

Biology and Biological
Control of *Fusarium oxysporum*

尖孢镰刀菌

生物学及其生物防治

刘 波 黄俊生 肖荣凤 等 著



科学出版社

尖孢镰刀菌生物学及其生物防治

刘 波 黄俊生 肖荣凤 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

《尖孢镰刀菌生物学及其生物防治》是研究农作物枯萎病及其生物防治技术的专著。本书共 13 章, 综述了农作物枯萎病的研究进展、发生与危害; 系统地从枯萎病病原菌尖孢镰刀菌的生物学特性、生态学特性、生理学特性、病理学特性、分子生物学特性、种下分化特性等方面进行了研究; 并研究了枯萎病生防菌——短短芽胞杆菌、铜绿假单胞杆菌、淡紫拟青霉、哈茨木霉和非致病性尖孢镰刀菌的筛选鉴定、生物学特性、抑菌作用、抑菌机理及其对枯萎病的防治效果等。

本书可供植物病理学、植物保护、生物防治、生物农药、农业微生物学、植物检疫等专业科研院校研究生、研究人员和专家参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

尖孢镰刀菌生物学及其生物防治/刘波等著. —北京: 科学出版社, 2013. 9
ISBN 978-7-03-038346-4

I. ①尖… II. ①刘… III. ①作物-枯萎病-生物防治-研究 IV. ①S432.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 191596 号

责任编辑: 李秀伟 白 雪/责任校对: 胡小洁

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 9 月第一次印刷 印张: 31 1/4

字数: 730 000

定价: 248.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

Biology and Biological Control of *Fusarium oxysporum*

Edited by

Liu Bo, Huang Junsheng and Xiao Rongfeng

 **Science Press**
Beijing, China

Summary

Biology and Biological Control of Fusarium oxysporum is an monograph about crop fusarium wilt and its biological control technology. The book contains 13 chapters, which review research progress of crop fusarium wilt disease and occurrence and damage of the disease, systematical studies on biological, ecological, physiological, pathological and molecular biological characteristics as well as subspecies differentiation of *F. oxysporum*. Biocontrol agents of *F. oxysporum* were also investigated, such as *Brevibacillus brevis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum* and nonpathogenic *F. oxysporum*. The screening and identification, biology, inhibition effect, inhibition mechanism and fusarium wilt control efficiency were evaluated for all the biocontrol agents.

The book is available as a reference for graduate students, researchers and experts in related majors, such as plant pathology, plant protection, biological control, biological pesticide, agricultural microbiology, plant quarantine.

资 助 项 目

《尖孢镰刀菌生物学及其生物防治》得到国家、省及福建省农业科学院等科技项目的资助，特此，对项目资助单位表示衷心感谢。得到资助的项目如下。

(1) 国家农业部公益性行业(农业)科研专项——由尖孢镰刀菌引起的茄科等作物土传病害综合防控技术研究(200903049-08)。

(2) 国家农业部 948 计划重点项目——高效新型微生物资源引进与创新(2011-G25)。

(3) 国家农业部公益性行业(农业)科研专项——入境台湾果蔬危险性有害生物防控新技术研究与示范(200903034)。

(4) 国家科技部 973 计划前期项目——芽孢杆菌种质资源多样性及其生态保护功能基础研究(2011CB111607)。

(5) 国家科技部 863 计划项目——农林有害生物分子免疫调控技术研究-生防制剂分子免疫调控技术研究(2012AA101504)。

(6) 国家科技部 863 计划项目——农作物重大病害多功能广谱生防菌剂研究和创制-茄科作物青枯病和枯萎病生防菌剂的研究与应用(2006AA10A211)。

(7) 国家科技部 863 计划项目——设施蔬菜病虫害生物-化学协同控制技术研究(2002AA244031)。

(8) 国家科技部科技支撑计划项目——热带亚热带外向型农业区新农村建设关键技术集成与示范(2008BAD96B07)。

(9) 国家自然科学基金项目——生防菌对青枯雷尔氏菌致弱机理的研究(30871667)。

(10) 福建省自然科学基金项目——非致病性尖孢镰刀菌对西瓜枯萎病免疫抗病机制的研究(2008J0055)。

(11) 福建省科技厅科技计划项目——瓜类作物枯萎病生防菌剂“枯特利”的研制与应用(2008N0020)。

(12) 福建省科技厅科技创新平台建设项目——福建省农业生物药物研究与应用平台(2007N02010)。

(13) 福建省发改委农业科技重点项目——农作物重要毁灭性及检疫性病害枯萎病的流行监控及生物防治技术的研究(闽发改农业[2004]605)。

(14) 福建省财政厅科技专项——农业微生物研究中心重大装备建设(2009)。

(15) 福建省农业科学院农业微生物创新团队项目——生防菌淡紫拟青霉生物肥药的研制与应用(CXTD2011-11)。

《尖孢镰刀菌生物学及其生物防治》著者名单

(按姓氏拼音排序)

车建美	博士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
陈庆河	博士、研究员	福建省农业科学院植物保护研究所
葛慈斌	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
郝晓娟	博士、副研究员	山西农业大学农学院植物病理学系
胡桂萍	博士研究生	福建省农业科学院农业生物资源研究所
黄俊生	博士、研究员	中国热带农业科学院环境与植物保护研究所
黄素芳	副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
蓝江林	博士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
李 芳	博士、教授	福建农林大学植物保护学院
林抗美	研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
刘 波	博士、研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
史 怀	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
苏明星	副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
唐建阳	研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
王国芬	博士、副研究员	中国热带农业科学院环境与植物保护研究所
肖荣凤	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
郑雪芳	博士研究生、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
朱育菁	博士、研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所

Contributors to “Biology and Biological Control of *Fusarium oxysporum*”

(arranged in alphabetical order)

Che Jianmei, Associate Prof. Dr.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Chen Qinghe, Prof. Dr.	Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Ge Cibo, Associate Prof. M.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Hao Xiaojuan, Associate Prof. Dr.	Department of Plant Pathology, College of Agriculture, Shanxi Agricultural University
Hu Guiping, PhD student	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Huang Junsheng, Prof. Dr.	Environment and Plant Protection Institute, CATAS
Huang Sufang, Associate Prof.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Lan Jianglin, Associate Prof. Dr.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Li Fang, Prof. Dr.	College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University
Lin Kangmei, Prof.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Liu Bo, Prof. Dr.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Shi Huai, Associate Prof. M.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Su Mingxing, Associate Prof.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Tang Jianyang, Prof.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Wang Guofen, Associate Prof. Dr.	Environment and Plant Protection Institute, CATAS
Xiao Rongfeng, Associate Prof. M.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Zheng Xuefang, Associate Prof.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences
PhD student	
Zhu Yujing, Prof. Dr.	Institute of Agricultural Bioresource, Fujian Academy of Agricultural Sciences

前 言

枯萎病是一类植物病害的总称，因病原菌的侵害植物萎蔫枯死。枯萎病病原菌包括细菌性病原菌和真菌性病原菌，本书所指的枯萎病病原菌是真菌性病原菌。枯萎病是由镰刀菌属病原菌引起的一种世界性土传病害，其中尖孢镰刀菌（*Fusarium oxysporum* Schl）是主要病原菌种类之一。尖孢镰刀菌属于半知菌类（Fungi Imperfecti）梗孢目（Moniliales）座孢科（Tubercular）镰刀菌属（*Fusarium*）。

在分类学上，镰刀菌无性时期原属于半知菌亚门，有性时期为子囊菌亚门。根据《菌物词典》2001年第9版，镰刀菌属于无性真菌类，有性时期为子囊菌门。1809年Link在锦葵科植物上发现第一株镰刀菌，将其命名为粉红镰刀菌（*F. roseum* Link）。迄今，已发现镰刀菌种类约有44种和7个变种。镰刀菌形态变异大，因此，人们常将不同形态的菌当做新种来描述。到20世纪30年代，全世界共有近千个镰刀菌种名。1935年，德国Wollenweber和Reinking出版了第一本镰刀菌专著 *Die Fusarium*，提出了镰刀菌第一个较完整的分类系统，它成为镰刀菌属分类研究的基础。目前，国际上存在10种不同的镰刀菌分类系统。1940~1957年，Snyder和Hansen特别指出镰刀菌的变异性，认为镰刀菌分类必须用单孢分离的方法，最可靠的鉴定性状是大型分生孢子的形状、小型分生孢子和厚垣孢子的有无等。有关镰刀菌属分类的重要文献有：布斯（著）、陈其焜（译）（1988）《镰刀菌属》；Nelson等（1983）著 *Fusarium species: An Illustrated Manual for Identification*；拉伊洛（著）、王云章译（1958）《镰刀菌》；王拱辰等（1996）著《常见镰刀菌鉴定指南》；陈鸿逵和王拱辰（1992）著《浙江镰刀菌志》等。

镰刀菌属中的尖孢镰刀菌营兼性寄生或腐生生活，能在土壤中长期生存，也能在植株残株上生存，以菌丝体或3种孢子的任何一种形式存活。尖孢镰刀菌可侵染的寄主植物达100余种，包括粮食作物、经济作物、药用植物及观赏植物等，引起植物的根腐、茎腐、茎基腐、花腐和穗腐等多种病害。尖孢镰刀菌的孢子萌发管或菌丝体可直接从根尖、根部伤口或侧根生长点进入植株体，菌丝体就在根皮层细胞间生长，到达木质部后，通过木质部的纹孔侵入导管，并在导管中向上生长，直至植株的茎和顶部。病原菌的侵染使植株的营养和水分供应受到影响，导致叶片气孔关闭、叶片萎蔫和植株整体死亡。由尖孢镰刀菌引起的作物枯萎病的防治包括农业防治、抗性育种、化学防治和生物防治等。

镰刀菌可产生镰刀菌毒素，食用霉变的粮食可导致人患病和死亡。某些镰刀菌可诱发人皮肤和角膜溃疡。产毒镰刀菌主要有4种：禾谷镰刀菌（*F. graminearum*）、三线镰刀菌（*F. tricinctum*）、梨孢镰刀菌（*F. poae*）和串珠镰刀菌（*F. moniliforme*）。镰刀菌侵染植物的广泛性和严重性，以及该菌产生的毒素对人、畜、水产动物健康的危害性，使其成为为数不多的植物、动物和人共患病原菌。

镰刀菌也有对人类有利的一面，如镰刀菌可以防治昆虫、线虫及其他植物病害，促

进植物生长,降解有机污染物,固氮、解磷、解钾等。为了更好地利用镰刀菌这一常见且重要的真菌资源,结合近年的镰刀菌在环境保护中的研究情况,建议今后的镰刀菌研究工作应集中在:进一步开展高效且非致病性镰刀菌的筛选研究和镰刀菌所产毒素的快速检测技术研究,并采用基因工程等现代科学技术,构建高效降解环境有毒污染物的新型优良菌株,扩大其应用范围。大力加强高效镰刀菌应用工艺的开发研究,确定反应器构型、发酵条件等工艺参数,建立示范工程,尽快使高效生防菌的应用产业化。整个镰刀菌研究的关键问题在于对镰刀菌的致病性和致病性物质的研究,如果能知道影响镰刀菌致病性的因素,就可能知道致病性物质及其致病机理,从而建立镰刀菌非致病性菌株的分子探针检测;如果能建立非致病性菌株的分子鉴别体系,那么就有可能研制出镰刀菌非致病性菌株用于线虫、地下害虫、土传病害等生物防治,研发镰刀菌植物疫苗、镰刀菌植物生根促长剂、镰刀菌有机污染物降解菌、镰刀菌生物肥料等。

本书是研究作物枯萎病及其生物防治技术的专著,共13章:第一章农作物枯萎病的研究进展;第二章农作物枯萎病的发生与危害;第三章尖孢镰刀菌的生物学特性;第四章尖孢镰刀菌的生态学特性;第五章尖孢镰刀菌的生理学特性;第六章尖孢镰刀菌的病理学特性;第七章尖孢镰刀菌的分子生物学特性;第八章尖孢镰刀菌的种下分化特性;第九章尖孢镰刀菌芽胞杆菌生防菌的研究;第十章尖孢镰刀菌假单胞杆菌生防菌的研究;第十一章尖孢镰刀菌真菌生防菌淡紫拟青霉的研究;第十二章尖孢镰刀菌真菌生防菌哈茨木霉的研究;第十三章枯萎病植物疫苗的研究。

本书得到了国家农业部科研项目、国家科技部科研项目、国家自然科学基金、福建省自然科学基金、福建省科技厅科技计划项目、福建省发改委农业科技项目、福建省财政厅科技项目、福建省农业科学院农业微生物创新团队项目等的资助(详见资助项目列表);并由福建省众智生物科技有限公司和开创阳光环保科技发展(北京)有限公司等提供了产业化协作;研究过程得到了浙江大学农业与生物技术学院谢关林教授、福建农林大学植物保护学院张绍升教授、南京农业大学农学院郑小波教授、中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所朱昌雄研究员等的真诚帮助;中国工程院院士李玉教授、中国科学院院士谢华安研究员、中国科学院院士谢联辉教授、中国科学院微生物研究所姚一健研究员等对本研究给予了认真指导;福建省农业科学院党委书记吕月良研究员对本研究给予了巨大支持,在此一并表达深深谢意。

《尖孢镰刀菌生物学及其生物防治》一书是对近年来研究的总结,也是该研究领域的新起点。作为建立植物病原菌和生防菌研究平台的一种尝试,本书出版的目的是培养研究生、研究人员和扩大同行合作交流。著者在该领域的研究中是个新兵,由于研究经历不长,研究经验有限,研究知识缺欠,书中可能有许多的缺点错误,甚至是谬误,衷心希望同行批评指正,共勉于植物病原菌和生防菌的研究中。

著者

2013年3月3日,于福州

目 录

前言

第一章 农作物枯萎病的研究进展	1
第一节 枯萎病的发生与危害	1
第二节 枯萎病病原菌的生物学特性	3
第三节 枯萎病病原菌的生理生化特性	5
第四节 枯萎病的防治	8
第二章 农作物枯萎病的发生与危害	15
第一节 茄科作物枯萎病的发生特点及其病原菌的采集分离	15
第二节 瓜类作物枯萎病的发生特点及其病原菌的采集分离	22
第三节 香蕉枯萎病的发生特点及其病原菌的采集分离	30
第三章 尖孢镰刀菌的生物学特性	35
第一节 尖孢镰刀菌的生长特性	35
第二节 培养基营养成分对尖孢镰刀菌生长的影响	39
第三节 温度对尖孢镰刀菌生长的影响	53
第四节 尖孢镰刀菌的生长动力学模型	56
第五节 通气量对尖孢镰刀菌生长的影响	77
第六节 pH 对尖孢镰刀菌生长的影响	82
第四章 尖孢镰刀菌的生态学特性	90
第一节 尖孢镰刀菌在作物体内的空间分布	90
第二节 枯萎病发生农田土壤微生物的群落组成	95
第三节 土壤根系尖孢镰刀菌数量与枯萎病发病的相互关系	100
第四节 枯萎病病株空间分布格局及其抽样技术	105
第五节 土壤尖孢镰刀菌种群变化动态	114
第五章 尖孢镰刀菌的生理学特性	117
第一节 尖孢镰刀菌的同工酶分析	117
第二节 尖孢镰刀菌 β -D-葡萄糖苷酶的测定	125
第三节 尖孢镰刀菌生长过程生物物质的变化	132
第四节 尖孢镰刀菌粗毒素的生理活性	137
第六章 尖孢镰刀菌的病理学特性	159
第一节 尖孢镰刀菌在黄瓜组培苗体内的侵染特性	159
第二节 尖孢镰刀菌在香蕉植株体内的侵染特性	163
第三节 尖孢镰刀菌在番茄植株体内的侵染特性	168

第七章 尖孢镰刀菌的分子生物学特性	171
第一节 尖孢镰刀菌 RAPD-PCR 的分析	171
第二节 瓜类尖孢镰刀菌的分子鉴定及其 ITS 区序列差异性分析	176
第八章 尖孢镰刀菌的种下分化特性	188
第一节 尖孢镰刀菌的营养亲和性	188
第二节 尖孢镰刀菌无毒基因 <i>SIX1</i> 序列分析	197
第三节 尖孢镰刀菌寄主专化型脂肪酸生物标记判别模型的建立	200
第九章 尖孢镰刀菌芽胞杆菌生防菌的研究	217
第一节 芽胞杆菌生防菌的筛选与鉴定	217
第二节 芽胞杆菌生防菌的生物学特性	223
第三节 芽胞杆菌生防菌的培养特性	231
第四节 芽胞杆菌生防菌对尖孢镰刀菌的抑制作用	248
第五节 芽胞杆菌生防菌的抑菌机理	259
第六节 芽胞杆菌生防菌的抑菌活性物质提取	267
第七节 芽胞杆菌生防菌的抑菌活性物质的理化特性	272
第八节 芽胞杆菌的功能成分分离与纯化	281
第九节 芽胞杆菌生防菌的定殖规律	292
第十节 芽胞杆菌生防菌对作物枯萎病的生物防治	299
第十章 尖孢镰刀菌假单胞杆菌生防菌的研究	306
第一节 假单胞杆菌生防菌的筛选与鉴定	306
第二节 假单胞杆菌生防菌的毒性检测	310
第三节 假单胞杆菌生防菌对尖孢镰刀菌的抑制作用	310
第四节 假单胞杆菌生防菌的抑菌活性物质分析	318
第五节 假单胞杆菌生防菌抗性菌株的筛选	324
第六节 假单胞杆菌生防菌在植株体内的定殖	329
第七节 假单胞杆菌生防菌对植株生长过程酶活性的影响	339
第八节 假单胞杆菌生防菌对枯萎病的生物防治	346
第十一章 尖孢镰刀菌真菌生防菌淡紫拟青霉的研究	352
第一节 生防菌淡紫拟青霉的筛选与鉴定	352
第二节 生防菌淡紫拟青霉的生物学特性	354
第三节 生防菌淡紫拟青霉的定殖规律	363
第四节 生防菌淡紫拟青霉的抑菌作用	365
第五节 生防菌淡紫拟青霉的抑菌机理	370
第六节 生防菌淡紫拟青霉的多糖研究	374
第七节 生防菌淡紫拟青霉对枯萎病的生物防治	381
第十二章 尖孢镰刀菌真菌生防菌哈茨木霉的研究	386
第一节 生防菌哈茨木霉的筛选与鉴定	386
第二节 生防菌哈茨木霉的生物学特性	389

第三节	生防菌哈茨木霉对尖孢镰刀菌的抑制作用·····	392
第四节	生防菌哈茨木霉的绿色荧光蛋白转化·····	395
第五节	生防菌哈茨木霉的定殖特性·····	399
第六节	生防菌哈茨木霉对土壤微生物群落结构的影响·····	402
第七节	生防菌哈茨木霉发酵条件的研究·····	413
第八节	生防菌哈茨木霉对枯萎病的生物防治·····	417
第十三章	枯萎病植物疫苗的研究·····	419
第一节	植物疫苗工程菌的无毒基因检测·····	419
第二节	植物疫苗工程菌的生理学特性·····	423
第三节	植物疫苗工程菌在植株体内的定殖特性·····	434
第四节	植物疫苗工程菌对枯萎病的生物防治·····	446
参考文献	·····	452
索引	·····	478

Contents

Preface

Chapter I	Research progress of crop fusarium wilt	1
Section I	Occurrence and damage of fusarium wilt	1
Section II	Biological characteristics of fusarium wilt pathogen	3
Section III	Physiological and biochemical characteristics of fusarium wilt pathogen	5
Section IV	Control of fusarium wilt	8
Chapter II	Occurrence and damage of crop fusarium wilt	15
Section I	Characteristics of solanaceous crop fusarium wilt and the pathogen isolation	15
Section II	Characteristics of cucurbitaceous crop fusarium wilt and the pathogen isolation	22
Section III	Characteristics of banana fusarium wilt and the pathogen isolation	30
Chapter III	Biological characteristics of fusarium wilt pathogen	35
Section I	Growth characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i>	35
Section II	Effect of medium nutrient on growth of <i>Fusarium oxysporum</i>	39
Section III	Effect of temperature on growth of <i>Fusarium oxysporum</i>	53
Section IV	Colony growth kinetics model of <i>Fusarium oxysporum</i>	56
Section V	Effect of ventilation on growth of <i>Fusarium oxysporum</i>	77
Section VI	Effect of pH value on growth of <i>Fusarium oxysporum</i>	82
Chapter IV	Ecological characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i>	90
Section I	Spatial distribution of <i>Fusarium oxysporum</i> inside crop	90
Section II	Soil microbial community composition of fusarium wilt in field	95
Section III	Relationship between fusarium wilt disease and number of <i>Fusarium oxysporum</i> in rhizosphere	100
Section IV	Spatial distribution pattern and sampling technique of <i>Fusarium oxysporum</i>	105
Section V	Population dynamics of <i>Fusarium oxysporum</i> in soil	114
Chapter V	Physiological characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i>	117
Section I	Isozyme analysis of <i>Fusarium oxysporum</i>	117
Section II	β -D-glucosidase determination of <i>Fusarium oxysporum</i>	125
Section III	Biochemicals change of <i>Fusarium oxysporum</i> during growth process	132

Section IV	Physiological activity of crude toxin of <i>Fusarium oxysporum</i>	137
Chapter VI	Pathological characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i>	159
Section I	Infection characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i> in cucumber plant tissue culture	159
Section II	Infection characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i> in banana plant	163
Section III	Infection characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i> in tomato plant	168
Chapter VII	Molecular biological characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i>	171
Section I	RAPD-PCR analysis of <i>Fusarium oxysporum</i>	171
Section II	Molecular identification of cucurbitaceous crop fusarium wilt pathogen and ITS sequence analysis	176
Chapter VIII	Subspecies differentiation characteristics of <i>Fusarium oxysporum</i>	188
Section I	Vegetative compatibility group of <i>Fusarium oxysporum</i>	188
Section II	Analysis of avirulence gene of <i>Fusarium oxysporum</i>	197
Section III	Discriminant model of forma specialis of <i>Fusarium oxysporum</i> by PLFA biomarkers	200
Chapter IX	<i>Bacillus</i> biocontrol agents of <i>Fusarium oxysporum</i>	217
Section I	Screening and identification of <i>Bacillus</i> strains against <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	217
Section II	Biological characteristics of <i>Bacillus</i> strains against <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	223
Section III	Culture characteristics of <i>Bacillus</i> strains against <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	231
Section IV	Inhibition of <i>Bacillus</i> strains on <i>Fusarium oxysporum</i>	248
Section V	Inhibition mechanism of <i>Bacillus</i> strains on <i>Fusarium oxysporum</i> ...	259
Section VI	Anti-fungus substances extraction of <i>Bacillus</i> strains	267
Section VII	Physiological characteristics of anti-fungus substances from <i>Bacillus</i> strains	272
Section VIII	Extraction and purification of functional components from <i>Bacillus</i> strains	281
Section IX	Colonization of <i>Bacillus</i> strains	292
Section X	Biocontrol of <i>Bacillus</i> strains against fusarium wilt	299
Chapter X	<i>Pseudomonas</i> biocontrol agents of <i>Fusarium oxysporum</i>	306
Section I	Screening and identification of <i>Pseudomonas</i> strains against <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	306
Section II	Toxicity testing of <i>Pseudomonas</i> strains	310
Section III	Inhibition of <i>Pseudomonas</i> strains on <i>Fusarium oxysporum</i>	310
Section IV	Analysis of anti-fungus substances from <i>Pseudomonas</i> strains ...	318

Section V	Screening of antibiotic resistant strains from <i>Pseudomonas</i>	324
Section VI	Colonization of <i>Pseudomonas</i> strains in banana plant	329
Section VII	Enzyme activity assay of banana plant treated with <i>Pseudomonas</i> strains	339
Section VIII	Biocontrol of <i>Pseudomonas</i> strains against fusarium wilt	346
Chapter XI	<i>Paecilomyces lilacinus</i> biocontrol agents of <i>Fusarium oxysporum</i>	352
Section I	Screening and identification of <i>Paecilomyces lilacinus</i> against <i>Fusarium oxysporum</i>	352
Section II	Biological characteristics of <i>Paecilomyces lilacinus</i>	354
Section III	Colonization of <i>Paecilomyces lilacinus</i>	363
Section IV	Inhibition of <i>Paecilomyces lilacinus</i> on <i>Fusarium oxysporum</i>	365
Section V	Inhibition mechanism of <i>Paecilomyces lilacinus</i> on <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	370
Section VI	Polysaccharides of <i>Paecilomyces lilacinus</i>	374
Section VII	Biocontrol of <i>Paecilomyces lilacinus</i> against fusarium wilt	381
Chapter XII	<i>Trichoderma harzianum</i> biocontrol agents of <i>Fusarium oxysporum</i>	386
Section I	Screening and identification of <i>Trichoderma harzianum</i> against <i>Fusarium oxysporum</i>	386
Section II	Biological characteristics of <i>Trichoderma harzianum</i>	389
Section III	Inhibition of <i>Trichoderma harzianum</i> on <i>Fusarium oxysporum</i>	392
Section IV	Green fluorescent protein transformation of <i>Trichoderma</i> <i>harzianum</i>	395
Section V	Colonization of <i>Trichoderma harzianum</i>	399
Section VI	Effect of <i>Trichoderma harzianum</i> on soil microbial community structure	402
Section VII	Fermentation conditions of <i>Trichoderma harzianum</i>	413
Section VIII	Biocontrol of <i>Trichoderma harzianum</i> against fusarium wilt	417
Chapter XIII	Plant vaccine of <i>Fusarium oxysporum</i>	419
Section I	Avirulence gene detection of nonpathogenic <i>Fusarium oxysporum</i>	419
Section II	Physiological characteristics of nonpathogenic <i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i>	423
Section III	Colonization of nonpathogenic <i>Fusarium oxysporum</i> in plant	434
Section IV	Biocontrol of nonpathogenic <i>Fusarium oxysporum</i> against fusarium wilt	446
References		452
Index		478

第一章 农作物枯萎病的研究进展

第一节 枯萎病的发生与危害

一、枯萎病病原菌

枯萎病是一类植物病害的总称，由病原菌的侵害，造成植物萎蔫枯死。枯萎病病原菌有细菌性病原菌（郭权，1993）和真菌性病原菌（潘光照和何旭平，1999）共2种。本书所指的枯萎病病原菌为真菌性病原菌，是由镰刀菌属真菌寄生引起的一种世界性的土传病害（朱乾浩，1994）。其中尖孢镰刀菌（*Fusarium oxysporum* Schl）是主要病原菌种类之一。尖孢镰刀菌属半知菌类（Fungi Imperfecti）梗孢目（Moniliales）座孢科（Tubercular）镰刀菌属（*Fusarium*）。Snyder 和 Hansen（1940）把镰刀菌属美丽组内的种合并为1种，建立尖孢镰刀菌（*F. oxysporum*）（Caesar et al.，2002）。

二、寄主范围

尖孢镰刀菌的寄主包括：①经济作物：棉花、油桐、蓖麻、亚麻等（刘雪静等，1994；花锁龙，1991）；②茄科作物：番茄、胡椒、茄子、烟草、马铃薯等（郑贵彬和王发科，2000；田世民等，1995）；③瓜类作物：黄瓜、节瓜、冬瓜、西瓜、南瓜、西葫芦、甜瓜、丝瓜、白瓜、越瓜、苦瓜、葫芦瓜、哈密瓜等（谢大森和陈家旺，1997）；④豆科作物：大豆、四季豆、豇豆、猪屎豆、豌豆等（王昌家等，2000）；⑤花卉植物：康乃馨、郁金香、鱼尾菊、非洲菊、鸢尾、水仙、翠菊、合欢、百合、仙人掌、穿心莲、一品红、草坪草等（赵志昆和田海震，2000；李诚和李俊杰，1996）；⑥水果植物：松树、相思树、柑橘、沙棘、水杉、梨树、铁线莲属植物等（李志坚等，2002；高国平等，1994）；⑦其他植物：莴苣、小麦、大蒜、荸荠、芦笋、姜、香蕉等（林时迟等，2000；王祥胜等，1999）。

三、危害症状

植株被尖孢镰刀菌侵染后，发病症状多种多样（刘铁斌，2002），一般导致植株枯黄、维管束褐变、球茎和根腐烂、植株生长衰弱（潘光照和何旭平，1999）。植株发病后，最初的症状表现为嫩叶上出现轻微的褪绿（谢大森和陈家旺，1997），而后老叶开始下垂。苗期植株发病后迅速死亡（马存等，2002）；成株期发生叶脉失绿和叶片下垂，植株生长缓慢、下部叶片黄化、不定根形成、叶片和嫩茎萎蔫、落叶、剩余叶片边缘坏死，最终全株死亡（Abbas，1988）。维管束组织的褐变是尖孢镰刀菌引起枯萎病的最