Ibrahim & Mokbel, 2009).

خامسًا: الفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٢٢

تأكيد استمرار انتشار النيماتودا على المحاصيل والحشائش أثبتت الدراسات الحديثة أن نيماتودا تعقد الجذور ما زالت تتصدر قائمة النيماتودا النباتية الأكثر انتشارًا في شمال مصر. ولم تقتصر الإصابة على المحاصيل الاقتصادية فقط، بل سجلت أيضًا على عدد كبير من الحشائش البرية، التي تعمل كعوائل بديلة للنيماتودا خلال الفترات التي تغيب فيها المحاصيل الرئيسية. وتُعد هذه النتيجة ذات أهمية كبيرة، لأن وجود الحشائش المصابة يسمح للنيماتودا بإكمال دورة حياتها واستمرار بقائها في التربة، مما يزيد من صعوبة برامج المكافحة ويجعل إزالة الحشائش جزءًا أساسيًا من الإدارة المتكاملة للآفة (Ibrahim *et al*., 2023؛ AbdelRazek & Balah, 2023).

سادسًا: عام ٢٠٢٣

أول تسجيل لنوع *Meloidogyne enterolobii* في مصر وشمال أفريقيا شهد عام ٢٠٢٣ حدثًا علميًا بالغ الأهمية، حيث سُجل لأول مرة في مصر وشمال أفريقيا النوع *Meloidogyne enterolobii* على أشجار الجوافة بمحافظة البحيرة. وأكد الباحثون التشخيص باستخدام كل من:

- الصفات المورفولوجية.

- تحليل تفاعل البلمرة المتسلسل (PCR).

- تسلسل الحمض النووي (DNA Sequencing).

ويُعد هذا النوع من أخطر أنواع نيماتودا تعقد الجذور عالميًا، نظرًا لقدرته العالية على التكاثر، وسرعة انتشاره، وإصابته لعدد كبير من العوائل النباتية، بالإضافة إلى قدرته على كسر جينات المقاومة الموجودة في العديد من الأصناف النباتية، وهو ما يمثل تحديًا كبيرًا أمام برامج المكافحة التقليدية (Ibrahim *et al*., 2023).

تشير الأدلة العلمية إلى أن نيماتودا تعقد الجذور أصبحت من أكثر الآفات استقرارًا وانتشارًا في مصر، خاصة في الأراضي الرملية والمستصلحة حديثًا. ويعود ذلك إلى اتساع مداها العائلي، وملاءمة الظروف المناخية، واستمرار وجود العوائل النباتية والحشائش، إلى جانب قدرتها الكبيرة على التكيف مع الظروف البيئية المختلفة. كما أن تسجيل النوع *Meloidogyne enterolobii* يمثل إنذارًا يستوجب تعزيز برامج الرصد والمكافحة الحيوية والإدارة المتكاملة للحد من انتشاره وحماية المحاصيل الاقتصادية.

أسباب انتشار نيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.) في الأراضي الزراعية المصرية والعوامل المؤثرة في زيادة الإصابة

من خلال الجولات الميدانية والمتابعة المستمرة للعديد من المزارع في مختلف المناطق الزراعية، تُعد الإصابة بنيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne spp.*) من أكثر المشكلات المرضية شيوعًا على نطاق واسع، حيث تصيب العديد من محاصيل الخضر والفاكهة والمحاصيل الحقلية والنباتات الطبية والعطرية، مسببةً خسائر اقتصادية قد تكون كبيرة في حال غياب برامج الإدارة المناسبة. ويُعزى الانتشار الواسع لهذه النيماتودا في الأراضي المصرية إلى تداخل مجموعة من العوامل البيئية والزراعية التي توفر الظروف المثالية لنموها وتكاثرها واستمرار دورة حياتها، ومن أهم هذه العوامل:

١- ملائمة الظروف المناخية

تتميز مصر بارتفاع درجات الحرارة خلال معظم أشهر العام، وهي ظروف مثالية لتطور نيماتودا تعقد الجذور، إذ تؤدي درجات الحرارة التي تتراوح بين (٢٥–٣٠°م) إلى تسريع فقس البيض، وزيادة نشاط اليرقات المعدية (J_2)، وإكمال دورة الحياة خلال فترة قصيرة، مما يسمح بظهور عدة أجيال خلال الموسم الزراعي الواحد.

٢- انتشار الاراضي الرملية والخفيفة

تسود في العديد من مناطق الاستصلاح الزراعي أراضٍ رملية ذات مسامية عالية، وهي بيئة مناسبة لحركة اليرقات المعدية بين حبيبات التربة، مما يسهل وصولها إلى الجذور وزيادة فرص الإصابة مقارنة بالأراضي الثقيلة.

٣- الزراعة الاحادية (Monoculture)

يؤدي تكرار زراعة المحصول نفسه أو محاصيل تنتمي إلى العائلة النباتية نفسها لعدة مواسم متتالية إلى توفير عائل دائم للنيماتودا، مما يؤدي إلى تراكم أعدادها تدريجيًا وارتفاع شدة الإصابة عامًا بعد عام.

٤- استخدام شتلات أو تقاوي مصابة

تُعد الشتلات والمواد الزراعية المصابة من أهم وسائل انتقال النيماتودا إلى الأراضي السليمة، حيث تنتقل البيوض أو اليرقات مع الجذور أو التربة العالقة بها، فتؤسس بؤر إصابة جديدة يصعب السيطرة عليها لاحقًا.

٥- انتقال التربة الملوثة

قد تنتقل النيماتودا بسهولة من حقل إلى آخر عن طريق التربة العالقة بالمعدات الزراعية، أو مياه الري، أو بقايا النباتات المصابة، مما يسهم في اتساع نطاق انتشارها داخل المناطق الزراعية.

٦- غياب او ضعف تطبيق الدورة الزراعية

تؤدي الزراعة المستمرة للمحاصيل العائلة دون إدخال محاصيل غير قابلة للإصابة إلى استمرار تكاثر النيماتودا وبقائها في التربة، في حين تُعد الدورة الزراعية من أهم الوسائل التي تسهم في خفض كثافتها العددية.

٧- وجود العوائل النباتية البديلة

لا تقتصر إصابة نيماتودا تعقد الجذور على المحاصيل الاقتصادية فحسب، بل تمتد إلى العديد من الحشائش والنباتات البرية، التي تعمل كعوائل بديلة وتحافظ على استمرار دورة حياة النيماتودا بين المواسم الزراعية.

٨- انخفاض النشاط الحيوي للتربة

يؤدي الإفراط في استخدام الأسمدة المعدنية مع قلة إضافة المادة العضوية إلى تراجع أعداد الكائنات الدقيقة النافعة في منطقة الجذور، مثل البكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR) والفطريات المتطفلة على النيماتودا، مما يخل بالتوازن الحيوي الطبيعي ويهيئ الظروف لزيادة أعداد النيماتودا.

٩- عدم اجراء تحليل التربة قبل الزراعة

يُعد إهمال تحليل التربة للكشف عن النيماتودا قبل الزراعة أحد أهم أسباب تفاقم الإصابة، إذ قد تُزرع محاصيل شديدة الحساسية في أراضٍ موبوءة دون اتخاذ التدابير الوقائية اللازمة، مما يؤدي إلى خسائر كبيرة منذ بداية الموسم.

الأثار المترتبة على انتشار نيماتودا تعقد الجذور

تُصنف نيماتودا تعقد الجذور ضمن أخطر مسببات الأمراض النباتية في الأراضي الزراعية المصرية، نظرًا لقدرتها على إحداث تغيرات فسيولوجية وتشريحية عميقة في الجهاز الجذري. إذ تؤدي إصابة الجذور إلى تكوين العقد الجذرية(Root Galls) ، الناتجة عن تحفيز تكوين الخلايا العملاقة(Giant Cells) ، مما يضعف كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية ويؤثر سلبًا في نمو النبات وإنتاجيته. كما تؤدي الإصابة إلى زيادة قابلية النباتات للإصابة بمسببات الأمراض الأخرى الموجودة في التربة، وخاصة الفطريات الممرضة مثل *Fusarium spp.* و *Rhizoctonia solani*، وهو ما يؤدي إلى تكوين ما يُعرف بمجمعات الأمراض(Disease Complexes) ، والتي تُضاعف من شدة الأضرار وتزيد من خسائر المحصول.

للحد من انتشار نيماتودا تعقد الجذور وتقليل تأثيرها الاقتصادي، يُوصى بتطبيق برنامج متكامل لإدارة النيماتودا (Integrated Nematode Management, INM)، يشمل إجراء تحليل دوري للتربة قبل الزراعة، واستخدام شتلات سليمة وخالية من الإصابة، والالتزام بالدورة الزراعية، وتحسين خصوبة التربة بإضافة المادة العضوية، مع الاعتماد على عوامل المكافحة الحيوية مثل الفطريات والبكتيريا النافعة والأسمدة الحيوية، واستخدام الأصناف المقاومة عند توافرها، إلى جانب المتابعة الدورية لمستوى الإصابة واتخاذ الإجراءات المناسبة في الوقت الملائم.

التصنيف العلمي والخصائص المورفولوجية لنيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.)

<u>أولًا: التصنيف العلمي (Taxonomic Classification)</u>

تنتمي نيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.) إلى مجموعة النيماتودا المتطفلة على النباتات، وهي من أكثر أجناس النيماتودا انتشارًا وأهمية اقتصادية على مستوى العالم. ويضم هذا الجنس أكثر من ١٠٠ نوع موصوف، إلا أن عددًا محدودًا منها هو المسؤول عن معظم الإصابات الزراعية، ومن أهمها: *Meloidogyne incognita*، و*Meloidogyne javanica*، و*Meloidogyne arenaria*، و*Meloidogyne hapla*، بالإضافة إلى النوع *Meloidogyne enterolobii* الذي يُعد من أكثر الأنواع ضراوةً وقد سُجل لأول مرة في مصر عام ٢٠٢٣ (Jones *et al*., 2013؛ Ibrahim *et al*., 2023).

ويُوضح الجدول التالي التصنيف العلمي لنيماتودا تعقد الجذور:

المرتبة التصنيفية	التصنيف
المملكة	Animalia
الشعبة	Nematoda
الطائفة	Chromadorea
الرتبة	Tylenchida
تحت الرتبة	Tylenchina
فوق الفصيلة	Tylenchoidea
الفصيلة	Meloidogynidae
الجنس	Meloidogyne

أهم الأنواع: *M. incognita, M. javanica, M. arenaria, M. hapla, M. enterolobii*

وتتميز جميع أنواع هذا الجنس بامتلاكها رمحًا فمويًا (Stylet) قويًا تستخدمه لاختراق الخلايا النباتية وامتصاص محتوياتها، كما تتشابه في دورة الحياة وآلية التطفل، مع وجود اختلافات في القدرة المرضية، والمدى العائلي، والانتشار الجغرافي، والاستجابة لظروف البيئة المختلفة (Jones *et al*., 2013 ؛Abad *et al*., 2003).

الأنواع العالمية الأكثر انتشاراً

تستأثر أربعة أنواع رئيسية من الدراسات الفيتوباثولوجية (أمراض النبات) نظراً لمدى عوائلها الواسع للغاية وقدرتها التدميرية العالية:

١. Meloidogyne incognita (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949

- **الاسم الشائع :** نيماتودا تعقد الجذور الجنوبية.(Southern Root-Knot Nematode)
- **طبيعة التكاثر** : التوالد البكري الميتوزي الإجباري.(Mitotic Parthenogenesis)
- **الأهمية البيئية :** تُصنف كالنوع الأكثر خطورة وتدميراً في البيئات الاستوائية والمدارية والزراعات المحمية.

٢. *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949

- **الاسم الشائع :** نيماتودا تعقد الجذور الجاوية.(Javanese Root-Knot Nematode)
- **النطاق البيئي :** تتداخل بقوة مع النوع السابق، وتنتشر بكثافة في المناطق الدافئة والتربة الرملية خفيفة القوام.

٣. ***Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949**

- **الاسم الشائع :** نيماتودا تعقد جذور الفول السوداني.(Peanut Root-Knot Nematode)
- **السلالات الفيزيولوجية** : تمتلك سلالتين (Race 1 & Race 2) تتباينان في القدرة الاختراقية والندبة الإمراضية على محاصيل الفول السوداني، التبغ، والبطاطس.

٤. ***Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949**

- **الاسم الشائع :** نيماتودا تعقد الجذور الشمالية.(Northern Root-Knot Nematode)
- **التمايز البيئي وطبيعة التكاثر** : تنفرد بقدرتها العالية على تحمل برودة الطقس والانتشار في المناطق المعتدلة والباردة، وتتكاثر بالتوالد البكري الميوزي الاختياري.(Meiotic Parthenogenesis)

٥. الأنواع الحديثة والمستحدثة عالمياً

٦. مع الطفرة التقنية في فحص الأنماط الإنزيمية للاستيريز (Esterase Phenotypes) وتسلسل الحمض النووي (مثل باركود الجينات الميتوكوندرية coxI و coxII والـ (rDNA$، تمكن علماء النيماتودا (Nematologists) من رصد وتوصيف أنواع جديدة بدقة بالغة استناداً إلى أدوات التصنيف المتكامل (Integrative Taxonomy):

١. **الأضرار الاقتصادية والفسيولوجية.**

اسم النوع العلمي المستحدث	العالم المكتشف الموصّف	السنة	الأهمية الاقتصادية والبيولوجية والعائل النباتي
Meloidogyne enterolobii	Yang & Eisenback	1983	آفة حديثة طارئة شديدة الخطورة؛ تتميز بقدرتها على كسر جينات المقاومة الواسعة (مثل جين Mi-1في الطماطم.(
Meloidogyne baetica	Castillo *et al.*	2003	وُصفت في إسبانيا كطفيلي متخصص على أشجار الزيتون(*Olea europaea*) ، مسببةً تدهوراً حاداً للمجموع الجذري في حوض المتوسط.
Meloidogyne hispanica	Hirschmann	1986	أثارت اهتماماً واسعاً حديثاً بعد تسجيل تفشيها في البرتغال وإسبانيا والعديد من دول أوروبا على محاصيل الخضر.
Meloidogyne luci	Carneiro *et al.*	2014	فُصلت جزيئياً وبيوكيميائياً بعد خلط تصنيفي طويل مع *M. ethiopica*. تنتشر في

اسم النوع العلمي المستحدث	العالم المكتشف الموصّف	السنة	الأهمية الاقتصادية والبيولوجية والعائل النباتي
			أوروبا اللاتينية وإيران، وتهاجم الفاصوليا والطماطم.
Meloidogyne haplanaria	Eisenback *et al*.	2003	وُصفت في تكساس (الولايات المتحدة)، وتهاجم بشدة نباتات الفول السوداني والطماطم كاسرةً مقاومة بعض الأصناف.
Meloidogyne floridensis	Nomura & Esser	2006	نوع مستحدث جزيئياً في فلوريدا وكاليفورنيا، يتميز بقدرته العالية على كسر مقاومة أصول الخوخ والنكتارين المعتمدة.
Meloidogyne vitis	Zhuo *et al*.	2021	عُرفت بواسطة التصنيف المتكامل في الصين كآفة واعدة متطفلة على جذور العنب.(Vitis vinifera)
Meloidogyne karsseni	Giti *et al*.	2023	نوع جديد كلياً تم وصفه ونشره في Journal of Nematology، ممثلاً إضافة تصنيفية هامة للجنس.
Meloidogyne silvestris	Aisu, Karssen & De Oliveira	2026	أحدث نوع وثق بالكامل عبر التوصيف الجيني الميتوكوندري الشامل (Mitogenome characterization) وفصل جينات cox1، مظهرةً معالم مورفولوجية فريدة في نقوش الأنثى.

الفصل الثاني

<u>ثانيًا: الوصف المورفولوجي (Morphology) – دورة الحياة – آلية الاصابة وتكوين الخلايا العملاقه:</u>

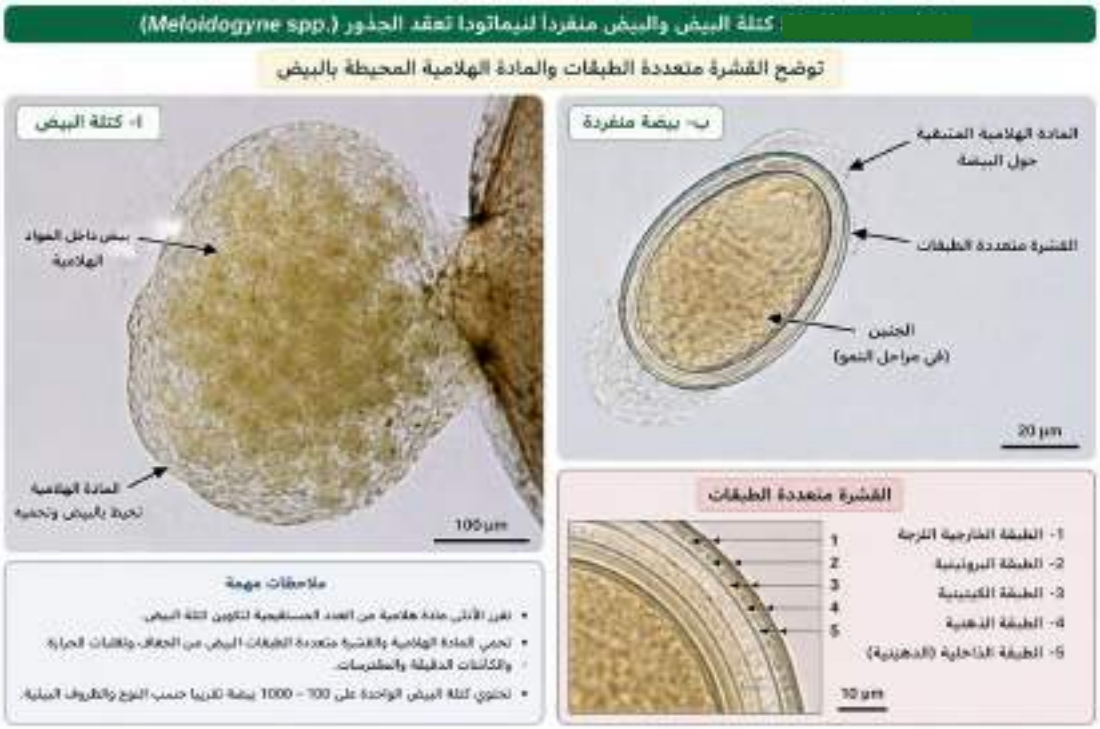
تمر نيماتودا تعقد الجذور بعدة أطوار نمو تختلف في الشكل والحجم والوظيفة، وتشمل: البيضة، واليرقة الأولى (J1)، واليرقة الثانية (J2)، واليرقتين الثالثة والرابعة (J3 وJ4)، ثم الطور الكامل (الذكر أو الأنثى). ويُعد التعرف على هذه الأطوار أمرًا أساسيًا في تشخيص الإصابة وفهم بيولوجية النيماتودا.

١- البيضة (Egg)

تُعد البيضة أول أطوار دورة الحياة، وهي تمثل المرحلة التي يبدأ منها تكوين جيل جديد من النيماتودا. تكون البيضة بيضاوية أو بيضاوية ممدودة، ويبلغ طولها في المتوسط نحو ٨٠–١٠٠ ميكرومتر، بينما يتراوح عرضها بين ٣٥–٤٥ ميكرومتر. وتحيط بها قشرة شفافة متعددة الطبقات تحمي الجنين من الظروف البيئية غير الملائمة، مثل الجفاف والتغيرات الحرارية، كما تساعد على استمرار حيوية البيض في التربة لفترات قد تمتد لعدة أشهر في الظروف المناسبة (Perry & Moens, 2013). وتضع الأنثى البيض داخل كتلة هلامية (Gelatinous Egg Mass) تفرزها الغدد المستقيمية، وتحتوي الكتلة الواحدة عادةً على ٣٠٠–١٠٠٠ بيضة، وقد يزيد العدد في الظروف البيئية المثالية. وتؤدي هذه المادة الهلامية دورًا مهمًا في حماية البيض من الجفاف ومن بعض الكائنات المفترسة والكائنات الدقيقة الموجودة في التربة (Abad *et al*., 2003). داخل البيضة يتطور الجنين تدريجيًا حتى تتكون اليرقة الأولى (J1)، والتي تنسلخ داخل البيضة لتتحول إلى اليرقة الثانية (J2)، وهي الطور المعدي القادر على الخروج إلى التربة وإصابة النبات.

أهمية البيضة في المكافحة الحيوية

ويُعد لون كتلة البيض في البداية أبيض شفافًا، ثم يتحول تدريجيًا إلى اللون البني الفاتح مع تقدم العمر. تُعد كتلة البيض الهدف الأول للعديد من عوامل المكافحة الحيوية، حيث تستطيع بعض الفطريات مثل *Purpureocillium lilacinum* و*Pochonia chlamydosporia* اختراق قشرة البيض وإفراز إنزيمات محللة مثل الكيتيناز والبروتياز، مما يمنع فقس اليرقات ويؤدي إلى انخفاض تعداد النيماتودا في التربة (Sharma *et al*., 2024؛ Ali *et al*., 2024).



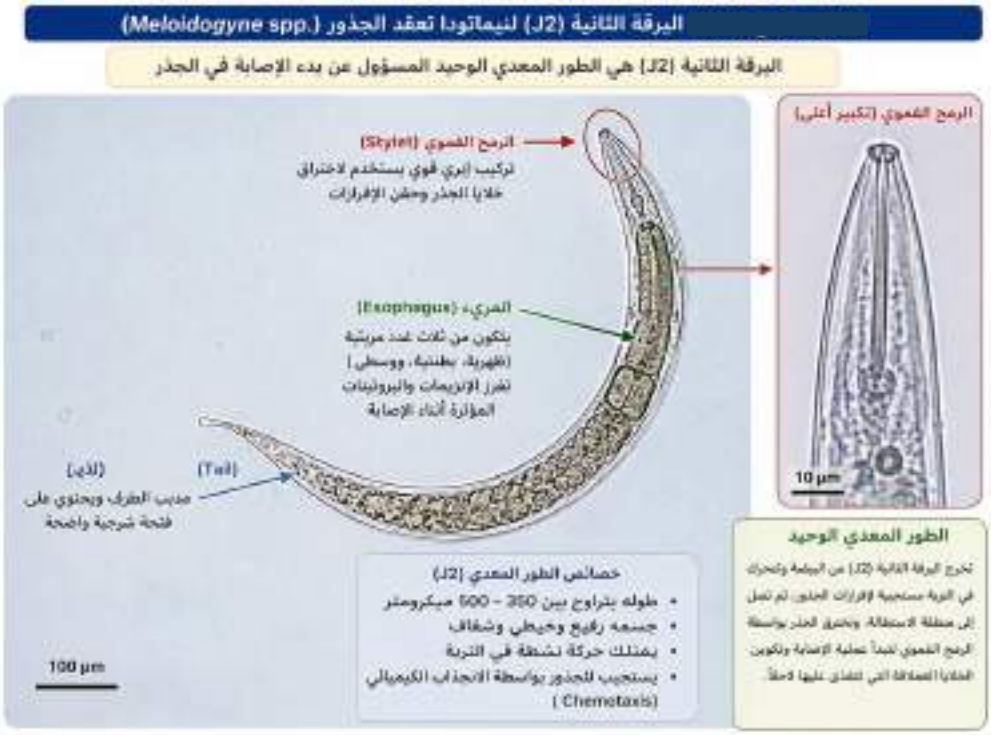
٢- اليرقة الأولى (First-stage Juvenile, J1)

تتكون اليرقة الأولى بالكامل داخل البيضة، ولا تخرج إلى التربة. وخلال هذه المرحلة يحدث أول انسلاخ (Molt)، لتتحول اليرقة إلى الطور الثاني (J2)، ولذلك نادرًا ما تُشاهد اليرقة الأولى أثناء الفحص المعملي، ولا تمثل طورًا معديًا أو متحركًا.

وتتميز هذه المرحلة بأهميتها في اكتمال التطور الجنيني، إذ تعتمد سرعة تحولها إلى اليرقة الثانية على درجة حرارة التربة والرطوبة، حيث يزداد معدل التطور مع توفر الظروف البيئية الملائمة.

٣- اليرقة الثانية (Second-stage Juvenile, J2)

تُعد اليرقة الثانية أهم طور في دورة حياة نيماتودا تعقد الجذور، لأنها الطور المعدي الوحيد القادر على إصابة النبات، ولذلك تُعد الهدف الرئيسي لمعظم وسائل المكافحة. تتميز اليرقة الثانية بجسم دودي رفيع أسطواني، يبلغ طوله في المتوسط ٣٥٠–٥٠٠ ميكرومتر، ويكون شفاف اللون، مدبب الطرفين، مما يسهل حركتها بين حبيبات التربة. ويمثل الرمح الفموي (Stylet) أهم تركيب تشريحي في هذا الطور، إذ يبلغ طوله نحو ١٠–١٥ ميكرومتر، ويستخدم في ثقب خلايا الجذر وحقن الإفرازات الغدية التي تساعد على اختراق الأنسجة النباتية وبداية تكوين الخلايا العملاقة (Bellafiore & Briggs, 2010). وتعتمد اليرقات في تحديد موقع الجذر على المواد الكيميائية التي تفرزها الجذور، مثل السكريات والأحماض الأمينية والأحماض العضوية، وهي ظاهرة تُعرف بالانجذاب الكيميائي (Chemotaxis). وبعد وصولها إلى منطقة استطالة الجذر، تبدأ في اختراق خلايا البشرة، ثم تتحرك بين خلايا القشرة حتى تصل إلى الأسطوانة الوعائية، حيث تستقر بصورة دائمة وتبدأ عملية التطفل (Abad *et al.*, 2003). ونظرًا لأن اليرقة الثانية هي الطور الوحيد المتحرك والمعدي، فإن معظم برامج المكافحة الحيوية تستهدفها بصورة مباشرة، سواء من خلال البكتيريا المنتجة للمركبات السامة للنيماتودا، أو الفطريات المفترسة، أو الكائنات التي تمنع اختراقها للجذور.



٤- اليرقة الثالثة واليرقة الرابعة (J3 وJ4)

بعد أن تنجح اليرقة الثانية (J2) في اختراق الجذر والوصول إلى الأسطوانة الوعائية، تبدأ مرحلة جديدة تختلف تمامًا عن حياتها في التربة. ففي هذه المرحلة تتوقف عن الحركة تقريبًا، وتستقر بالقرب من الخلايا العملاقة (Giant Cells) التي أنشأتها داخل الأنسجة الوعائية، لتبدأ التغذية المستمرة عليها (Abad *et al.*, 2003؛ Caillaud *et al.*, 2008).

وخلال فترة التغذية يحدث الانسلاخ الثاني لتتحول اليرقة الثانية إلى اليرقة الثالثة (J3)، ثم يعقبه الانسلاخ الثالث لتكوين اليرقة الرابعة (J4). وخلال هاتين المرحلتين تحدث تغيرات مورفولوجية وفسيولوجية كبيرة، إذ يفقد الجسم شكله الدودي الطويل تدريجيًا، ويصبح أكثر سمكًا نتيجة تراكم المواد الغذائية القادمة من الخلايا العملاقة. كما يزداد نشاط الجهاز الهضمي والغدد المريئية، ويستمر إفراز البروتينات المؤثرة (Effectors) التي تحافظ على نشاط الخلايا العملاقة وتمنع النبات من تدميرها، مما يضمن استمرار حصول النيماتودا على الغذاء اللازم لإكمال نموها (Bellafiore & Briggs, 2010). وتُعد هاتان المرحلتان من أخطر المراحل داخل الجذر، لأن النيماتودا تكون قد أصبحت مستقرة داخل الأنسجة النباتية، الأمر الذي يجعل تأثير المبيدات التقليدية محدودًا، ويبرز أهمية الكائنات الحيوية القادرة على استعمار منطقة الجذور والتأثير في النيماتودا داخل النبات.

٥- الأنثى البالغة (Adult Female)

تُعد الأنثى البالغة أهم طور في دورة حياة نيماتودا تعقد الجذور، لأنها المسؤولة عن التكاثر ووضع البيض، وبالتالي زيادة تعداد النيماتودا في التربة. تتميز الأنثى بشكلها الكمثري أو الكروي، ويبلغ طولها عادةً ٠,٤–١,٣ مم، بينما يتراوح عرضها بين ٠,٣–٠,٨ مم حسب النوع والعائل النباتي والظروف البيئية (Perry & Moens, 2013). وعلى عكس اليرقة الثانية، لا تستطيع الأنثى الحركة بعد اكتمال نموها، إذ تبقى مثبتة داخل الجذر طوال حياتها، ولا يظهر خارج سطح الجذر سوى الجزء الخلفي من جسمها، الذي يخرج من خلاله البيض داخل كتلة هلامية. وتتميز الأنثى بوجود جهاز تناسلي متطور يشغل معظم مساحة الجسم، حيث تتحول أغلب الطاقة التي تحصل عليها من الخلايا العملاقة إلى إنتاج البيض، لذلك تُعد كفاءة التغذية العامل الأساسي الذي يحدد عدد البيض الذي يمكن للأنثى إنتاجه. وقد يصل عدد البيض الذي تضعه الأنثى الواحدة إلى ١٠٠٠ بيضة أو أكثر في الظروف البيئية المثالية، مما يفسر الزيادة السريعة في كثافة الإصابة خلال موسم زراعي واحد (Jones *et al*., 2013).

المنطقة العجانية (Perineal Pattern)

تُعد المنطقة العجانية من أهم الصفات التشخيصية المستخدمة في التمييز بين أنواع *Meloidogyne*. وهي عبارة عن خطوط جلدية دقيقة تحيط بفتحة الشرج والفرج في الجزء الخلفي من الأنثى، ويختلف شكل هذه الخطوط من نوع لآخر، لذلك اعتمد علماء النيماتولوجيا عليها لعقود طويلة في تصنيف الأنواع قبل انتشار التقنيات الجزيئية. ورغم أن التشخيص الجزيئي أصبح أكثر دقة، فإن دراسة المنطقة العجانية ما زالت تُستخدم على نطاق واسع في المعامل المتخصصة بوصفها وسيلة سريعة ومنخفضة التكلفة للتعرف الأولي على الأنواع (Ibrahim *et al.,* 2023).

٦- الذكر البالغ (Adult Male)

يختلف الذكر اختلافًا كبيرًا عن الأنثى في الشكل والوظيفة. فهو يحتفظ بالشكل الدودي الأسطواني، ويبلغ طوله نحو ١–٢ مم، ويكون أكثر نحافةً وحركةً من الأنثى. وعند اكتمال نموه يغادر الجذر إلى التربة، ولا يتغذى بعد هذه المرحلة، إذ تضمر أجزاء من جهازه الهضمي نتيجة توقف التغذية، وتصبح وظيفته الأساسية هي التلقيح في الأنواع التي يحدث فيها تكاثر جنسي. إلا أن معظم أنواع نيماتودا تعقد الجذور الشائعة، مثل *Meloidogyne incognita* و*M. Javanica*، تتكاثر غالبًا بالتوالد البكري (Parthenogenesis)، أي أن الأنثى تستطيع إنتاج نسل جديد دون الحاجة إلى الإخصاب بواسطة الذكر، ولذلك قد تغيب الذكور تمامًا في كثير من الإصابات الحقلية أو توجد بأعداد قليلة جدًا (Jones *et al*., 2013).

توضح دراسة الصفات المورفولوجية لأطوار نيماتودا تعقد الجذور أن لكل طور خصائص تشريحية ووظيفية مختلفة، وهو ما يفسر اختلاف حساسيته لوسائل المكافحة. ويُعد الطور المعدي الثاني (J2) وكتلة البيض أكثر المراحل استهدافًا في برامج المكافحة الحيوية، بينما تعتمد مكافحة الأطوار الداخلية على استخدام كائنات دقيقة قادرة على استعمار منطقة الجذور أو التطفل المباشر على النيماتودا داخل أنسجة النبات، وهو ما يمثل الأساس العلمي لتطوير استراتيجيات المكافحة الحيوية الحديثة.

دورة الحياة (Life Cycle) لنيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.)

تُعد دورة حياة نيماتودا تعقد الجذور من أكثر دورات الحياة تعقيدًا بين النيماتودا المتطفلة على النباتات، إذ تتضمن سلسلة من التغيرات المورفولوجية والفسيولوجية التي تمكّنها من الانتقال من طور حر المعيشة في التربة إلى طفيل داخلي إجباري يعيش داخل أنسجة الجذر، ويعيد برمجة خلايا النبات لتكوين بيئة غذائية مثالية لنموه وتكاثره (Jones *et al.*, 2013؛ Abad *et al.*, 2003). وتعتمد سرعة إكمال دورة الحياة على عدة عوامل، أهمها درجة حرارة التربة، والرطوبة، ونوع العائل النباتي، حيث تستغرق الدورة الكاملة في الظروف المثالية (٢٥–٣٠°م) نحو ٢٥–٣٥ يومًا، بينما قد تمتد إلى أكثر من شهرين عند انخفاض درجات الحرارة (Perry & Moens, 2013). وتبدأ دورة الحياة بالبيضة، وتنتهي بإنتاج جيل جديد من البيض، لتتكرر الدورة مرات عديدة خلال الموسم الزراعي، وهو ما يفسر الزيادة السريعة في أعداد النيماتودا إذا لم تُطبق برامج مكافحة فعالة.

المرحلة الأولى: البيضة (Egg Stage)

تبدأ دورة الحياة عندما تضع الأنثى البالغة مئات البيضات داخل كتلة هلامية تحيط بها وتحميها من العوامل البيئية. وتحتوي كل بيضة على جنين يمر بمراحل انقسام متتابعة حتى يتكون الطور اليرقي الأول (J1)، الذي ينسلخ داخل البيضة ليصبح اليرقة الثانية (J2)، وهي الطور المعدي (Abad *et al.*, 2003). وتؤدي القشرة متعددة الطبقات للبيضة دورًا مهمًا في حماية الجنين من الجفاف وتقلبات درجات الحرارة، كما تحد من تأثير كثير من الكائنات الدقيقة الموجودة في التربة. ولهذا السبب تُعد مرحلة البيضة من أكثر المراحل مقاومة للعوامل البيئية، وقد تظل البيوض حية عدة أشهر إذا توفرت الظروف المناسبة.

ومن أهم الكائنات المستخدمة:

أولًا: الفطر *Purpureocillium lilacinum*

يُعد من أشهر الفطريات المتطفلة على بيض النيماتودا، حيث يلتصق بسطح البيضة، ثم يخترق القشرة بواسطة خيوطه الفطرية، ويُفرز إنزيمات محللة مثل:

-Chitinase

-Protease

-Lipase

وتؤدي هذه الإنزيمات إلى تحليل مكونات القشرة، ثم اختراقها والوصول إلى الجنين، مما يؤدي إلى موته قبل الفقس (Ali *et al.*, 2024).

ثانيًا: الفطر *Pochonia chlamydosporia*

يمتلك آلية مشابهة، إلا أنه يتميز بقدرته العالية على البقاء في التربة لفترات طويلة، ولذلك يُعد من أفضل عوامل المكافحة الحيوية طويلة المدى.

كما يستطيع استعمار منطقة الريزوسفير، فيبقى قريبًا من الجذور ويهاجم البيض بمجرد وضعه (Sharma *et al.*, 2024).

ثالثًا: بعض أنواع *Bacillus*

لا تخترق هذه البكتيريا البيضة مباشرة، لكنها تفرز مركبات حيوية وإنزيمات تقلل نسبة الفقس، كما تُكوّن غشاءً حيويًا (Biofilm) حول الجذور، يحد من نجاح اليرقات في الوصول إلى النبات.

عند نجاح الفطريات أو البكتيريا في إصابة البيض:

- ينخفض معدل الفقس.

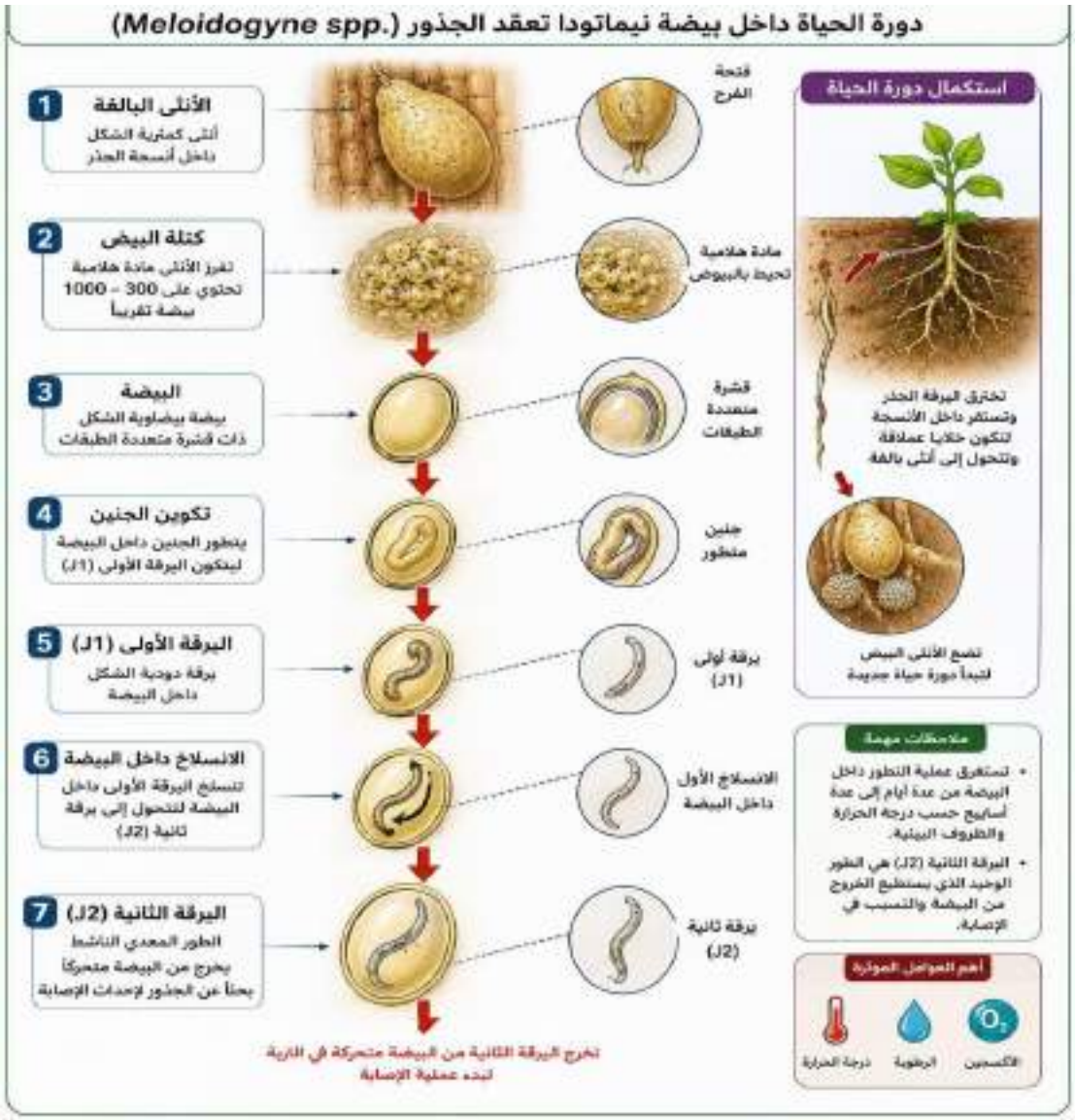
- يقل عدد اليرقات الثانية (J2) في التربة.

- تنخفض فرصة إصابة الجذور.

- يقل تكوين العقد الجذرية.

- تنخفض الكثافة العددية للنيماتودا في الموسم التالي.

ولهذا السبب تُعد هذه المرحلة أفضل نقطة للتدخل الوقائي في برامج الإدارة المتكاملة للآفات.



تشير الدراسات الحديثة إلى أن استخدام الفطريات المتطفلة على البيض مع البكتيريا المحفزة لنمو النبات يحقق تأثيرًا تآزريًا، إذ ينخفض معدل فقس البيض بصورة أكبر مقارنة باستخدام كل عامل حيوي منفردًا، وهو ما يعزز نجاح برامج المكافحة الحيوية ضمن نظم الإدارة المتكاملة للآفات والزراعة العضوية (Pontes *et al.*, 2024؛ Sharma *et al.*, 2024).

المرحلة الثانية: اليرقة المعدية الثانية (Second-Stage Juvenile, J2)

بداية الإصابة الحقيقية للنبات تُعد اليرقة الثانية (Second-stage juvenile, J2) أخطر أطوار نيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.)، إذ تمثل الطور المعدي الوحيد (Infective Stage) القادر على إصابة النباتات وإحداث العدوى. ولهذا السبب تُركز معظم برامج المكافحة الحيوية والإدارة المتكاملة للآفات على استهداف هذا الطور قبل نجاحه في اختراق الجذور (Sharma *et al.*, 2024؛ Jones *et al.*, 2013). بعد اكتمال نمو الجنين داخل البيضة، تنسلخ اليرقة الأولى (J1) داخل البيضة لتتحول إلى اليرقة الثانية (J2)، ثم تفرز إنزيمات تُضعف الغلاف الداخلي للبيضة، وتخرج إلى التربة عندما تتوافر الظروف البيئية المناسبة، خاصة عند درجات حرارة تتراوح بين ٢٥ و٣٠°م مع توفر رطوبة كافية وأكسجين مناسب (Perry & Moens, 2013). وتكون اليرقة الثانية في هذه المرحلة ذات جسم أسطواني رفيع شفاف، يبلغ طوله نحو ٣٥٠–٥٠٠ ميكرومتر، ومزودة برمح فموي (Stylet) قوي وغدد مريئية متطورة، وهي التراكيب التي تمثل أدواتها الرئيسة لاختراق الجذور وبدء عملية التطفل (Abad *et al.*, 2003). قد يبدو للوهلة الأولى أن اليرقة تتحرك عشوائيًا داخل التربة، إلا أن الدراسات الحديثة أثبتت أنها تعتمد على نظام متطور من الاستشعار الكيميائي (Chemotaxis) يمكّنها من تحديد موقع الجذور بدقة. فجذور النباتات تفرز بصورة مستمرة مجموعة من المركبات العضوية في منطقة الريزوسفير، منها:

- السكريات البسيطة.
- الأحماض الأمينية.
- الأحماض العضوية.
- المركبات الفينولية.
- بعض الهرمونات النباتية.

وتعمل هذه المركبات كإشارات كيميائية تستشعرها اليرقة بواسطة مستقبلات حسية موجودة في منطقتي الرأس والشفاه، فتبدأ بالتحرك تدريجيًا نحو أعلى تركيز لهذه المواد حتى تصل إلى سطح الجذر (Bellafiore & Briggs, 2010). وتُعد هذه الظاهرة من أهم أسباب نجاح النيماتودا في إصابة النباتات حتى عندما تكون أعدادها منخفضة في التربة.

منطقة الريزوسفير

الريزوسفير (Rhizosphere) هي المنطقة المحيطة بالجذور، وتُعد من أكثر البيئات نشاطًا في التربة، إذ تحتوي على ملايين الكائنات الدقيقة النافعة والممرضة. وفي هذه المنطقة يحدث أول صراع بين النيماتودا والكائنات الحيوية المستخدمة في المكافحة. فبينما تحاول اليرقة الوصول إلى الجذر، تكون البكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR) وفطريات الميكوريزا قد استعمرت سطح الجذور، وبدأت في تكوين حاجز حيوي يقلل من فرص نجاح اليرقات في الوصول إلى خلايا النبات (Aioub *et al.*, 2022). ولهذا السبب يُعد نجاح استعمار الريزوسفير بواسطة الكائنات النافعة أحد أهم عوامل نجاح المكافحة الحيوية.

اختراق اليرقة للجذر

بعد وصولها إلى منطقة استطالة الجذر (Zone of Elongation)، تبدأ اليرقة في تنفيذ عملية اختراق معقدة تتكون من عدة مراحل متتابعة:

أولًا: تثبيت الجسم

تلتصق اليرقة بسطح الجذر بواسطة رأسها، ثم تبدأ في تحريك الجزء الأمامي من الجسم بصورة متكررة حتى تثبت الرمح الفموي في خلايا البشرة.

ثانيًا: استخدام الرمح الفموي (Stylet)

الرمح الفموي عبارة عن تركيب صلب يشبه الإبرة الدقيقة، تستخدمه اليرقة لثقب جدران الخلايا النباتية. ولا يقتصر دوره على إحداث الثقب فقط، بل يعمل أيضًا كقناة لحقن الإفرازات القادمة من الغدد المريئية داخل الخلايا النباتية (Abad *et al*., 2003).

ثالثًا: إفراز الإنزيمات

تفرز اليرقة مجموعة من الإنزيمات، منها:

- السليولاز (Cellulase).

- البكتيناز (Pectinase).

- إنزيمات محللة للهيميسليلوز.

وتؤدي هذه الإنزيمات إلى تليين الجدار الخلوي للنبات، مما يسمح لليرقة بالتحرك بين الخلايا دون إحداث تمزق واسع في الأنسجة. ولهذا السبب توصف نيماتودا تعقد الجذور بأنها طفيليات بين خلوية (Intercellular Migrants) خلال مرحلة الهجرة الأولى. يمتلك النبات نظامًا دفاعيًا قادرًا على اكتشاف كثير من الكائنات الممرضة، إلا أن نيماتودا تعقد الجذور طورت وسائل متقدمة للتهرب من هذه الدفاعات. فأثناء الاختراق تفرز اليرقة بروتينات خاصة تُعرف باسم البروتينات المؤثرة (Effector Proteins). وتنتقل هذه البروتينات إلى داخل الخلايا النباتية، حيث تقوم بـ:

- تثبيط بعض الجينات الدفاعية.

- تقليل إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS).

- خفض استجابة المناعة الأولية للنبات.

- تهيئة الخلايا لاستقبال النيماتودا.

وبذلك تتمكن اليرقة من مواصلة هجرتها داخل الجذر دون أن تواجه استجابة دفاعية قوية في المراحل الأولى من الإصابة (Bellafiore, and Briggs, 2010؛ Caillaud *et al*., 2008).

المكافحة الحيوية

تُعرف المكافحة الحيوية بأنها استخدام الكائنات الحية أو نواتجها الحيوية للحد من أعداد الآفات أو تثبيط نشاطها إلى مستويات تقل فيها الخسائر الاقتصادية، مع الحفاظ على التوازن البيئي وعدم الإضرار بالكائنات غير المستهدفة. وفي حالة نيماتودا تعقد الجذور، تعتمد المكافحة الحيوية على مجموعة واسعة من الكائنات الدقيقة، من أهمها:

- البكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR) مثل *Pseudomonas fluorescens* و*Bacillus subtilis*.

- الفطريات المتطفلة على البيض والإناث مثل *Purpureocillium lilacinum* و *Pochonia chlamydosporia*.

- فطريات الميكوريزا الشجيرية (AMF) مثل *Glomus mosseae* و*Gigaspora gigantea*.

- بعض أنواع الأكتينوميسيتات والخمائر والكائنات الدقيقة الأخرى ذات النشاط المضاد للنيماتودا (Bhat *et al*., 2023؛ Khan *et al*., 2023). وتتميز هذه الكائنات بتعدد آليات عملها، فهي قد تهاجم النيماتودا مباشرة، أو تنافسها على الغذاء ومواقع الاستعمار، أو تُحفز الجهاز الدفاعي للنبات، أو تُحسن نمو الجذور، مما يجعل تأثيرها أكثر استدامة من الاعتماد على وسيلة مكافحة واحدة.

ثالثًا: أهمية المكافحة الحيوية لنيماتودا تعقد الجذور ودورها في الزراعة العضوية والإدارة المتكاملة للآفات

أصبحت المكافحة الحيوية لنيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne* spp.) أحد أهم الاتجاهات الحديثة في وقاية النبات، نتيجة التحديات التي صاحبت الاعتماد طويل الأمد على المبيدات الكيميائية. فمع تزايد الاهتمام العالمي بإنتاج غذاء آمن، والحفاظ على الموارد الطبيعية، وتقليل الأثر البيئي للأنشطة الزراعية، اتجهت الأبحاث والبرامج الزراعية إلى تطوير وسائل مكافحة تعتمد على الكائنات الحية الدقيقة النافعة والمواد الطبيعية، بما يتوافق مع مبادئ الزراعة المستدامة (Sharma *et al*., 2024, and Abd-Elgawad, 2021).

<u>المكافحة الحيوية ضرورة وليست خيارًا</u>

خلال العقود الماضية اعتمدت مكافحة النيماتودا بصورة رئيسية على المبيدات الكيميائية، إلا أن هذا الاعتماد أدى إلى العديد من المشكلات، من أبرزها:

- تلوث التربة والمياه الجوفية ببقايا المبيدات.

- انخفاض التنوع الحيوي للكائنات الدقيقة النافعة في منطقة الجذور.

- الإضرار بالحشرات والكائنات غير المستهدفة.

- ارتفاع تكلفة برامج المكافحة.

- تشديد القيود الدولية على استخدام العديد من مبيدات النيماتودا بسبب آثارها السمية على الإنسان والبيئة (Oka, 2010؛ Abd-Elgawad, 2021). وقد دفعت هذه التحديات الباحثين إلى تطوير بدائل آمنة، يكون هدفها إدارة النيماتودا وليس القضاء التام عليها، لأن النظم البيئية الزراعية تعتمد على وجود توازن طبيعي بين الكائنات الحية المختلفة.

<u>أهمية المكافحة الحيوية في الزراعة العضوية</u>

تعتمد الزراعة العضوية على إنتاج محاصيل ذات جودة عالية باستخدام وسائل طبيعية تحافظ على خصوبة التربة وصحة الإنسان والبيئة، مع الامتناع عن استخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية الصناعية. ولذلك تُعد المكافحة الحيوية أحد الركائز الأساسية لهذا النظام الزراعي.

وتؤدي الكائنات الدقيقة النافعة عدة أدوار تجعلها مثالية للزراعة العضوية، منها:

- خفض كثافة النيماتودا دون ترك متبقيات كيميائية في التربة أو المحصول.

- المحافظة على التوازن الحيوي في منطقة الريزوسفير.

- زيادة التنوع الميكروبي النافع، مما يحسن خصوبة التربة على المدى الطويل.

- تحسين بناء التربة وزيادة نشاطها الحيوي.

- رفع كفاءة امتصاص العناصر الغذائية، وخاصة الفوسفور والحديد والزنك.

- تقليل الحاجة إلى الأسمدة المعدنية نتيجة زيادة كفاءة الاستفادة من العناصر الموجودة بالتربة (Aioub *et al*., 2022؛ Pontes *et al*., 2024).

كما أثبتت الدراسات أن النباتات المرتبطة بفطريات الميكوريزا أو البكتيريا المحفزة للنمو تصبح أكثر قدرة على تحمل الإجهادات البيئية مثل الجفاف والملوحة وارتفاع درجات الحرارة، وهي عوامل تزداد أهميتها في ظل التغيرات المناخية العالمية (Sharma *et al*., 2024).

المكافحة الحيوية والإدارة المتكاملة للآفات (IPM)

تعرف الإدارة المتكاملة للآفات (Integrated Pest Management, IPM) بأنها استراتيجية تعتمد على دمج عدة وسائل متوافقة بيئيًا لإبقاء أعداد الآفة أقل من الحد الاقتصادي الحرج، مع تقليل الاعتماد على المبيدات الكيميائية. وفي حالة نيماتودا تعقد الجذور، لا تعتمد الإدارة المتكاملة على وسيلة واحدة، وإنما تجمع بين:

- استخدام شتلات سليمة وخالية من الإصابة.

- تطبيق الدورة الزراعية مع محاصيل غير عائلة.

- التخلص من الحشائش التي تعمل كعوائل بديلة.

- تحسين خواص التربة وإضافة المادة العضوية.

- استخدام الأصناف المقاومة عند توافرها.

- الاستعانة بالكائنات الحيوية النافعة.

- اللجوء إلى المبيدات الكيميائية فقط عند الضرورة القصوى ووفق التوصيات الفنية (Abd-Elgawad, 2021؛ Khan *et al*., 2023). ويُعد دمج المكافحة الحيوية داخل برامج الإدارة المتكاملة من أكثر الاستراتيجيات نجاحًا، لأن الكائنات الدقيقة النافعة لا تقتصر على خفض أعداد النيماتودا، بل تُحسن أيضًا نمو النبات وصحة التربة، مما يؤدي إلى زيادة كفاءة النظام الزراعي بأكمله. تعتمد الإدارة المتكاملة Integrated Nematode) (Managementعلى الموازنة بين عدة ركائز أساسية أسس لها العلماء تاريخياً:

1.المكافحة الفيزيائية (التعقيم الشمسي والحراري)

- **Katan *et al*. (1976)**: أول من أسس علمياً لتقنية التعقيم الشمسي للتربة (Soil Solarization) عبر تغطية التربة بالبلاستيك الشفاف(Polyethylene) ، مما يرفع حرارة التربة إلى حدود قاتلة ليرقات الجيل الثاني (J2) والبيض.
- **Satour (2003)**: وثق نجاح تطبيق هذه التقنية في البيئات الحارة بشمال إفريقيا ومصر كبديل بيئي آمن لغاز بروميد الميثيل المحظور دولياً.

2.المكافحة الزراعية والوراثية(Host Resistance & Cultural Practices)

- **Gilbert & McGuire (1956) :** حددا أولى بوادر جينات المقاومة الطبيعية المستخلصة من الأصناف البرية للطماطم(*Solanum lycopersicum*) ، والمتمثلة في جين المقاومة الشهير (Mi-1) الذي اعتمدت عليه برامج التربية العالمية لمنع النيماتودا من تكوين الخلايا المغذية.
- **Williamson (1998)**: قامت بفك الشفرة الجزيئية لجين المقاومة Mi-1، وشرحت ميكانيكية استجابة فرط الحساسية (Hypersensitive Response - HR) التي تؤدي لموت الخلايا النباتية المحيطة برأس النيماتودا لمنعها من التغذية والاستقرار.
- **Chitwood (1951) :**صاغ نظام الدورات الزراعية الصارمة(Crop Rotation) ، مبرهناً على أن زراعة محاصيل غير عائلة (كالنجيليات) لمدة موسمين متتاليين كفيلة بخفض مخزون البيض واليرقات في التربة بنسبة تتجاوز ٨٠.%

3.المكافحة الكيميائية الصديقة للبيئة(Modern Bionematicides)

- **Taylor (1971) :**حدد مستويات الحد الاقتصادي الحرج (Economic Threshold) للنيماتودا، ودعا لتقنين استخدام المبيدات الكيميائية الفوسفورية العشوائية، وربط التطبيق بتخطي اليرقات حاجزاً كمتراً في العينات (مثل: ١٠٠ يرقية لكل ٢٥٠ جم تربة) .
- **Lahm *et al*. (2013) :**قاد تطوير مادة **الفلوبرام (Fluopyram)** ، وهو مركب كيميائي حديث أحدث طفرة أكاديمية كونه يثبط طاقة التنفس في الميتوكوندريا للنيماتودا (Complex II inhibitor) بجرعات منخفضة، دون تدمير الأحياء الدقيقة النافعة في الفلورا الطبيعية للتربة.

تساهم الكائنات الدقيقة النافعة في نجاح الادارة المتكاملة من خلال عدة آليات متزامنة، أهمها:

١. التطفل المباشر على بيض النيماتودا والإناث، مما يقلل من أعدادها في التربة.
٢. إنتاج إنزيمات مثل الكيتيناز والبروتياز التي تُضعف جدار البيض وتحد من فقسه.
٣. إفراز مركبات حيوية ذات تأثير سام أو مثبط للنيماتودا.
٤. المنافسة على الغذاء ومواقع الاستعمار في منطقة الجذور.
٥. تحفيز المقاومة الجهازية المستحثة (ISR)، مما يزيد قدرة النبات على مقاومة الاختراق.
٦. تحسين نمو الجذور وزيادة كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية.
٧. تنشيط المجتمع الميكروبي النافع في الريزوسفير، بما يعزز التوازن الحيوي ويقلل فرص استقرار مسببات الأمراض (Ali *et al*., 2024 ؛Bhat *et al*., 2023).

إن تعدد هذه الآليات يفسر سبب تفوق برامج المكافحة الحيوية التي تعتمد على أكثر من كائن حي دقيق، مثل الدمج بين فطريات الميكوريزا وبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* أو بين البكتيريا المحفزة للنمو والفطريات المتطفلة على النيماتودا، حيث تحقق هذه التوليفات تأثيرًا تآزريًا يفوق تأثير كل كائن منفردًا. أصبحت المكافحة الحيوية اليوم حجر الأساس في برامج مكافحة نيماتودا تعقد الجذور، خاصة في نظم الزراعة العضوية والإدارة المتكاملة للآفات، إذ توفر وسيلة فعالة وآمنة ومستدامة للحد من الإصابة، مع تحسين صحة النبات وخصوبة التربة والحفاظ على التنوع الحيوي. وتشير أحدث الدراسات إلى أن نجاح هذه الاستراتيجية يزداد عند دمج أكثر من عامل حيوي مع الممارسات الزراعية السليمة، وهو ما يمثل التوجه العالمي نحو إنتاج زراعي مستدام قادر على مواجهة تحديات الأمن الغذائي والتغيرات المناخية (Sharma *et al*., 2024؛ Pontes *et al*., 2024).

أولًا: فطريات الميكوريزا (AMF)

قبل وصول اليرقات إلى الجذر، تكون خيوط الميكوريزا قد انتشرت حول الجذور وداخل القشرة. وتؤدي هذه الفطريات عدة وظائف دفاعية:

- تكوين حاجز ميكانيكي يقلل من اختراق اليرقات.

- زيادة سمك جدران الخلايا.

- تحفيز إنتاج مركبات الفينولات واللجنين.

- رفع نشاط إنزيمات الدفاع النباتية مثل البيروكسيداز والبوليفينول أوكسيداز. كما تزيد من كفاءة امتصاص الفوسفور، مما يحسن قوة المجموع الجذري ويجعل النبات أكثر قدرة على تحمل الإصابة (Siddiqui *et al.,* 2001؛ Sharma *et al.,* 2024).

ثانيًا: بكتيريا *Pseudomonas fluorescens*

تستعمر هذه البكتيريا منطقة الريزوسفير بسرعة، وتكوّن غشاءً حيويًا (Biofilm) يغطي أجزاءً من سطح الجذر.

وتقوم بعدة وظائف في الوقت نفسه:

- إفراز مضادات حيوية تقلل نشاط النيماتودا.

- إنتاج مركبات سامة للنيماتودا بتركيزات منخفضة.

- إفراز سيدروفورات (Siderophores) تحد من توفر الحديد للكائنات الممرضة.

- إنتاج الأوكسينات التي تُحفز نمو الجذور.

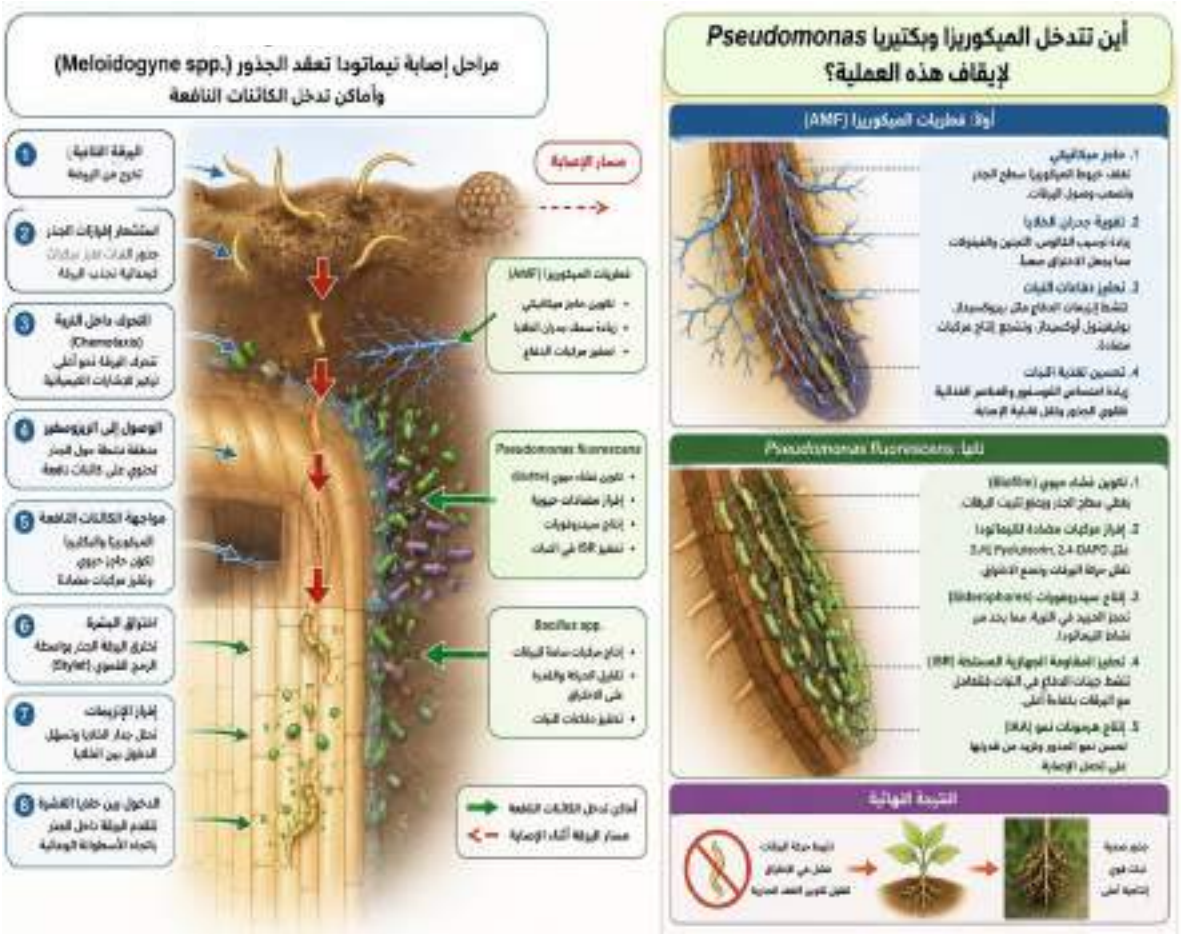
- تنشيط المقاومة الجهازية المستحثة (Induced Systemic Resistance, ISR).

وبذلك يصبح النبات أكثر استعدادًا لمقاومة الاختراق حتى قبل وصول اليرقة إليه (Aioub *et al*., 2022؛ Ali *et al*., 2024).

ثالثًا: بكتيريا *Bacillus* spp.

تتميز أنواع *Bacillus* بإنتاج مجموعة واسعة من المركبات الحيوية، مثل:- Surfactin &Iturin& Fengycin وتُضعف هذه المركبات حركة اليرقات، وتقلل قدرتها على الوصول إلى الجذور، كما تُحفز النبات على إنتاج بروتينات دفاعية تحد من نجاح الإصابة (Bhat *et al*., 2023).

تمثل اليرقة الثانية نقطة التحول الحاسمة في دورة حياة نيماتودا تعقد الجذور، فهي المرحلة التي تحدد نجاح الإصابة أو فشلها. وكلما أمكن تعطيل حركة اليرقة أو منعها من اختراق الجذور باستخدام الكائنات الدقيقة النافعة، انخفضت شدة الإصابة وتراجع تكوين العقد الجذرية، وهو ما يفسر الأهمية الكبيرة لاستهداف هذا الطور في برامج المكافحة الحيوية الحديثة.



الخلاصة والتوصيات

تُعد نيماتودا تعقد الجذور (*Meloidogyne spp.*) من أخطر الآفات التي تهدد الإنتاج الزراعي، لما تسببه من أضرار مباشرة للجذور وانخفاض في كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية، مما ينعكس سلبًا على كمية وجودة المحصول. وأثبتت الدراسات الحديثة أن المكافحة الحيوية باستخدام الكائنات الدقيقة النافعة، مثل بكتيريا PGPR وفطريات الميكوريزا والفطريات المتطفلة على النيماتودا، تمثل بديلًا آمنًا وفعالًا للمبيدات الكيميائية، وتسهم في تعزيز صحة النبات واستدامة التربة. كما أن دمج هذه الوسائل ضمن برامج الإدارة المتكاملة للآفات (IPM) يحقق أفضل النتائج في الحد من الإصابة وتقليل الخسائر الاقتصادية.

وتوصي هذه النشرة بإجراء تحليل دوري للتربة قبل الزراعة، واستخدام شتلات سليمة، والالتزام بالدورة الزراعية، والاعتماد على عوامل المكافحة الحيوية مع تحسين خصوبة التربة وإزالة الحشائش العائلة، بما يضمن خفض كثافة النيماتودا وتحقيق إنتاج زراعي مستدام وصديق للبيئة.

المراجع العلمية:

- Aisu, J., Karssen, G., and De Oliveira, D. A. S. (2026). "Integrative taxonomy and mitogenome characterization of the root-knot nematode *Meloidogyne silvestris*". Scientific Reports.
- Ali, M. A., Ameen, H. H., and Elkelany, U. S. (2024). Biological management of root-knot nematodes using beneficial microorganisms: Recent advances. Biological Control, 197, 105640.
- Sharma, I. P., Sharma, A., Kumar, R., and Singh, B. (2024). Biological control strategies for sustainable management of root-knot nematodes. Frontiers in Plant Science, 15, 1389452.
- Pontes, N. C., Dias-Arieira, C. R., and Ribeiro, R. C. F. (2024). Biological control of Meloidogyne spp.: Current advances and future perspectives. Plants, 13, 912.
- Bhat, M. A., Fayaz, M., and Ahmad, P. (2023). Beneficial microbes in sustainable management of plant-parasitic nematodes. Frontiers in Microbiology, 14, 1248756.
- Ibrahim, I. K. A., AbdelRazek, A. S., and Balah, M. A. (2023). First report of Meloidogyne enterolobii infecting guava in Egypt and North Africa. Journal of Nematology, 55, e2023-XX.
- Balah, M. A. and AbdelRazek, A. S. (2023). Associate plant parasitic nematodes to weed species in some neuly reclaimed land. Scientific Reports, 13(1), 21923.
- Khan, M. R., Mohiddin, F. A., and Khan, S. M. (2023). Integrated management of root-knot nematodes using beneficial microorganisms. Agronomy, 13, 1874.
- Aioub, A. A. A., Abdelhameed, R. E., and Elsayed, H. A. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi as eco-friendly tools against root-knot nematodes. Journal of Fungi, 8, 1036.
- Abd-Elgawad, M. M. M. (2021). Management of plant-parasitic nematodes: Current status and future prospects. Plants, 10(9), 1915.

- Perry, R. N., and Moens, M. (Eds.). (2013). Plant Nematology (2nd ed.). CABI Publishing.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M. L., and Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology, 14(9), 946–961.
- Lahm, G. P., Deshmukh, S. S., and Cordova, D. (2013). Fluopyram: A novel succinate dehydrogenase inhibitor (SDHI) nematicide for the control of root-knot nematodes. Pest Management Science, 69(12), 1321-1327.
- Bellafiore, S., and Briggs, S. P. (2010). Nematode effectors and plant responses to infection. Current Opinion in Plant Biology, 13(4), 442–448.
- Hooks, C. R., Wang, K. H., Ploeg, A., and McSorley, R. (2010). Management of plant-parasitic nematodes on horticultural crops using marigolds (*Tagetes* spp.). *Crop Protection*, 29(1), 1-10.
- Oka, Y. (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments:A review. Applied Soil Ecology, 44(2), 101–115.
- Ibrahim, I. K. A., and Mokbel, A. A. (2009). Plant-parasitic nematodes associated with cultivated plants in northern Egypt. Nematologia Mediterranea, 37, 135–143.
- Caillaud, M. C., Dubreuil, G., Quentin, M., Perfus-Barbeoch, L., Lecomte, P., de Almeida Engler, J., and Favery, B. (2008). Root-knot nematodes manipulate plant cell functions during infection. Journal of Experimental Botany, 59(4), 779–788.
- Abad, P., Favery, B., Rosso, M. N., and Castagnone-Sereno, P. (2003). Root-knot nematode parasitism and host response: Molecular basis of a sophisticated interaction. Molecular Plant Pathology, 4(4), 217–224.
- Satour, M. M. (2003). Soil solarization: A sustainable alternative to methyl bromide in Egyptian agriculture. Egyptian Journal of Phytopathology, 31(1), 15-28.
- Siddiqui, Z. A., Akhtar, M. S., and Futai, K. (2001). Symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria for the suppression of root-knot nematodes. Biology and Fertility of Soils, 33(4), 295–301.
- Sharon, E., Bar-Eyal, M., Chet, I., Herrera-Estrella, A., Kleifeld, O., and Spiegel, Y. (2001). Biocontrol of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma* isolates. Phytopathology, 91(7), 687-693.
- Siddiqui, Z. A., and Mahmood, I. (1999). Role of bacteria in the management of plant-parasitic nematodes: A review. Bioresource Technology, 69(2), 167-179.
- Kerry, B. R., and Crump, D. H. (1998). The role of *Pochonia chlamydosporia* in the natural control of cyst and root-knot nematodes. Nematologica, 44(4), 389-401.

- Williamson, V. M. (1998). Root-knot nematode resistance genes in tomato and their potential for future agriculture. Annual Review of Phytopathology, 36(1), 277-293.
- Eisenback, J. D., and Triantaphyllou, H. H. (1991). "Root-knot Nematodes: Meloidogyne Species and Races". Manual of Agricultural Nematology.
- Jatala, P. (1986). Biological control of plant-parasitic nematodes. Annual Review of Phytopathology, 24(1), 157-189.
- **Windham, M. T., Windham, G. L., & Williams, W. P. (1986).** Effects of *Trichoderma* spp. on corn growth and *Meloidogyne incognita* reproduction. *Phytopathology*, 76(4), 439-442.
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., and Grinstein, A. (1976). Solar heating by clear polyethylene mulching for the control of soilborne diseases. Phytopathology, 66(5), 683-688.
- Taylor, A. L. (1971). Introduction to research on plant-parasitic nematodes. FAO Plant Protection Bulletin, 19, 49-56.
- Gilbert, J. C., and McGuire, D. C. (1956). Inheritance of resistance to severe root-knot nematode conditions in tomato. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 68, 437-442.
- Chitwood, B. G. (1951). The association of plant-parasitic nematodes with plant diseases. *The Cornell Veterinarian*, 41(1), 46-55.
- *Chitwood, B. G. (1949). "Root-knot nematodes—Part I. A revision of the genus Meloidogyne Goeldi, 1887." Proceedings of the Helminthological Society of Washington.*
- Goldi, E.A. (1887). Relatorio Sobre aolestia do cafeeiro na provincial do Rio de Janeiro.Archivos do Nuseu Nacional do Rio de Janeiro,8,7-121.
- Berkeley, M.J. (1855). Note on a disease of cucumbers. The Gardeners hronicle, 14, 220.