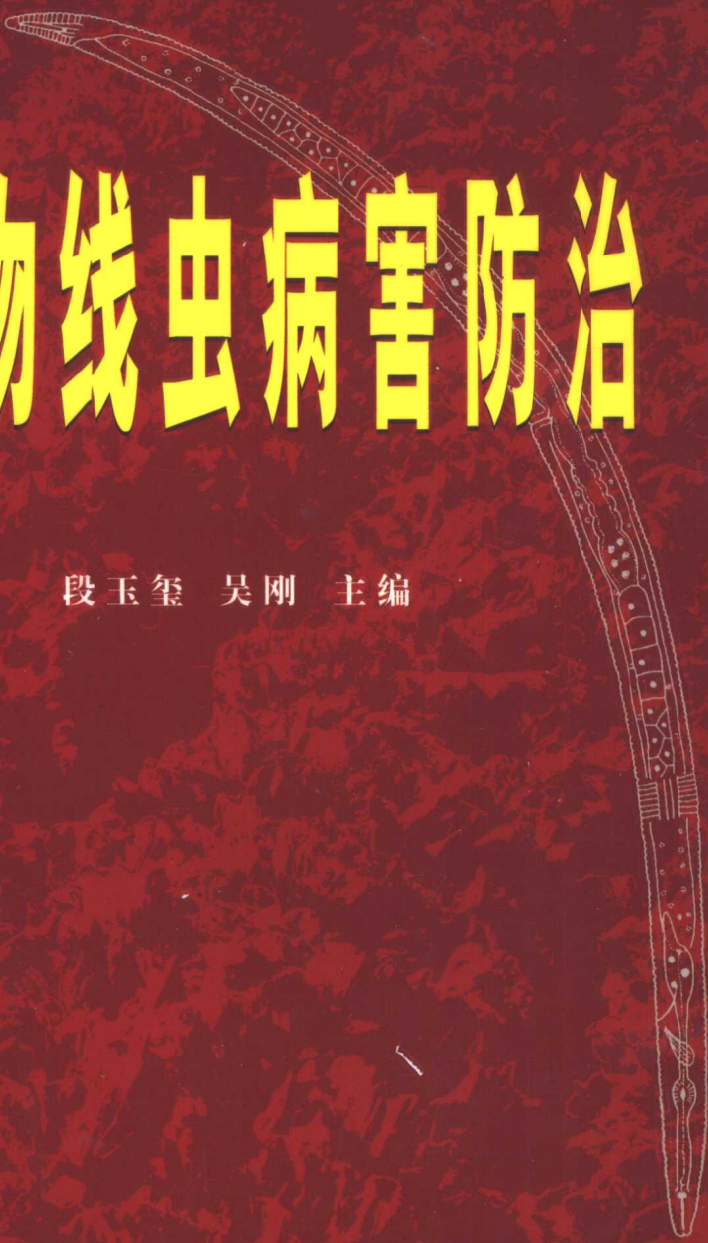


植物线虫病害防治



段玉玺 吴刚 主编

中国农业科技出版社

植物线虫病害防治

段玉玺 吴 刚 主编

中国农业科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

植物线虫病害防治/段玉玺, 吴刚主编. - 北京: 中国农业科技出版社, 2002.1

ISBN 7-80167-270-4

I. 植… II. ①段…②吴… III. 线虫侵染 - 植物病害 - 防治 IV. S432.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 086985 号

责任编辑	冯凌云
责任校对	马丽萍
出版发行	中国农业科技出版社 邮编: 100081
经 销	新华书店北京发行所
印 刷	北京奥隆印刷厂
开 本	850mm × 1168mm 1/32 印张: 5.875
印 数	1 ~ 3 000 册 字数: 150 千字
版 次	2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷
定 价	15.00 元

《植物线虫病害防治》编委会

主 编 段玉玺

(沈阳农业大学植物线虫学研究室)

吴 刚

(沈阳东大迪克生物药业股份有限公司)

副 主 编 陈立杰 梁文举 吴海燕

编写人员 (按姓氏笔画为序)

马秋娟 刘 晔 刘 霆 刘维志

李俊环 余国辉 吴 刚 吴海燕

张万民 远 方 陈立杰 范圣长

尚二璿 段玉玺 赵廷昌 侯 浩

秦 博 郭凤广 徐清云 梁文举

彭志国

序

植物线虫病害是重要的植物病害之一。植物寄生线虫能为害各种农、林植物，并造成重大经济损失。在植物寄生线虫侵染寄主植物的同时，还可引起其他病原菌的复合侵染，加重植物的病害。线虫可以携带、传播植物病原细菌、真菌及病毒。因此，植物线虫病害愈来愈受到我国政府、企业和农户的重视。

控制和减少植物寄生线虫的为害，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。杀线虫剂对植物寄生线虫有较好的防治效果，但多数杀线剂均为高毒、高残留农药，长期大量使用会对人、畜有害并污染环境。因此，开发低成本、高效、低毒、无公害的新型防治线虫的生物农药是当务之急。过去，由于人们对生物防治意识淡薄，生物防治方面的研究进展也比较缓慢，直到近几年，植物寄生线虫的生物防治在世界各地才受到广泛的重视，逐步开始深入研究。

生物防治是指通过引入捕食线虫和寄生于线虫的各种生物，从而降低病原线虫的群体，将线虫引致的经济损失降到最低水平，或者通过生物产生的毒素杀死线虫的一种防治方法。防治植物寄生线虫的天敌生物有真菌、细菌、病毒、捕食性线虫、昆虫和螨类。目前认为真菌和细菌是较好的天敌生物，其目的是通过改善植物的微生态环境，改进栽培措施或直接引入生防因子等方法，来增加土壤中植物寄生线虫的天敌生物，控制植物线虫的为害。

《植物线虫病害防治》一书的编写，主要是针对植保工作者

2 植物线虫病害防治

及科研人员，对于我国的线虫病害的防治具有重要意义。其主要特点是内容新颖、通俗易懂，使广大种植者能真正从理论上认识植物寄生线虫病害，提高他们对植物寄生线虫病害防治意识，从而推动我国农业的发展。

吴 刚

沈阳市东大迪克生物药业股份有限公司

2001.8.29

前 言

据 FAO 保守估计, 全世界每年因线虫为害对粮食和纤维作物造成的损失大约为 12%, 对蔬菜、花生、烟草和某些果树造成的损失要超过 20%。线虫已成为植物的一类重要病原物, 线虫病害已成为农、林生产上的重要问题。全世界每年因线虫为害, 在 21 种作物上所造成的损失就达 777 亿美元。美国线虫学家 J.N.Sasser 认为, 全美每年由于线虫为害造成的农产品损失达 580 亿美元, 全世界的损失将超过 1 000 亿美元。我国对线虫病害的为害缺少精确的统计, 我国的国土面积与美国相当。我国每年仅大豆因线虫为害的损失就达 1 亿美元, 线虫对各种蔬菜的为害损失达 30 亿美元。

植物寄生线虫学是我国植物保护重要的分支学科, 其中很多种类线虫可以引起重大的植物病害, 直接影响我国农业的可持续发展。但到目前为止, 这类病原物是我国很多农民和植物保护工作者所不熟悉的, 急需一部对我国所发生的植物寄生线虫防治的图书。沈阳农业大学是我国研究植物寄生线虫较早的研究单位, 在 20 世纪 60 年代由沈阳农业大学的毕志树教授主编了我国第一部《植物线虫学》(农业出版社出版)教材, 而后由沈阳农业大学主编了《英汉线虫学词汇》、《植物线虫学研究技术》和《植物病原线虫学》等著作。近年来, 沈阳农业大学植物线虫学研究室的多名博士研究生、硕士研究生和本科生专门从事植物寄生线虫病害防治的研究工作, 与国内外交流频繁, 研究资料充足。

本书通过对植物寄生线虫知识的介绍, 重点阐述我国重要植物寄生线虫病害的防治技术。可供大专院校植保专业、植物检疫

2 植物线虫病害防治

专业和农学专业的本专科生、农业技术推广工作者及农户参考使用。由于本书编辑时间仓促，水平有限，不当之处在所难免，请广大读者批评指正。

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 农业生产与植物线虫病害	(1)
第二节 植物线虫的为害、经济重要性	(1)
第三节 植物线虫病害的研究历史	(3)
第二章 线虫的形态解剖学	(10)
第一节 线虫的形态和体壁	(10)
第二节 线虫的消化系统	(13)
第三节 线虫的生殖系统	(17)
第四节 线虫的神经系统	(19)
第三章 植物寄生线虫的生物学	(24)
第一节 胚胎发育和细胞学	(24)
第二节 繁殖与性别决定	(28)
第三节 植物寄生线虫的生活史、卵的孵化、蜕皮	(30)
第四节 植物寄生线虫的休眠	(32)
第四章 植物寄生线虫的生理学、生物化学和 分子生物学	(33)
第一节 水分、pH 值、渗透压对植物寄生线虫生命活 动的影响	(33)
第二节 氧气对植物寄生线虫生命活动的影响和线虫 的呼吸	(35)
第三节 温度对植物寄生线虫生命活动的影响	(36)
第四节 植物寄生线虫的运动和趋性	(37)

2 植物线虫病害防治

第五节	植物寄生线虫的取食、代谢途径和酶类	(39)
第六节	植物寄生线虫的分子生物学研究和基因工程 ...	(42)
第五章	植物寄生线虫的防治方法	(45)
第一节	植物线虫病害防治原理	(45)
第二节	栽培技术防治	(50)
第三节	物理防治与化学防治	(57)
第四节	应用抗病品种	(70)
第五节	生物防治	(72)
第六章	农业生产上重要的植物线虫病害	(82)
第一节	根结线虫病害	(82)
第二节	胞囊线虫病害	(122)
第三节	滑刃线虫病害	(144)
第四节	茎线虫病害	(162)
第五节	小麦粒线虫病害	(171)

第一章 绪 论

第一节 农业生产与植物线虫病害

植物寄生线虫 (Nematodes) 是一类低等的无脊椎动物, 简称植物线虫。植物寄生线虫主要生活在土壤中为害植物的根部, 因此它的为害具有隐蔽性, 通常这类线虫对植物为害的初期与植物的营养缺乏在症状的表现上十分相似, 只有在严重发病时才表现出独特的症状。植物寄生线虫的虫体是透明的, 一般都比较小, 通常只有在显微镜或解剖镜下才能看见。有许多线虫不仅寄生在植物体内, 而且为害植物, 造成产量损失或植物产品的质量变劣, 引起植物病害, 这些线虫称为植物寄生线虫。几乎每种植物都可被一种或几种线虫寄生或为害。据 Esser 的统计, 到 1990 年为止, 全世界已报道发现植物寄生线虫 207 个属, 共 4 832 种。线虫可以寄生在植物的根系、幼芽、茎、叶、花、种子和果实内。寄生在根部的线虫, 可造成根系的衰弱、畸形或腐烂, 致使植物地上部分的茎和叶发育不良甚至枯死。线虫为害茎部可造成茎、叶发育不良, 畸形, 矮化或整个地上部死亡; 为害叶部可造成叶部变色, 畸形或干枯; 为害花可造成花变色, 变形或枯死; 为害种子的可使种子变成虫瘿; 为害花生果实可在荚果上形成褐色枯斑和局部坏死。

第二节 植物线虫的为害、经济重要性

全世界严重为害植物的线虫有根结线虫、胞囊线虫、滑刃线

虫、茎线虫、粒线虫及短体（根腐）线虫等。根结线虫为害植物的根部，形成根结，造成根系发育受阻和腐烂，植株地上部衰弱和枯死。根结线虫包括 90 余种，有多种根结线虫的寄主范围较广，受害严重的植物有茄科（番茄、烟草等）、葫芦科（瓜类）、花生等多种植物。根结线虫主要发生在温暖地区。另一类为害比较严重的是胞囊线虫，如大豆胞囊线虫 *Heterodera glycines*、甜菜胞囊线虫 *H. schachtii*、马铃薯金线虫 *Globodera rostochiensis*、马铃薯白胞囊线虫 *G. pallida*、燕麦胞囊线虫 *Heterodera avenae* 等。这类线虫主要为害根系，造成根系衰弱，发育不良，甚至腐烂，致使地上部分生长衰弱，矮化，叶片变色，开花少，甚至全株枯死，胞囊线虫多数分布在温暖和冷凉地区。茎线虫对植物的为害也很严重，包括起绒草茎线虫 *Ditylenchus dipsaci*（主要为害马铃薯、甘薯等）、马铃薯茎线虫 *D. destructor*（为害马铃薯、甘薯等）和水稻茎线虫 *D. angustus* 等。茎线虫主要为害甘薯和洋葱等，一般为害植物的地下部分如块茎、块根、鳞茎，造成畸形或腐烂；也为害植物地上部分往往造成局部畸形。马铃薯茎线虫 *D. destructor* 和水稻茎线虫 *D. angustus* 在国外某些地区是毁灭性的病原线虫，过去一直列为我国对外检疫名单。滑刃线虫对植物的为害也很严重，包括水稻干尖线虫 *Aphelenchoides besseyi*、粟线虫 *A. besseyi* (*A. oryzae*)、菊花叶线虫 *A. rizemabosi*、草莓叶芽线虫 *A. fragaria*、松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 和椰子红环腐线虫 *Rhadinaphelenchus cocophilus* 等。这些线虫通常为害植物的地上部分，可为害幼芽、叶片、茎、树干和种子等部位，造成幼芽扭曲、畸形、变色，侵染叶片造成枯斑和叶尖干枯，为害树干造成整株迅速枯死。在胞囊类线虫中，在我国为害最重的是大豆胞囊线虫（*Heterodera glycines*），特别是大豆产区为害严重，大约 70% 的播种面积发生，通常减产 10% ~ 20%，严重发生地块减产 50% 以上，甚至颗粒不收。根结线虫（*Meloidogyne* sp.）是温暖

地区普遍发生的最重要的线虫，全世界已报道 80 余种。大面积的蔬菜保护地难以再种植蔬菜，目前已在辽宁省沈阳市和吉林省吉安地区大面积发生，温室作物发生可向北蔓延至黑龙江省大庆地区。根结线虫主要为害茄科、葫芦科和十字花科等双子叶植物，造成作物大量死苗和植株枯死，特别是对我国的蔬菜生产造成重大损失。在我国为害严重的滑刃线虫是水稻干尖线虫、粟粒线虫、草莓滑刃线虫，近年来松材线虫的为害日趋加重，引起我国政府和林区工作者的严重关注。松材线虫（*Bursaphelenchus xylophilus*）自 1982 年发现以来，造成松树迅速枯死，已对林业生产构成极大威胁。茎线虫类对植物为害也很严重，主要是马铃薯茎线虫（*Ditylenchus destructor*）为害甘薯块根，造成糠心、腐烂，损失严重。

据 FAO 保守估计，全世界每年因线虫为害对粮食和纤维作物造成的损失大约为 12%，对蔬菜、花生、烟草和某些果树造成的损失要超过 20%。线虫已成为植物的一类重要病原物，线虫病害已成为农、林生产上的重要问题。全世界每年因线虫为害在 21 种作物上所造成的损失就达 777 亿美元。美国线虫学家 J.N.Sasser 认为，全美每年由于线虫为害造成的农产品损失达 580 亿美元，全世界的损失将超过 1 000 亿美元。我国对线虫病害的为害缺少精确的统计，我国的国土面积与美国相当。我国每年仅大豆因线虫的损失就达 1 亿美元，对各种蔬菜线虫的为害损失达 30 亿美元。

第三节 植物线虫病害的研究历史

一、早期的观察和研究

早在 1743 年，J.T.Needham 发现在小麦的瘪病粒里有小的蠕虫，这就是小麦粒线虫。1855 年，英国的 Berkeley 报道，温室里

的黄瓜根部有根结，并发现根结里有小的线虫，这就是根结线虫。1857年德国的 Kuhn 报道，在起绒草（*Dipsacus fullonum*）上发现茎线虫，当时定名为 *Anguillula dipsaci*，即现在的 *Ditylenchus dipsaci*。在 19 世纪中叶，当欧洲的甜菜根部受到严重为害并在甜菜根部发现线虫，这种线虫几乎毁灭了当时欧洲的甜菜生产和制糖工业，引起人们的高度重视，1859 年德国的 Schacht 报道甜菜根线虫，并进行了比较详细的研究。1871 年 Schmidt 用 Schacht 的名字将这种线虫定名为甜菜根线虫 *Heterodera schachtii*（甜菜胞囊线虫）。由于很多线虫学家对甜菜胞囊线虫的系统研究，有力地推动了线虫学科的发展。1865 年，Bastian 出版了 *Anguillulidae* 方面的专著，描述了 100 个新种，这部专著可以算是线虫科学的开端。1880 年 J.G.de Man 出版了关于土壤、植物、淡水线虫的专著，他的模式标本至今保存在阿姆斯特丹的博物馆内，他提出的线虫形态分类用的 de Man 公式（即现在的 a, b, c 值）至今还被人们广泛应用。

二、传统的线虫学

进入 20 世纪，线虫学发展较快，著名学者 N.A.Cobb 被称为美国线虫学之父。他在线虫学方面做了大量细致的研究工作，于 1893 年出版了主要是澳大利亚和斐济的线虫的专著，1913、1920 年又出版植物线虫方面的专著。在他的倡导下于 1918 年美国农业部在犹他州盐湖城建立起第一个线虫学实验室，G.Thorne 在那里进行甜菜胞囊线虫的防治研究，同时也进行分类鉴定研究。1922 年 G.Steiner 和 J.R.Christie 都来到 Cobb 的实验室，在 Cobb 之后成为实验室的领导者，主要是从事分类工作。美国另一位著名学者 B.G.Chitwood 先是在长岛研究茎线虫，后来研究马铃薯金线虫，他的最重要贡献是于 1950 年出版植物线虫学的经典著作《Introduction to Plant Nematology》（植物线虫学导论），在这部

书里, Chitwood 夫妇提出了自己的线虫分类系统, 这是一部关于线虫形态学和分类学的最重要的参考书。M.W.Allen 于 1948 年在加利福尼亚大学柏克利分校首先开设线虫学的正式课程, Allen 曾在 Thorne 的指导下学习线虫学, 美国早期的线虫学工作者大都是 Cobb, Thorne 和 Chitwood 培养的, 到了 20 世纪 50 年代才陆续培养正式的研究生。1961 年美国线虫学会 (Society of Nematologists, SON) 建立起来, 1969 年正式出版线虫学杂志 (Journal of Nematology), 美国和世界的线虫学开始进入现代线虫学阶段。

在西方国家中, 俄罗斯的线虫学发展较晚, 直到 19 世纪最后 10 年才有人报道根结线虫和胞囊线虫的为害, 这些线虫病害的描述都是凭肉眼的直观观察。俄罗斯和前苏联线虫学的发展是与两位伟大的线虫学家的贡献分不开的, 即 Ivan Nikolaevich Filipjev (1889 ~ 1940) 和 Aleksander Aleksandrovich Paramonov (1891 ~ 1970)。Filipjev, I.N. 在线虫学方面做了大量的研究工作, 他的第一篇论著发表在 1918 年, 第二篇是有关海水自由线虫的, 于 1921 年出版, 他描述的 100 个新种, 在那个时代是极为宝贵的, 至今仍被认为是经典之作。在植物线虫学方面他做了大量的工作, 1934 年出版了《农业有害和有益的线虫》专著, 这部专著成为俄罗斯和其他国家的线虫学教科书。1941 年他的著作由别人整理扩充再版。Filipjev 根据生物之间的关系和大量的科学资料, 建立了线虫的形态学的基础。在 Filipjev 之后, Paramonov, A.A. 对俄罗斯和前苏联线虫学的发展作出重大贡献, 1937 年他成为季米里亚捷夫农学院的达尔文主义教授, 1941 年成为动物学教授, 尽管他在 1925 年时即对线虫学感兴趣, 但直到 1948 年, 他主要研究一般动物学, 从 1952 年起, 他成为前苏联科学院蠕虫学实验室植物蠕虫学领导人, 他和他的小组集中力量研究植物线虫学, 他的第一部生态学经典著作于 1952 年出版。

进入 20 世纪, 欧洲的线虫学得到普遍发展, 主要是在英国、

德国和荷兰发展较好，英国人主要研究马铃薯胞囊线虫和燕麦胞囊线虫，德国人在甜菜胞囊线虫研究方面，荷兰人在分类研究方面作了大量的工作，涌现出一批线虫学专家。比较突出的是英国的 Tom Goodey (1885~1953)，他曾担任 Rothamsted 试验站线虫系的主任，从事线虫学研究 30 余年，不仅发表了许多有价值的论文，而且出版了《植物寄生线虫及其所致病害》(Plant Parasitic Nematodes and the Diseases They Cause, 1933) 和《土壤和淡水线虫》(Soil and Freshwater Nematodes, 1951) 两部著作，影响较广。英国当时还有几位有影响的线虫学家，如：Franklin, M.T., Fenwick 等。

第二次世界大战期间，各国线虫学的发展普遍受到影响，战后有一段恢复时期，1955 年建立欧洲线虫学会，1956 年创办《线虫学》(Nematologica) 杂志，在荷兰出版。此后，各国线虫学迅速发展。

我国线虫学发展较晚，1916 年章祖纯报道北京地区发生小麦粒线虫病。方伯谦和刘介然自 1931 年开始进行小麦粒线虫的抗性试验，鉴定出 3 个抗病品系。1932 年涂治报道我国南方番茄发生根结线虫 [*Heterodera radiculicola* (Greef) Muell, 即 *Meloidogyne* 属的几个种]，而且为害较重。沈宗翰等 1934 年报道对小麦粒线虫比较抗病的 Kanred 品种颖尖很长，高度感病品种颖尖很短。1935 年李来荣在广东首次研究了柑橘根线虫病 (*Tylenchulus semipenetrans* Cobb) (半穿刺线虫)。1938 年李来荣和李德铨发表了“广东经济植物及杂草根上的线虫”。

朱凤美自 1933 年起研究小麦粒线虫，1940 年与蹇先达等人合作，研制出小麦粒线虫虫囊汰选机，汰除率达 99% 以上。朱凤美 1945 年发表的有关小麦粒线虫病的分布及防治方面的论文，总结了 10 余年的研究成果，用大量的调查研究资料系统全面地综述小麦粒线虫病的病名、症状、病原、主要传染途径、轮作、

田间卫生、种子处理及抗病品种选育等，是我国线虫学方面的系统研究成果。

张绍钫和侯同文在 1937 年曾指出，华北地区发生的小麦密穗病与小麦粒线虫有一定关系。周家炽（1946）通过接种试验证实，小麦密穗病细菌是随小麦粒线虫侵入的，这一发现对防治小麦密穗病有重要指导意义。

新中国成立后，我国植物线虫的研究和防治工作得到很快发展，华北和东北的农科所或试验场自 1949 年起分别研究小麦粒线虫病问题。自 1951 年起，山东、河北、河南、黑龙江和甘肃等省试验一系列种子处理的方法，在控制小麦粒线虫病方面均取得较好效果。自 1951 年起，华北地区广泛开展花生根结线虫病的研究，系统地观察了线虫的形态、生物学特性和生态，研究了线虫与寄主植物的相互关系，以及药剂防治和农业技术措施综合防治等。自 1956 年起，天津地区对水稻干尖线虫进行研究，提出变温浸种是有效和实用可行的防治措施，在生产上获得大面积推广。陈善铭等从 1954 年起在华北地区研究粟线虫病，肯定病原线虫为滑刃线虫 *Aphelenchoides besseyi*，研究其寄生方式、传播途径、发病环境条件等，并研究了以种子处理为主的综合防治措施，取得了良好的防治效果。1961 年张岳等在青岛研究甘薯根结线虫（*Meloidogyne incognita acrita*）的形态、生活史、为害习性以及综合防治。1965 年沈阳农学院毕志树、李进编写的《植物线虫学》（农业出版社出版），对我国线虫学的发展起到了很好的推动作用。1966 年以前我国的线虫学发展比较缓慢，缺少系统的基础研究。

1979 年以后，有些省市开始重建线虫学科的工作，进行立项研究，有些大学开设线虫学课程，培养研究生。农业部植物检疫总所委托华南农业大学主办全国性的线虫普查工作，不仅鉴定线虫种类，同时也培训了一批专业人员。20 世纪 80 年代初开始