

植物线虫病害诊断与治疗

DIAGNOSIS AND MANAGEMENT
OF PLANT NEMATODE DISEASES



福建科学技术出版社



植物线虫病害诊断与治疗

DIAGNOSIS AND MANAGEMENT
OF PLANT NEMATODE DISEASES

张绍升 编著



福建科学技术出版社

(闽)新登字 03 号

图书在版编目(CIP)数据

植物线虫病害诊断与防治/张绍升编著. —福州:福建科学技术出版社,1999. 9

ISBN 7-5335-1514-5

I. 植… II. 张… III. ①线虫感染-植物病害-诊断②线虫感染-植物病害-防治 IV. S432. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 28534 号

福建科学技术出版社出版、发行

(福州市东水路 76 号)

各地新华书店经销

福建省科发电脑排版服务公司排版

福建地质印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 20.5 印张 2 插页 506 千字

1999 年 9 月第 1 版

1999 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—1 200

ISBN 7-5335-1514-5/Q · 15

定价:27.50 元

书中如有印装质量问题,可直接向承印厂调换

序

植物寄生线虫是植物重要病原类群之一，几乎各种栽培植物都可受其害，并能造成重大损失；不仅如此，许多寄生线虫还能和其他菌类复合侵染植物，甚至携带、传播病毒，加重植物的病害。因此，植物寄生线虫愈益受到重视，研究队伍也日趋强大。

张绍升副教授从事植物寄生线虫的教学、科研有年，特别对根结线虫的研究颇有建树。由他编著的这部《植物线虫病害诊断与治理》以植物线虫病害的诊断、监测和防治为主线，既涉及线虫的形态学、生态学和线虫研究的普通方法学，也涉及病害的诊断学、流行病学和控制原理；并以较大篇幅阐述了由根结线虫、胞囊线虫、穿孔线虫、根腐线虫、茎线虫等 29 属植物线虫所致作物病害的基本要素和防治措施。这是一部内容比较新颖、结构比较合理且具自己特色的学术专著，不仅可供植保实际工作者学习，而且对植保和植病的教学、科研人员也是有用的参考书。相信它的出版将能推动我国植物线虫科学的发展。

福建农业大学教授 谢联辉
中国科学院院士

1999. 2. 21

前 言

植物线虫是一类重要的植物病原生物，能危害粮、棉、油、烟、茶、蔬菜、果树、林木、花卉、药材、牧草和草坪等各种植物，给农、林、牧业生产造成巨大损失。这种损失程度很难精确估计，但是从一些报道中可以得到初步概念。据1971年美国线虫学家协会作物损失委员会统计，美国农作物线虫病引起的年平均损失为10%；1987年线虫学家萨瑟(J. N. Sasser)等估计，每年全世界由线虫造成的作物损失达1 000亿美元以上。我国重要的作物线虫病害有根结线虫病、大豆胞囊线虫病、甘薯茎线虫病、苎麻根腐线虫病；局部地区严重发生的有松材线虫病、粟粒线虫病、小麦根腐线虫病、小麦根瘿线虫病、小麦禾谷胞囊线虫病、珠兰叶斑线虫病、当归麻口病。有些线虫，如甘蔗矮化线虫、水稻潜根线虫、玉米根腐线虫、棉花肾形线虫、荔枝和龙眼拟鞘线虫都普遍发生，这些线虫能引起潜在损失。作者对水稻潜根线虫病造成的损失进行研究，通过线虫接种侵染水稻引起损失率达13.5%；田间用杀线虫剂防治试验稻谷增产率可高达23.6%。此外，花生、果树、烟草等作物进行小面积杀线虫剂防治试验，产量都有明显提高。由此可见，控制和减少植物寄生线虫的危害，是增加作物产量和提高作物品质的一项切实有效的农业生产措施。

我国对植物线虫病害研究有半个多世纪的历程。本世纪20~70年代对小麦粒线虫病、水稻干尖线虫病、粟粒线虫病、甘薯茎线虫病、大豆胞囊线虫病、花生根结线虫病的分布、为害、发生规律和防治技术进行了系统研究。80年代以来我国植物线虫学得到较大发展，许多高等农林院校在植物病理学中加强了植物病原线虫的教学内容，有些高校将植物线虫学列入学位课程，已培养出一批从事植物线虫学研究的硕士和博士。不少省、地(市)农业科研机构开展了植物线虫病害调查和研究工作。1992年成立了中国植物病理学会植物病原线虫专业委员会，在冯志新先生主持下，专业委员会开展了卓有成效的工作，迄今为止召开了四届全国植物线虫学术研讨会，极大地推动了我国植物线虫学的发展。毕志树和李进先生编写了我国第一本《植物线虫学》，方中达先生在《植病研究方法》中介绍了植物线虫学研究法，李清锐、魏嘉典、竺万里、毕志树、陈品三、杨宝君、胡起宇、潘沧桑、陈森玉诸先生相继出版了植物线虫学的有关译著，刘维志先生主编了《植物线虫学研究技术》和《英汉线虫学词汇》，王寿华博士著有《果树线虫学》。这些著作对我国植物线虫学教学和科研起了很好的借鉴和指导作用。近十几年来，我国对水稻、花生、甘薯、烟草、麻类、大豆、谷子、柑桔、桑、茶、蔬菜、药材和森林等作物线虫病的研究取得了可喜成果，初步掌握了我国主要农作物的重要线虫种类和分布，发现了一些新的作物线虫病害和线虫新种，对一些重要作物线虫病害进行了深入研究和有效控制。这些成果为我国植物线虫学进一步发展奠定了坚实基础。

我国是一个农业大国，地域辽阔，具温带、热带和亚热带的多种气候类型，作物种类繁多，耕作制度复杂。这种多样化的农业生态条件也造成了线虫物种的多样性和植物线虫病害的复杂性。随着我国农业耕作制度和栽培方式的变化，植物线虫病害防治在生产上日益重要。为了减少每年由线虫造成的巨大经济损失，需要更多人致力于植物线虫病害的研究和防治工

作。目前,我国植物线虫学专门研究人才较少,在生产上主要依靠各级植物保护部门的技术人员担负植物线虫病害诊断和防治任务。这些实际从事植保工作的技术人员在植物线虫学基础知识和技能训练方面相对薄弱,急需有适合自学和能指导应用的参考书。我国虽然过去出版了一些线虫学译著,但数量少,无法满足生产需求;更缺少以本国研究为基础,着重植物线虫病害诊断和防治的专业书。为此,本书在编写和取材方面尽量从生产实际出发,以病害诊断、监测和防治为主线,努力为读者提供实用性技术和有参考价值的信息资料。希望书中的内容有助于读者开辟新视野,启迪新思路,探索新领域。

全书分三编:上编有4章,介绍植物线虫学基础理论和研究方法。中编有7章,以病原线虫类群为纲,分别阐述几类重要植物病原线虫引起的植物病害、侵染特点、病害循环、病害重要性和经济阈值,以及病害诊断方法和防治措施;虽然有些线虫具有很强的寄生专化性,但是,通常一种线虫可以危害数种,甚至数十种作物,其为害特点、病害症状和防治措施许多是相同或相似的。因此,这种写法不仅避免许多重复论述,也有助于深化对某种或某类线虫危害性的了解。下编有1章,介绍各种作物上的重要寄生线虫种类,因为一种作物可能遭受多种线虫为害,这章线虫名录可以使读者较全面了解某一作物上线虫发生的总体概况。中编与下编配合使用,便于读者在作物线虫种类调查、鉴定和病害诊断时参考。

书后有3个附录,供读者查找有关条目和词汇。过去发现的一些线虫属、种现在其分类地位有些变动。为了便于读者在阅读文献时查对,附录三对一些种名同时列出其同物异名。本书对已有的线虫中文译名进行了核对,也对部分译名作了订正(现译名后的括号中为中文同物异名)。目前我国对植物线虫学名的中文名称尚未统一,本书使用的译名也是暂用名。作者在1996年第四次全国植物线虫学术讨论会上提交了《植物线虫属学名的中文译名商榷》论文,希望能尽快对植物线虫学名的中文名称加以统一。

本书得以出版是全体同行辛勤劳动的共同成果,内容取自所列参考文献和作者的研究结果。为了较好地反映我国植物线虫病害发生情况和植物线虫学研究的发展水平,本书尽量选用我国的研究资料和成果;对于我国目前尚未发现的植物线虫病害,其资料引自国外有关文献,以供参考。作者结合长期从事植物病理学和植物线虫学教学、科研工作的体会,提出了一些自己的研究方法和学术观点。书中的照片和图表,除有特别注明为引用外,均属作者自己摄制和描绘,部分病原线虫形态线条图参考 C. I. H Descriptions of Plant-parasitic Nematodes 一书。

在本书即将出版之际,衷心感谢对本书进行评审、推荐和提供宝贵意见的专家,感谢直接或间接提供参考资料的专家、学者和同行;还要感谢 M. Townsend 博士,他代表版权持有者英联邦农业局国际出版社(CABI Publishin Division)同意复制引用 Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture 书中的部分精美照片和图片。最后衷心感谢我的老师、中国科学院院士谢联辉教授对我的研究和写作给予许多支持和鼓励,并从百忙中抽出宝贵时间为本书作序。

由于水平有限,书中错误和纰漏难免,尚祈读者批评指正。

张绍升

1999年2月于福州

目 录

上编 基础理论与研究法

第一章 植物寄生线虫形态特征及其鉴定	(3)
第一节 形态特征.....	(3)
一、线虫的外部形态.....	(3)
二、线虫的内部系统.....	(9)
第二节 形态度量	(15)
一、测量项目及符号	(15)
二、线虫测量方法和注意事项	(16)
第三节 植物寄生线虫鉴定和分类	(19)
一、鉴定要点	(19)
二、植物线虫分类	(20)
第二章 植物线虫病害发生和诊断	(25)
第一节 植物线虫寄生性和致病性	(25)
一、线虫寄生性	(25)
二、线虫致病性	(28)
三、复合病害和再植病	(29)
第二节 植物线虫病害诊断	(31)
一、植物线虫病诊断	(31)
二、复合病诊断	(36)
三、再植病诊断	(38)
第三章 植物线虫病害监测和治理	(40)
第一节 植物线虫病害监测	(40)
一、植物线虫病害发生特点	(40)
二、植物线虫病害监测的内容	(42)
第二节 植物线虫病害治理	(46)
一、植物检疫	(46)
二、农业防治	(49)
三、物理防治	(52)
四、化学防治	(54)
五、生物防治	(64)
六、植物线虫病害可持续治理	(68)
第四章 植物寄生线虫标本采集和制作	(71)
第一节 植物线虫标本采集、分离和培养	(71)

一、植物线虫标本采集	(71)
二、线虫分离和检查	(72)
三、线虫培养技术	(79)
第二节 植物线虫标本固定、保存和制作	(83)
一、线虫标本固定	(84)
二、线虫玻片标本制作	(86)
三、植物寄生线虫扫描电镜样本制备	(89)

中编 植物线虫病害分述

第五章 异皮科线虫引起的病害	(95)
第一节 根结线虫病害	(95)
一、病原	(95)
二、重要作物病害	(97)
三、生物学特性	(98)
四、病害重要性	(101)
五、病害诊断和防治	(102)
第二节 胞囊线虫病害	(107)
一、病原	(107)
二、重要作物病害	(107)
三、生物学特性	(110)
四、病害重要性	(114)
五、病害诊断和防治	(114)
第三节 球形胞囊线虫病害	(116)
一、病原	(116)
二、重要作物病害	(117)
三、生物学特性	(118)
四、病害重要性	(120)
五、病害诊断和防治	(121)
第六章 根腐科线虫引起的病害	(123)
第一节 穿孔线虫病害	(123)
一、病原	(123)
二、重要作物病害	(123)
三、生物学特性	(126)
四、病害重要性	(126)
五、病害诊断和防治	(127)
第二节 根腐线虫病害	(129)
一、病原	(129)
二、重要作物病害	(129)
三、生物学特性	(133)
四、病害重要性	(133)

五、病害诊断和防治·····	(134)
第三节 潜根线虫病害·····	(136)
一、病原·····	(136)
二、重要作物病害·····	(136)
三、生物学特性·····	(138)
四、病害重要性·····	(139)
五、病害诊断和防治·····	(139)
第四节 珍珠线虫病害·····	(141)
一、病原·····	(141)
二、重要作物病害·····	(142)
三、生物学特性·····	(143)
四、病害重要性·····	(143)
五、病害诊断和防治·····	(144)
第七章 粒科线虫引起的病害·····	(145)
第一节 茎线虫病害·····	(145)
一、病原·····	(145)
二、重要作物病害·····	(145)
三、生物学特性·····	(152)
四、病害重要性·····	(153)
五、病害诊断和防治·····	(154)
第二节 粒线虫病害和亚粒线虫病害·····	(157)
一、病原·····	(157)
二、重要作物病害·····	(157)
三、生物学特性·····	(159)
四、病害重要性·····	(159)
五、病害诊断和防治·····	(160)
第八章 纽带科和刺科线虫引起的病害·····	(162)
第一节 肾形线虫病害·····	(162)
一、病原·····	(162)
二、重要作物病害·····	(162)
三、生物学特性·····	(165)
四、病害重要性·····	(165)
五、病害诊断和防治·····	(166)
第二节 纽带线虫病害·····	(167)
一、病原·····	(167)
二、主要病原种所致病害·····	(167)
三、生物学特性·····	(169)
四、病害重要性·····	(169)
五、病害诊断和防治·····	(170)
第三节 螺旋线虫病害和盘旋线虫病害·····	(170)

一、病原	(170)
二、主要病原种所致病害	(171)
三、生物学特性	(171)
四、病害重要性	(172)
五、病害诊断和防治	(172)
第四节 盾线虫病害	(173)
一、病原	(173)
二、重要作物病害	(173)
三、生物学特性	(174)
四、病害重要性	(174)
五、病害诊断和防治	(175)
第五节 刺线虫病害	(176)
一、病原	(176)
二、重要作物病害	(176)
三、生物学特性	(177)
四、病害诊断和防治	(177)
第六节 矮化线虫病害	(178)
一、病原	(178)
二、主要病原种所致病害	(179)
三、病害诊断和防治	(180)
第九章 半穿刺科和环科线虫引起的病害	(181)
第一节 半穿刺线虫病害	(181)
一、病原	(181)
二、重要作物病害	(183)
三、生物学特性	(184)
四、病害重要性	(184)
五、病害诊断和防治	(185)
第二节 针线虫病害	(186)
一、病原	(186)
二、主要病原种所致病害	(186)
三、生物学特性	(187)
四、病害诊断和防治	(187)
第三节 环线虫病害	(188)
一、病原	(188)
二、主要病原种所致病害	(188)
三、生物学特性	(189)
四、病害诊断和防治	(190)
第四节 拟鞘线虫病害	(190)
一、病原	(190)
二、重要作物病害及其防治	(191)

第十章 滑刃科和寄生滑刃科线虫引起的病害	(192)
第一节 滑刃线虫病害.....	(192)
一、病原.....	(192)
二、重要作物病害.....	(194)
三、生物学特性.....	(198)
四、病害重要性.....	(199)
五、病害诊断和防治.....	(200)
第二节 松树萎蔫线虫病害.....	(202)
一、病原线虫和传播媒介.....	(202)
二、生物学特性.....	(204)
三、传播和发病条件.....	(205)
四、病害诊断和防治.....	(206)
第三节 椰子红环线虫病害.....	(208)
一、病原.....	(208)
二、生物学特性.....	(210)
三、病害诊断和防治.....	(211)
第十一章 长针科、剑科和毛刺科线虫引起的病害	(213)
第一节 长针线虫病害和剑线虫病害.....	(213)
一、病原.....	(213)
二、主要病原种所致病害.....	(214)
三、蠕传病毒属.....	(217)
四、生物学特性.....	(218)
五、病害重要性.....	(220)
六、病害诊断和防治.....	(222)
第二节 毛刺线虫病害.....	(223)
一、病原.....	(223)
二、主要病原种所致病害.....	(223)
三、烟草脆裂病毒属.....	(225)
四、生物学特性.....	(225)
五、病害诊断和防治.....	(226)

下 编 植物线虫名录

第十二章 栽培植物主要寄生线虫名录	(229)
一、禾谷类作物寄生线虫.....	(229)
二、薯类作物寄生线虫.....	(232)
三、糖料作物寄生线虫.....	(234)
四、纤维作物寄生线虫.....	(235)
五、嗜好作物寄生线虫.....	(236)
六、油料作物寄生线虫.....	(238)
七、蔬菜作物寄生线虫.....	(240)

八、果树作物寄生线虫.....	(256)
九、药材作物寄生线虫.....	(266)
十、草场和饲料作物寄生线虫.....	(270)
十一、林木和观赏园艺植物寄生线虫.....	(273)

附录

一、杀线虫剂英、汉名称对照.....	(287)
二、植物线虫学英、汉名词对照.....	(288)
三、植物线虫拉、汉学名对照索引.....	(291)
参考文献.....	(310)

上 编

基础理论与研究法

第一章 植物寄生线虫形态特征及其鉴定

线虫是动物界中数量和种类仅次于昆虫的一大类群。大多数线虫生活于海洋、淡水和土壤中。生活在土壤中以真菌、细菌和藻类等微生物为食的线虫称为自由生活线虫(free-life nematodes);有一些线虫是人、动物和植物体内的寄生虫。广义上说,凡是与植物有关的线虫都可以称为植物线虫(plant nematodes)。寄生于植物的线虫称为植物寄生线虫(plant parasitic nematodes),其中能引起植物病害的线虫称为植物病原线虫(plant pathogenic nematodes)。由病原线虫引起的植物病害称为植物线虫病(plant nematode disease)。植物寄生线虫大多数是垫刃目(Tylenchida)线虫,少数为滑刃目(Aphelenchida)线虫和矛线目(Dorylaimida)线虫。小杆目(Rhabditida)和咀刺目(Enoplida)中有些线虫虽然不直接寄生于植物,但经常出现在植物根际土壤、病植物或腐败植物组织中,同植物有广泛联系,是植物的联生物(associates),也属于植物线虫的范围。小杆目中有个别线虫,如雅致新小杆线虫(*Caenorhabditis elegans*)是蘑菇、草菇等食用菌的重要病原线虫。

第一节 形态特征

诊断植物线虫病害,需要鉴定病原线虫。植物寄生线虫的形态学特征是鉴定和分类的主要依据。线虫的内部形态和外部形态特征不仅是分属(genus)和区分更高分类阶元的基础,也是种(species)的鉴定和分类基础。

植物寄生线虫分类和鉴定,通常是以雌虫(female)的形态特征为主。主要原因是线虫的雌虫经常存在,而雄虫(male)变化较大;不少植物寄生线虫的雄虫很少见,或在形态上出现某些明显退化;还有些线虫至今没有发现其雄虫,有些线虫种类为孤雌生殖。雌虫和雄虫完全的线虫种类,雄虫的某些形态特征也很重要;甚至幼虫(juvenile)的形态特征有时也作为重要的辅助性鉴别特征,根结线虫的分类和鉴定就是一个典型的例子。

一、线虫的外部形态

(一) 整体形态

1. 虫体大小 植物寄生线虫的虫体大小(size)有一定差别。垫刃目线虫的体形一般较小,蠕虫形线虫体长为0.2~1mm,个别种类体长达到3mm。毛刺线虫体长通常为0.5~1.1mm,长针线虫体长为0.9~12mm。

2. 体形 植物线虫的体形(body shape)因类别而异,有雌雄同形和雌雄异形。幼虫在

生长发育为成虫的过程中也会发生变态。了解这些特点对线虫的鉴定和分类很有意义。

雌雄同形的线虫，幼虫和成虫 (adult) 均为蠕虫形；成熟雌虫和雄虫除生殖器官有差别之外，其他的形态结构都相似 (图 1-1, A)。大多数垫刃目线虫、滑刃目线虫、长针科线虫和毛刺科线虫都属于雌雄同形的线虫。这类线虫经缓慢加热杀死后会呈现各种固有的虫体姿态。有些线虫直伸，有些线虫朝腹面呈“C”形弯曲，还有些线虫呈螺旋状卷曲。线虫的体态常作为属和种的鉴定特征之一。

雌雄异形的线虫有几种类型：一类为定居型线虫，其雌虫的虫体膨大为球形、柠檬形或肾形 (图 1-1, C~E)。这一类线虫有根结线虫属 (*Meloidogyne*)、胞囊线虫属 (*Heterodera*)、半穿刺线虫属 (*Tylenchulus*)、肾形线虫属 (*Rotylenchulus*)、球形胞囊线虫属 (*Globodera*) 和珍珠线虫属 (*Nacobbus*)。另一类为迁移型线虫，如环总科 (*Criconelematoidea*) 线虫，其雌虫虫体明显粗短，呈雪茄形、腊肠状或纺锤形，环纹粗大，有发达的口针和食道 (图 1-1, B)；雄虫体型细小、线状，环纹细，口针和食道退化。还有一类仅在虫体前部出现雌雄异形，例如穿孔线虫属 (*Radopholus*) 其雌虫和雄虫均为线形，雌虫头部不缢缩、口针和食道发达，雄虫头部缢缩为球形、食道退化。

3. 虫态和虫龄 植物线虫生活史中具有卵、幼虫和成虫 3 种虫态。卵正常为椭圆形；幼虫有 1~4 龄，1 龄幼虫在卵内发育并且完成第一次蜕皮，2 龄幼虫从卵内孵出，再经过 3 次蜕皮发育为成虫。雌雄同形的线虫，其成虫与幼虫的最显著形态区别是具有第二性征 (雌虫的阴门和雄虫的交合刺)。雌雄异形的线虫，其幼虫在生长发育为成虫的过程中，普遍发生变态。定居型寄生线虫 (如根结线虫、胞囊线虫) 其雌虫与同性别的幼虫有明显的形态差异。线形幼虫经最后一次蜕皮转变为成虫后，其虫体明显膨大。有些外寄生线虫，例如拟鞘线虫属 (*Hemicriconelemoides*)，其幼虫体环呈刺状或鳞片状，而雌虫体环完整而光滑。

4. 虫体对称性 线虫是两侧对称的 (bilaterally symmetrical) 动物，沿着其背面和腹面的中线纵裂可以分为两个相似部分：口孔 (oral aperture) 位于头顶端部；排泄孔 (excretory pore)、阴门 (vulva)、肛门 (anus) 都位于腹中线；侧器 (amphids)、颈乳突 (deirids) 和侧尾器口 (phasmids) 位于侧中线。沿背侧和腹侧纵裂，可以将虫体分为 4 个相等扇面：1 个背面、1 个腹面和 2 个侧面。

线虫虫体无明显躯段。为了使用方便，线虫学家们仍然将虫体区分为不同的躯段，并且给予普通名称。从前端至口针基部球为头 (head)，包括侧器、头乳突、唇部、口腔和口针；口针基部球至食道和肠连接处为颈 (neck)，包括排泄孔、半月体和食道 (图 1-2, A)；食道和肠连接处至肛门为腹 (venter)，主要包括消化系统和生殖系统，有阴门和肛门 (图 1-2, B)；肛门之后为尾 (tail)，雄虫则在泄殖腔后为尾，含交合刺、引带及交合伞 (图 1-2, C)。

线虫尾部形态变化很大 (图 1-3)，常常作为鉴定线虫属、种的依据。许多线虫的成虫与幼虫，雌虫与雄虫之间尾部形态各异。有些线虫没有尾 (如根结线虫、胞囊线虫的雌虫)；有些尾很短 (如根结线虫雄虫和毛刺线虫)；有些尾很长 (如丝尾线虫)。线虫尾部的主要功能是用以运动和帮助固定。

(二) 体壁和体腔

1. 体壁结构 体壁 (body wall) 由角质膜 (或称表皮, cuticle)、下皮层 (或称皮下组织, hypodermis) 和体肌层 (muscle) 构成 (图 1-2, E)。角质膜是线虫的外骨骼，是由下皮层分泌的一种非细胞结构的蛋白质。角质膜包住整个虫体，同时也内陷为口腔、食道、排泄

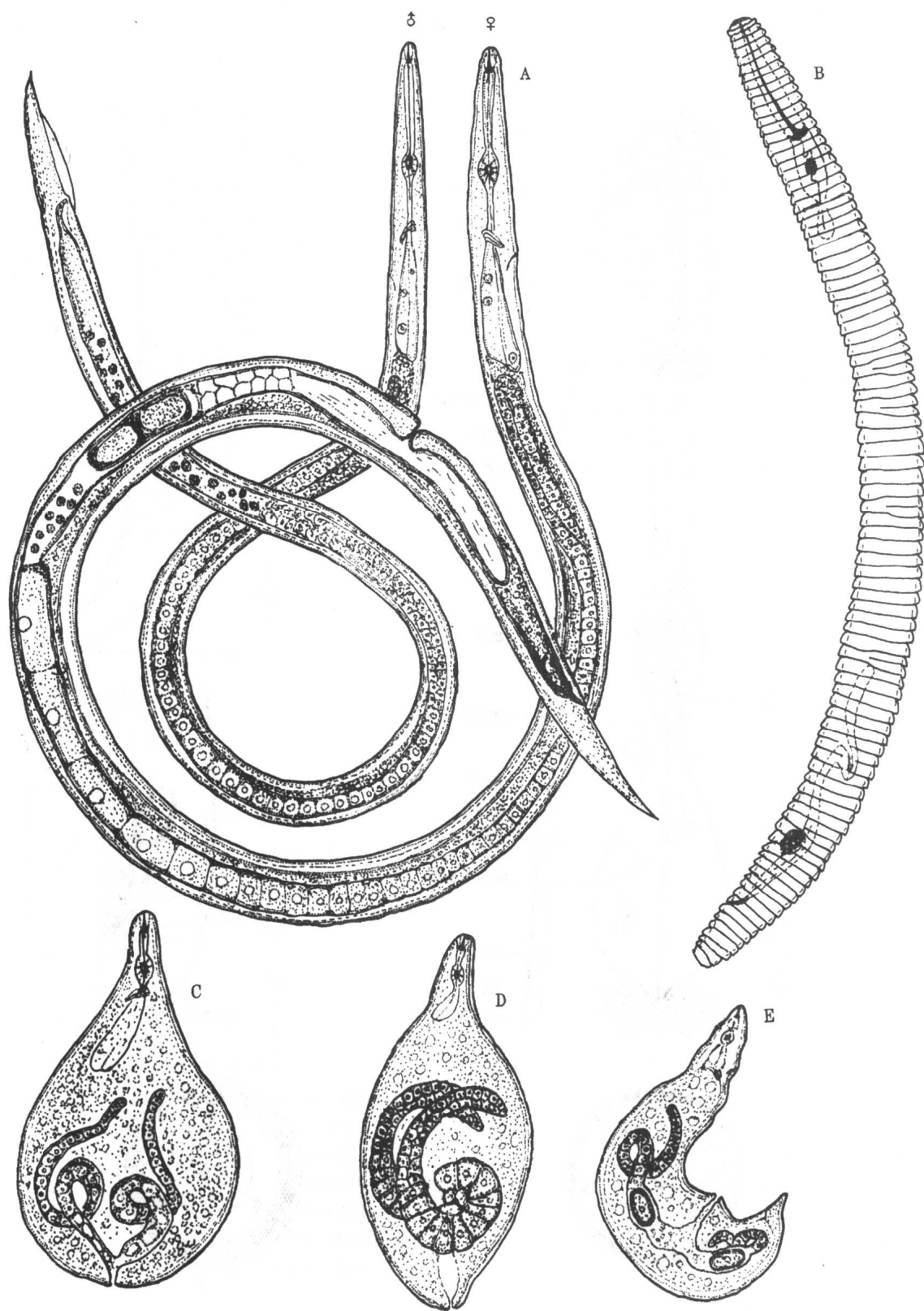


图 1-1 植物寄生线虫整体形态

A. 雌雄同形（蠕虫形）线虫 B. 中环线虫雌虫 C. 根结线虫雌虫 D. 胞囊线虫雌虫 E. 肾形线虫雌虫