

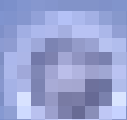


农业部农业环境与气候变化重点开放实验室

农业生物资源 与环境修复

朱昌雄 主编

中国农业科学技术出版社



中华人民共和国自然资源部
生态环境部

自然资源部
生态环境部

与环境修复

自然资源部 生态环境部

生态环境部 自然资源部



农业部农业环境与气候变化重点开放实验室

农业生物资源 与环境修复

朱昌雄 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业生物资源与环境修复 / 朱昌雄主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2009. 3

ISBN 978 - 7 - 80233 - 773 - 2

I. 农… II. 朱… III. 农业 - 环境污染 - 污染防治 IV. X592

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 189702 号

责任编辑 张孝安

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82109708(编辑室)(010)82109704(发行部)

(010)82109703(读者服务部)

传 真 (010) 82109709

网 址 [http://www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 26. 25

字 数 600 千字

版 次 2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

定 价 120. 00 元

前 言

为了探讨我国“十一五”期间农业生物资源与环境调控的发展趋势,推动各单位“产、学、研、用”全面发展,编者于2006年10月25日在福建省厦门市召开了“第一届全国生物资源与环境调控学术研讨会”,旨在为该领域的学者与专家搭建了一个良好的交流与合作平台。第一届学术交流与研讨会得到了中国农学会农业资源与环境分会和中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所的大力支持,同时也得到了与会专家、学者、企业家与相关人士的支持。经过两年多的深入研究,各位专家、学者、企业家和相关人士在该领域都取得了一定的成绩。为了更好地开展交流与合作,也为了维护本届大会的宗旨,加速生物环境保护产业的发展进程,提升整个产业的技术水平,为农业源污染的防治和农业可持续发展及安全与健康食品的生产做出贡献,编者于2008年7月13日在山东省烟台市召开了“第二届全国农业生物资源与环境调控学术研讨会”。该会的召开得到了与会代表的大力支持,同时得到了科技部国家水体污染控制与治理重大科技专项——典型村镇饮用水安全保障技术体系研究与示范项目(2008ZX07425)的大力支持,编者在此代表组织委员会表示衷心的感谢。

“第二届全国农业生物资源与环境调控学术研讨会”收到论文70余篇。来稿从不同的角度反映了我国在生物资源与环境调控领域的有关研究、开发和应用现状。为了促进该



领域的发展与学术交流,本书从大会投稿中选取优秀论文 25 篇,与本书编者撰写的相关内容汇编为正式出版物。编委会根据与会者研究方向的不同,将该书分为农业微生物资源与环境调控、肥料污染控制与生态修复、农药污染与治理、畜禽养殖废弃物的污染及其处理利用、水产养殖污染与修复、重金属污染与修复、农产品加工业的污染和治理、石油污染土壤的微生物修复和外来入侵生物与污染控制等九个部分,对各领域的国内外研究进展和发展趋势等进行了概括和总结,以便业内外人士更好地了解该领域的现状和发展趋势。

现就书中的有关事项说明如下:

一、本书中的文章除个别的为特邀文章外,其余均来自于会议论文;

二、凡入选的论文文字均以作者来稿为准,除个别稿件进行编辑加工技术处理外,大多数论文未作实质性的改动;

三、凡入选的论文,文责自负,多位作者的论文在目录中仅列第一作者姓名;

四、由于论文交付时间先后不一,加之印刷时间紧迫,全书在编辑过程中错误和不妥之处在所难免,敬请读者谅解。

本书在编辑和出版过程中得到了多位专家、学者的关爱和指导,以及各参会代表积极地撰稿和投稿。在此,编者向所有投稿作者表示衷心的感谢,并致以崇高的敬意!

编者

2008 年 10 月

目 录

第一章 农业微生物资源与环境调控 (1)

- 放线菌资源的重要性及相关菌种的分类鉴定 张 丽等 (24)
- 复合菌群的构建及其对 COD 去除率的影响 赵永坤等 (32)
- 几株生物固氮菌的筛选及其 16S rDNA 序列分析 王 瑞等 (41)
- 中温厌氧纤维素降解细菌的分离、鉴定及其系统发育研究 罗 辉等 (46)
- 一株巴非霉素产生菌的分类鉴定及其代谢产物的生物学活性研究 万中义等 (55)
- 约氏不动杆菌 (*Acinetobacter johnsonii*) CH-1 的分离及其聚磷特性的研究 连丽丽等 (59)

第二章 肥料污染控制及生态修复 (67)

- 枯草芽孢杆菌微生物肥料的应用效果研究 刘兆辉等 (95)
- 保水剂对氮肥氨挥发和氮、磷、钾养分淋溶损失影响 杜建军等 (101)
- 氮素水平和氧气状况对氨氧化细菌和氨氧化古菌群落结构的影响 王亚男等 (110)

第三章 化学农药污染及治理 (121)

- 山东设施蔬菜病虫害现状及其综合防治策略 李世贵等 (148)
- 耐除草剂木霉菌初步筛选及鉴定 顾金刚等 (153)

第四章 畜禽养殖废弃物的污染及其处理利用 (161)

- 东江流域农业产业结构与水体污染 郭 萍等 (188)
- 养殖污染水体生物控制技术的研究 郭 萍等 (194)
- 粪污资源化技术研究 徐晓锋等 (201)

第五章 水产养殖污染成因及其废水的处理方法 (209)

- 脱氮微生物的筛选、菌群构建及脱氮效果的初步研究 肖晶晶等 (234)
- 植物修复技术在水产养殖中的应用前景探讨 姚振锋等 (241)



第六章 重金属污染及其修复 (247)

- 不同含磷量褐土对锌镉吸附与解吸的影响 刘 芳等 (273)
- 集约化养殖废弃物重金属污染及其防治对策 黄治平等 (280)
- 植物修复重金属污染土壤根际效应研究 乔冬梅等 (286)
- 铜矿区铜抗性植物内生细菌的分离鉴定及促生特性的研究 张艳峰等 (293)

第七章 农产品加工业的污染和治理 (299)

- 糖业产业节能减排和循环经济新模式 李瑞波等 (325)

第八章 石油污染土壤的微生物修复 (331)

- 石油污染物对山东省三种类型土壤微生物种群以及土壤酶活的
影响 王 梅等 (362)
- BIOLOG 技术在石油污染土壤微生物修复研究中的应用 李宝明等 (370)

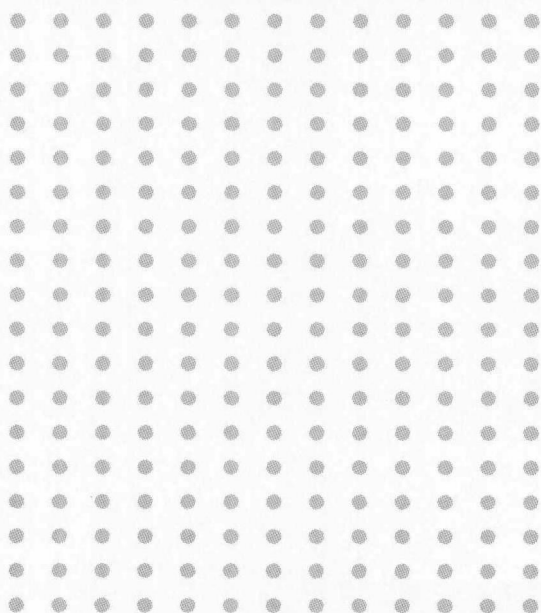
第九章 外来入侵生物与污染控制 (377)

- 东亚小花蝽成虫对西花蓟马的捕食作用 于 毅等 (403)
- 外来入侵杂草化感效应研究进展 陈 艳等 (407)



第一章

农业微生物资源 与环境调控



农业微生物资源与环境调控

1 农业微生物资源保藏机构及职能

1.1 农业微生物资源概念

微生物资源是指可培养的、有一定科学意义或实用价值的细菌、真菌、病毒、细胞株及相关的信息资料。农业微生物是与农业生产（农作物种植业、畜禽饲养业和水产养殖业）、农产品加工、农业环境保护和农业生物技术有关的微生物的总称。在生物技术众多领域中，微生物酶工程技术是农业技术革新中的最主要力量之一。我国拥有世界的生物资源达10%，据不完全统计其中微生物种类有3万种以上，与世界其他国家相比较，这种优势是不可多得的，同时还意味着我国的微生物工程和酶工程研究由于如此丰富的材料而具有很大的发展潜力^[1]。微生物资源开发有着巨大的潜力，微生物技术的可促进了传统农业的革新和改造，农业微生物研究涉及农业生产环境的各方面。微生物可以把农作物秸秆、糟、粕及其他农副产品转化成动物饲料，也可以转变成生物肥料，活化土壤中难以利用的营养元素，提高土壤养分供应能力，具有保水、保肥能力。微生物农药高效、安全、无残留，不杀伤天敌，有利于生态平衡，并且可大幅度减少化学农药的施用，有效降低农产品中的有毒物质残留。微生物饲料可促进畜禽肠道有益菌群建立，抑制病原菌繁殖，提高动物防病抗病能力，减少化学兽药和抗生素使用量，降低甚至消除化学兽药和抗生素在畜产品中的残留。微生物生态环境保护剂，可直接清除水、土壤和空气中的有害化学物质，消除污染。

1.2 微生物保藏机构发展进程

微生物菌种资源保藏机构缘起欧洲，捷克微生物学家 Fran-tisek Kral 最早从事微生物菌种的公共性保藏。1890 ~ 1911 年，Karl 收集保藏了世界上一大批有价值的菌种，并于1900年、1902年、1904年和1911年连续出版菌种目录。1911年7月22日，Karl 去世后，Ernst Pribram 教授负责保管 Karl 的菌种。Pribram 教授并于1914年将 Karl 的菌种带到奥地利维也纳州立血清研究所。1911 ~ 1914 年期间，由于疏于管理和保藏技术的限制，大部分菌种失活。第二次世界大战前夕，Pribram 教授将 Karl 保藏室的部分菌种带到美国芝加哥 Loyola 大学。1938年，Pribram 教授遇车祸去世，带去的菌种命运也无从知晓，留在欧洲的菌种也因第二次世界大战而被毁掉^[2]。除 Kral 建立的菌种保藏室之外，20世纪初在法国、比利时、英国和日本的有关研究所也相继建立了几个菌种保藏机构，但无从查找相关资料。有据可查的是1906年在荷兰建立的 CBS (Central-



bureau voor Schimmelcultures)。随后,美国、日本和英国等一些菌种保藏机构相继成立。例如美国于1925年成立 America Type Culture Collection,简称 ATCC。

我国的微生物菌种资源保藏工作虽开展较早,但过程较曲折。我国近代微生物菌种保存始于20世纪20年代,仅零星的菌种存放于相关酿造实验室。新中国成立之前,国家一直处于战乱时期,对微生物种质资源收集、保藏工作不重视,没有专门的机构,菌种保藏、检测、鉴定技术及设施相当落后。30年代后期,方心芳先生在黄海化学工业研究社工作期间,注重收集与保存微生物菌种资源。1950年冬,中国科学院竺可桢副院长到黄海化工研究社征询如何转移保藏在大连科学研究所内的微生物菌种时,方心芳提出了设立全国性微生物菌种保藏机构的建议。1951年中国科学院成立了菌种保藏委员会,1953年初,菌种保藏委员会成为具有实体的科研机构,在方心芳的具体领导下着手积极开展菌种收集、保藏和研究工作^[3]。此外,一些从事微生物的研究单位相继成立了菌种保藏组,如中国农业科学院土壤肥料研究所的菌种保藏组,开始收集以根瘤菌、农用抗生素产生菌以及微生物肥料用菌等农业微生物菌种;中国医药生物制品检定所,收集医学细菌等。1979年,在原国家科委的组织领导下,召开了第一届全国菌种保藏会议,成立了中国微生物菌种保藏管理委员会,成立了6个专业性保藏管理中心。1984年7月,召开了第二届全国菌种保藏会议,成立了第七个专业性保藏管理中心,分别是普通微生物、农业微生物、工业微生物、兽医微生物、林业微生物、医学微生物和抗生素(后改为药用微生物)菌种中心,7个中心在各自专业领域内收集、鉴定、评价、保藏、供应微生物菌种,并承担国际交流任务。此后,教育部成立了中国典型培养物保藏管理中心,一些大学、研究所成立了一些专业微生物保藏机构,如海洋微生物菌种保藏管理中心等。

1.3 微生物保藏机构的核心职能

微生物资源的挖掘、利用、保护及保存。微生物新种属的发现认知,将是一个长期的过程。从巴斯德研究酵母发酵开始算人类有意识利用微生物资源开始的话,至今已有100多年的历史,20世纪50年代后,则是大规模利用微生物资源的黄金期,并且取得了辉煌的成就。80年代以后,由于分子生物学技术的发展,才意识到我们所认识的微生物仅仅是实有数的1%~10%,甚至不到千分之一。例如,目前我们所知道的真菌仅占5%,实际可能有150多万种^[4];笔者知道的细菌仅占12%,实际可能有4万种。如果说我们所认识到的微生物资源仅占实有数的10%,实际被人们利用的不到0.1%,对微生物功能多样性的认识有待于进一步加强,微生物的开发利用有巨大的提升空间。ICCC-11会议上的微生物生态型(Phenotype)^[5]的提出,对于理解、研究微生物资源的多样性具有深刻意义。

微生物保藏技术研究与应用。避免微生物菌株在保藏过程中形态特征、生理生化性状、基因信息的变化对于菌株的工业化生产、分类、教学研究具有重要意义。虽然微生物菌株在长期保藏中不可避免的出现致病力下降、酶活力下降、酶活性丢失,但从Ryan等人的研究中可以发现,采用不同的保藏程序方法可以不同程度的降低菌株长期保藏过程中退化。此外,菌株在致病活性、酶活力性状的长期保藏对保藏工艺选择性体

现在“株”的水平上,同一个种菌种的不同菌株也需要进行保藏工艺的研究才能保证其形态特征、生理生化特征的稳定遗传。对于一些微生物菌株诱导酶活性的丢失,一般情况下只要菌株基因信息完整,在加入相应诱导物,菌株会重新恢复一定的产酶能力,但酶活力的产量是否得到恢复视具体情况而定。对于一些生产性的菌株或工程菌株来说,多是经过诱变、基因重组、基因突变或转基因等手段得到,其基因组的稳定性相对于野生菌株来说,稳定性可能下降,此类菌株在长期保藏的过程中需要特殊的保藏工艺处理,才能够保证基因信息的稳定遗传^[6,7]。

模式菌和标准菌株保存与共享。模式菌和标准菌株可广泛应用于分类、检测等各项研究中。世界培养物保藏联盟(World Federation of Culture Collection, WFCC)的指导手册中也明确指出“菌种保藏中心保存一些经鉴定的、国际承认的参考菌株是必要的”。在全球的 WDCM 微生物保藏中,据不完全统计,细菌模式菌约有 18 560 株,真菌模式菌 25 098 株,微藻类模式菌 1 774 株,古菌模式菌 427 株^[8]。从整体而言,我国微生物菌种保藏机构模式菌和标准菌株的保藏比例较小。

微生物资源规范管理的实践者。为了保证微生物资源的可持续利用,CBD 公约的规定如下:“每一缔约国应尽可能并酌情在国家决策过程中考虑到生物资源的保护和持续利用;采取有关利用生物资源的措施,以避免或尽量减少对生物多样性的不利影响;保护并鼓励那些按照传统文化惯例而且符合保护或持续利用要求的生物资源习惯使用方式;在生物多样性已减少的退化地区资助地方居民规划和实施补救行动;鼓励其政府当局和私营部门合作制定生物资源持续利用的方法。最好在遗传资源原产国建立和维持移地保护及研究植物、动物和微生物的设施,采取措施以恢复和复原受威胁物种并在适当情况下将这些物种重新引进其自然生境中,进行合作,为以上所概括的移地保护措施以及在发展中国家建立和维持移地保护设施提供财政和其他援助,按照本公约有关条款从事保护生物多样性、持续利用其组成部分以及公平合理分享由利用遗传资源而产生的惠益”。微生物菌种保藏机构的运行是国际、国家政策的执行者与维护者。

《中国微生物菌种保藏管理条例》第二章第四条规定如下:“(一)各保藏管理中心有权向国内有关单位收集和索取有一定价值的菌种;(二)凡单位或个人分离,选育或引进具有一定价值的菌种,应及时将该菌种的复制培养物及详细资料,送交有关保藏管理中心。确认有保存价值者,方可入藏;(三)下述菌种均为国家重要的生物资源,均需向有关中心办理入藏手续。1. 申请专利的菌种;2. 报部和省、自治区、直辖市级科研成果所涉及的菌种;3. 新种、新型菌种。”第五条规定如下:“(一)各保藏管理中心所保藏的菌种,必须具有该菌种的详细历史及有关实验资料;(二)各保藏管理中心对其所负责保藏的菌种均应采取妥善、可靠的方法保藏,避免菌种的污染或死亡;(三)各保藏管理中心应制定安全、严密的保管制度,并指定专人负责;(四)各保藏管理中心应尊重申请保藏单位或个人的劳动成果,并为其作证,维护其合法权益,不得擅自扩散。”此外,《食用菌菌种管理办法》(农业部令第 62 号)第二章第九条规定“从境外引进菌种,应当依法检疫,并在引进后 30 日内,送适量菌种至中国农业微生物菌种保藏管理中心保存”。



1.4 微生物资源保藏概况

截止到2008年8月6日,有67个国家536个菌种保藏机构在WDCM注册,约保藏150余万株微生物菌种资源,其中细菌约572 203株,真菌477 671株,病毒15 801株,细胞系11 269株,其他微生物318 475株^[8]。我国自2003年启动微生物菌种资源平台项目建设以来,对各微生物保藏机构的微生物菌株进行了整理整合,截止到2007年12月31日,中国农业、医学、药用、兽医、工业、林业、海洋以及武汉大学等微生物菌种保藏中心已保藏整理、整合完成11.2万株,累计保藏菌株数量达18.2万株。我国农业微生物资源在环境降解、肥效用、食用菌、植物病原、生物防治、能源、微生物饲料、特殊环境和基因资源9个领域整理整合1.73万株,安全保藏各类微生物资源1.2万余株。

2 生物防治微生物资源及应用

2.1 微生物农药定义及生防微生物的种类

微生物农药(Microbial pesticides)是生物农药(Biopesticides)的重要组成部分。生物农药是指微生物本身以及源于微生物、植物及其他生物体的产物^[9],其内涵是通过生物的作用(非化学毒性)方式杀死有害生物。美国环保局EPA将生物农药分为3类:活体微生物组成的微生物农药,转基因植物农药(Plant-Incorporated-Protectants, PIPS)通过非毒性作用机制天然存在的生物化学农药。我国学者对微生物农药的定义是利用微生物及其基因产生或表达的各种生物活性成分^[10]。显然这一定义包括了通过化学毒性作用的农药。微生物农药(活体)是目前生物农药研究中最活跃的领域,每年登记的数量在不断增加。在“The Biopesticide Manual”^[11]中,登记注册的微生物农药组分达60个。美国环保局登记的微生物(病毒、细菌、放线菌和真菌)种、变种及专化型达42种。我国登记注册的微生物农药组分18个,产品53个之多^[12]。尽管微生物农药的品种较多,但目前的市场主要是Bt制剂。用于有害生物治理的微生物资源非常丰富,具体有多少种微生物没有确切的统计,昆虫病原微生物(细菌、病毒、真菌和线虫)报道有1 500多种^[13]。其中,昆虫病原真菌达750种之多^[14],而研究较多的只有20种左右^[15]。

2.2 生防制剂的研究与应用

2.2.1 Bt制剂的研究与应用 苏云金芽孢杆菌(Bt)是一种杆状细菌,因从德国苏云金省发现、分离而得名,至今已近百年。它是目前世界上用途最广、开发时间最长、产量最大、应用最成功的微生物杀虫剂,占生物防治剂总量的95%以上,已有60多个国家登记了120多个品种,广泛用于防治农业、林业、贮藏物害虫以及医学昆虫。美国用以防治蔬菜害虫和玉米害虫的面积分别占总面积的80%和50%,销售额从80年代末的4 000万美元上升到90年代的5亿多美元。我国于1959年引进Bt杀虫剂,1965年在武汉建成国内第一家Bt杀虫剂生产企业。经过多年的发展,Bt杀虫剂已成为我国工业化

和生产水平最高的生物农药之一。我国目前已登记的 Bt 杀虫剂粉剂有 16 种, 液剂 12 种, 生产厂家达 76 家, 年产量达 $2.0 \times 10^8 \sim 3.0 \times 10^{10}$ kg, 在 20 多个省、市、区用于防治粮、棉、果、蔬、林等作物上的 20 多种害虫, 使用面积达 300hm^2 以上。近年来, 高含量的 Bt 杀虫剂粉剂已出口到泰国、新加坡、美国等国家和我国台湾省。采用基因工程技术构建药效稳定, 防治面较广的 Bt 工程菌剂, 是当前生物农药发展的新趋势。我国构建的高效杀虫重组苏云金杆菌已于 2000 年底通过了安全性评价获准进行商品化生产, 而且第二代细胞工程杀虫剂和第三代基因工程杀虫剂即将问世, 它可以克服杀虫谱窄、持效期短和药效慢等弊端。

2.2.2 病毒杀虫剂的研究与应用 昆虫杆状病毒是一类重要的、较早应用的昆虫病原微生物。迄今为止, 发现的昆虫病毒已超过 1 000 多株, 涉及 11 个目的 900 多种昆虫, 已有 20 多个国家对 30 多种病毒杀虫剂进行了登记、注册、生产和应用。昆虫杆状病毒杀虫剂是我国第一个商品化生产的病毒杀虫剂, 粉剂和乳悬剂都已推广应用于棉铃虫的防治。斜纹夜蛾 NPV 杀虫剂——咀瘟一号、黄地老虎 GV 杀虫剂和菜青虫 GV 杀虫剂等 9 种昆虫病毒杀虫剂均已注册, 每年使用面积达到 $6.6 \times 10^6\text{hm}^2$ 以上。我国采用利尿激素基因、昆虫保幼激素酯酶基因、Bt 杀虫蛋白基因、蝎神经毒素基因等构建的重组病毒杀虫剂大大缩短了害虫致病时间, 防治效果显著。

2.2.3 真菌杀虫剂的研究与应用现状 真菌杀虫剂等新型生物农药在病虫害防治中也显示出良好的应用前景。应用真菌杀虫剂防治害虫一直受到国内外的广泛关注, 国际生防组织使用黄绿绿僵菌防治沙漠蝗虫, 美国引进舞毒蛾噬虫霉防治舞毒蛾, 巴西使用金龟子绿僵菌防治甘薯沫蝉等, 均取得了显著效果。我国开展真菌制剂的研究开发已有 30 多年的历史, 其中主要以研究球孢白僵菌为主。白僵菌对多种农林害虫具有致死作用, 已知的寄生昆虫达 707 种, 大面积用于防治松毛虫、玉米螟和水稻叶蝉等害虫。目前虽然还未开发成功白僵菌制剂产品, 但每年应用白僵菌在南方地区大面积防治林区松毛虫和东北地区防治玉米螟等的面积达 $7.0 \times 10^6\text{hm}^2$ 。木霉菌已开发成功, 取得农药登记注册, 用于防治蔬菜灰霉病具有较理想的效果和应用前景。目前处于小试和中试阶段的真菌制剂还有绿僵菌 (主要用于防治地下害虫、天牛蝗等)、淡紫拟青霉 (具有较高的杀虫活性, 其发酵液含有类似生长素和细胞分裂素的成分, 主要用于防治大豆孢囊线虫和烟草根结线虫)、虫霉和蜡蚧轮枝菌等。

2.2.4 真菌除草剂的应用与研究现状 随着除草剂在农业中的广泛应用, 利用高效低毒的微生物除草剂引起了许多发达国家的重视, 并相继开展了大量的研究工作, 涉及的微生物有 80 多种。真菌除草剂主要属丝孢纲和腔孢纲, 其中 17% 具有良好或极好的实际使用前景。我国对于微生物除草剂也有一定的研究, 如山东省农业科学院植物保护研究所筛选的“鲁保一号”微生物除草剂是一种专性寄生于菟丝子的黑盘孢目毛炭疽菌属的真菌, 防除主要的农田杂草菟丝子效果显著。20 世纪 70 年代, 在 20 多个省推广应用, 防效率达 85% 以上, 平均可挽回损失达 30% ~ 50%。



3 肥效微生物资源及应用

3.1 微生物肥料概况

肥料效应用微生物种质资源分为两类,一类是通过其中所含微生物的生命活动,增加了植物营养元素的供应量,导致植物营养状况的改善,进而产量增加,代表品种是要菌肥;另一类是广义的微生物肥料,其制品虽然也是通过其中所含的微生物生命活动作用使作物增产,但它不仅仅限于提高植物营养元素的供应水平,还包括了它们所产生的次生代谢物质,如激素类物质对植物的刺激作用,促进植物对营养元素的吸收利用,或者能够拮抗某些病原微生物的致病作用,减轻病虫害而使作物产量增加。

国外对微生物肥料的研究和应用历史较我国长,其主要的品种是各种根瘤菌肥。早在20世纪20年代在美国、澳大利亚等国就开始有根瘤菌接种剂(根瘤菌肥料)的研究和试用。此外,前苏联及东欧一些国家的科研人员进行了固氮菌肥料和磷细菌肥料的研究和应用,所用的菌种为圆褐固氮菌和巨大芽孢杆菌。他们和捷克斯洛伐克、英格兰及印度研究固氮菌的工作者证实,这类细菌能分泌生长物质和一种抗真菌的抗生素,能促进种子发芽和根的生长;20世纪70年代末和80年代初,一些国家对固氮细菌和解磷细菌进行了田间试验,结果各异,对其作用还有相当大的争议。但在固氮螺菌与禾本科作物联想合共生的研究中取得了一定的进展,在许多国家作为接种剂使用。

关于微生物肥料方面的研究,我国起始于20世纪50年代。20世纪50年代,我国从前苏联引进自生固氮菌、磷细菌和硅酸盐细菌剂,称为细菌肥料;20世纪60年代又推广使用放线菌制成的“5406”抗生素肥料和固氮蓝绿藻肥;20世纪70~80年代中期,又开始研究VA菌根,以改善植物磷素营养条件和提高水分利用率;20世纪80年代中期至90年代,农业生产中又相继应用联合固氮菌和生物钾肥作为拌种剂。

1995年曾估计全国有生产企业120家总产量40万t,根据目前的调查结果,我国生产微生物肥料企业总数可能超过500家,总产量超过500万t。全国除了西藏自治区以外,其余省市均有生产企业,但数量和分布不均衡。企业的组成仍在“洗牌”,一些企业经营不善退出,又有新的企业上马。

根据对当前微生物肥料行业生产品种的不完全统计,已经投入生产和正在研发过程的品种分为两大类:一类为微生物发酵扩培为主的菌剂类,其中包括根瘤菌及固氮菌剂、解磷细菌菌剂、硅酸盐菌剂、促生菌剂、有机物料秸秆腐熟剂、放线菌菌剂、光合细菌菌剂、菌根真菌制剂、厌氧菌制剂和土壤水体修复剂等。另一类为微生物制剂与营养物质有机和无机复配的生物有机肥或生物有机无机肥料类。产品中所使用的菌种早已突破过去的种类少、组合单一的模式。据不完全统计已达80种以上^[16],见表1所示。

表 1 微生物肥料主要类型^[17]

肥料类型			微生物组成	主要产品	应用对象
单一菌肥	固氮菌肥料	固氮菌肥料	固氮菌属 芽孢梭菌属 粪产碱杆菌固氮红螺菌 固氮蓝细菌 固氮螺菌	肥力高	甘蔗、小麦、燕麦、谷物、棉花和蔬菜等
		根瘤菌肥料	固氮根瘤菌		豆科植物
	解钾、磷细菌肥料	硅酸盐细菌肥料	钾细菌、硅酸盐细菌	“巨微”牌硅酸盐菌剂	玉米、棉花、水稻、小麦、烤烟和薯类等
		磷细菌肥料	磷细菌		稻、麦、大豆等
	抗生素肥料	放线菌、产抗生素菌	“5406”抗生素肥料、奇四抗生素肥		棉花等
	菌根菌肥料	彩色豆马勃菌 内囊霉菌（VA菌根）			造林、需要育苗的植物
	光合生物肥料	红螺菌、紫硫菌等	PSB 生物肥料		果蔬作物
复合生物肥料	PGPR	肥料革兰氏阴性细菌			苜蓿和小麦
	复合微生物-微量元素复合生物肥料	钼、钴、钨	“阿姆斯”、“保绿丰”		蚕豆
	联合固氮菌复合生物肥料	雀稗固氮菌、联合固氮细菌、固氮菌、根瘤菌	EM、酵素菌、辽农牌植物动力微生物菌剂、“绿工”牌生物		小麦与各种作物
	磷细菌和钾细菌复合生物肥料	磷细菌和钾细菌有机肥	微生物福贝菌剂		
	多菌株多营养复合生物肥料	EM（光合细菌、乳酸菌、酵母菌、放线菌等）“垦易”（细菌、放线菌、霉菌、酵母及芽孢杆菌）	“农业一号”、“田力宝”、“垦易”		

3.2 主要肥效微生物资源

3.2.1 根瘤菌 根瘤菌是一类共生固氮细菌的总称，它的突出特点是能与豆科植物形成共生体，将大气中的氮分子转化成氨，供宿主植物作氮肥。全球豆科植物共有 700 多个属，19 700 多个种，我国约有 150 多个属，1 500 多个种，在这近 2 万种豆科植物中做过结瘤情况调查的不过 3 000 种，而进行过共生关系研究的仅 0.5% 左右。中国农业大学“根瘤菌资源多样性研究课题组”历经 30 余年的努力，为根瘤菌应用积累了丰硕的种质贮备和研究成果：在全国 32 个省、市、区 700 多