

中国微生物肥料的研究现状及前景展望

刘 鹏, 刘训理

(山东农业大学林学院, 山东泰安 271018)

摘要: 文章回顾了中国微生物肥料的发展历史, 简述了微生物肥料的分类、主要功效、作用机制、在不同作物上的应用及发展过程中存在的问题。指出微生物肥料可有效改善土壤环境、提高土壤肥力、防治土传病害、增加作物产量和减少化肥使用量, 是发展“绿色农业”、“生态农业”的需要。目前, 中国的微生物肥料仍存在着整体水平不高、技术创新不足、产品效果不稳定和市场管理混乱等问题, 因此, 需进一步加强基础性研究、完善生产工艺、加强监督管理, 加大资金投入和协同创新, 以促进微生物肥料的健康、快速发展。

关键词: 微生物肥料; 分类; 功效; 作用机制; 应用现状

中图分类号: S144

文献标志码: A

论文编号: 2013-0018

Current Research Status and Prospect of Microbial Fertilizer in China

Liu Peng, Liu Xunli

(College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: The history of microbial fertilizer in China was reviewed in this article, and the main classification, efficacy, mechanism of action, application in different crops and the problems in the development of this industry were briefly described. Pointing out the microbial fertilizers can improve the environment and the fertility of soil, control the soil-born diseases, increase crop production and reduce the dosage of chemical fertilizers. And it's the need of developing the "green agriculture" and "ecological agriculture". At present, it still has many problems like whole level is low, lacking of technological innovation, instable of effect and confusion of market management. Therefore, its needs to strengthen the basic research, improve the process, strengthen the supervision and management, increase the capital investment and collaborative innovation. These can promote the microbial fertilizer developing healthy and rapidly.

Key words: Microbial Fertilizer; Classification; Efficacy; Mechanism; Application Status

0 引言

中国是传统的农业大国, 农业在国民生产中一直占据着非常重要的位置。现代农业技术推动了农业生产的快速发展, 特别是化学肥料的推广使得农业产生了巨大的经济效益^[1]。近年来, 大量使用化肥带来的环境污染、土壤板结、地力衰退、生态恶化等问题日益严重, 破坏了环境, 影响了土壤肥力, 降低了农产品的品质。另外, 化肥利用率的逐年降低, 致使农业成本增

加, 生产效益降低。为了实现农业的可持续发展, 达到高产、优质、高效、生态、安全的目的, 世界各国都在积极寻求更好的解决方案。微生物肥料以其改良土壤、增加产量、提高品质且保护环境等特点而成为研究的热点。微生物肥料中特定的功能微生物通过自身的生命活动促进土壤中物质的转化、提高作物营养水平、促进和协助营养吸收、刺激调控作物的生长, 防治有害微生物等, 从而达到增加作物产量和提高作物品质的目

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项“杨树人工林连作障碍土壤微生物修复剂的研制与试验示范”(201304212)。

第一作者简介: 刘鹏, 男, 1987年出生, 山东莱芜人, 硕士, 研究方向为土壤与环境微生物。通信地址: 271018 山东省泰安市岱宗大街61号 山东农业大学林学院, Tel: 0538-8249131, E-mail: liupengsdau1987@163.com。

通讯作者: 刘训理, 男, 1961年出生, 山东即墨人, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为应用微生物学和环境微生物学。通信地址: 271018 山东省泰安市岱宗大街61号 山东农业大学林学院, Tel: 0538-8249131, E-mail: xlliu@sdau.edu.cn。

收稿日期: 2013-01-30, **修回日期:** 2013-03-01。

的^[2]。

中国微生物肥料研究始于20世纪初对于根瘤菌的研究。20世纪50年代,在土壤微生物专家张宪武带领下,大豆根瘤菌接种技术使当时大豆的平均产量增加10%以上^[3],20世纪60年代初,陈华癸等将从紫云英中筛选出的根瘤菌制成菌剂,并进行了大面积的示范和推广^[4]。随后从苏联引进自生固氮肥、磷细菌和硅酸盐菌剂^[5],中国微生物肥料从根瘤菌接种剂时期进入细菌肥料时期。尹辛耘等^[6]利用从苜蓿根际分离到的放线菌,制成的“5406菌肥”的广泛应用,促进了中国微生物肥料的进一步发展。近十几年,随着技术进步,中国微生物肥料产业又开始迅速发展。目前登记的微生物肥料产品数量达1100个,微生物肥越来越受到人们的关注,正在逐步成为各级生态示范区、绿色和有机农业生产基地的肥料主力军,用量超过450万t,约占中国微生物肥料年产量的50%^[7]。但也存在着整体水平不高、技术创新不足、产品效果不稳定和市场管理混乱等问题。笔者回顾了中国微生物肥料的发展历史,介绍了微生物肥料的分类、主要功效、作用机制以及在不同作物上的应用,分析了当前中国微生物肥料存在的主要问题及对策,以期今后微生物肥料的发展和研究提供有益参考。

1 中国微生物肥料的发展历史

世界上最早的微生物肥料是1895年德国推出的“Nitragin”根瘤菌接种剂^[6]。到20世纪三四十年代,美国、澳大利亚、英国等国家都有了自己的根瘤菌接种剂产业^[8]。除了根瘤菌以外,很多国家在其他一些有益微生物的研究和应用方面也做了大量的工作。1901年荷兰学者别依林克首次从运河水中分离出自生固氮菌。之后,前苏联及东欧的一些国家将从土壤中分离出来的硅酸盐细菌、解磷细菌及固氮菌应用到农业生产^[9]。20世纪60年代以后,世界各国都加强了对微生物肥料的研究并取得了一定的进展。

中国微生物肥料的研究、生产和应用经历了半个多世纪的浮浮沉沉。中国最早的微生物肥料研究可以追溯至20世纪50年代,在著名的土壤微生物专家张宪武带领下利用大豆根瘤菌接种技术,使得当时大豆的平均产量增加10%以上^[3]。中国在20世纪50年代末开始生产和使用微生物肥料,先后推广使用了固氮绿藻肥料、5406抗生素肥料、VA菌根以及作为拌种剂的联合固氮菌和生物钾肥。微生物肥料发展的总趋势是所用菌种范围不断扩大,应用中强调多菌种和多功能的复合,甚至是菌剂和有机、无机肥料的混合^[10]。在总结微生物肥料研究、生产及应用经验的基础上,又推出

了微生态制剂、联合固氮菌肥、生物钾肥、生物有机复混肥、有机物料腐熟剂等适合农业发展的新品种^[11],其中的植物根际促生菌(PGPR)已成为目前研究的重点^[12]。

微生物肥料以其增产明显,改良品质,特别是对微生物生态环境的保护作用,越来越受到人们的认可,同时国家也进行了政策和资金的扶持,并制定一系列行业标准进行规范。中国在1994年由农业部颁布了《微生物肥料标准》,对微生物肥料的技术要求和检测方法提出了具体规定,这是中国微生物行业的第一个标准,之后又不断进行了一系列的修改和补充,对于规范市场、引导科研、提高品质和安全起到了积极的监督、引导作用^[13]。近几年以来,受益于国家政策和产业化专项,微生物肥料产业发展迅速,已形成生产企业超过800家、年产量900万t、产值超百亿元的规模,成为中国农业生物产业的重要组成部分^[7]。中国微生物肥料的应用范围从最初的豆科植物到粮食作物再到现在的蔬菜、烟草、林木、花卉等经济及观赏植物,在农业生产占据着越来越重要的位置。

2 微生物肥料的分类及功效

2.1 微生物肥料的分类

目前微生物肥料的定义大致有2种:一种是狭义微生物肥料,是指含有的特定微生物通过生命活动只是增加了植物所需营养元素的供应量,使得植物营养状况改善促进植物生长,进而提高产量、增加农产品品质,如根瘤菌肥就是这类微生物肥料中的一种^[1]。另一种为广义的微生物肥料,也叫做复合微生物肥料,指除了特定微生物外还含有其他营养物质,通过含有微生物的生命活动,不仅仅提高植物营养元素的供应水平,而且微生物活动产生的一些次生代谢产物,如植物生长激素等,能够促进植物对营养元素的吸收利用或拮抗某些病原微生物,减轻农作物病害而促进作物产量的增加^[15]。这一类的制剂较多,比较复杂,如植物根际促生菌(PGPR)。

微生物肥料的种类很多,按照不同的分类方法可以分为4种:(1)按照制品中特定微生物种类可以分为细菌肥料(如根瘤菌肥、固氮、解磷、解钾菌肥)、放线菌肥料(如抗生素菌肥)、真菌类肥料(如菌根真菌)、光合细菌肥料、复合菌剂肥料(酵素菌肥)等;(2)按照其作用机理分为增加植物营养为主的肥料、刺激植物生长为主的肥料、抵抗植物病害为主的肥料、农药降解为主的肥料^[16]等;(3)按照肥料中添加菌种种类分为单一微生物肥料和复合微生物肥料,其中复合微生物肥料中还含有菌菌复合,菌和各种添加剂的复合^[17];(4)从形

态上分主要有液体肥料(用于拌种、叶面喷施)、固体颗粒肥料(用于基施或追施)。

2.2 微生物肥料的主要功效

施用微生物肥料旨在改善土壤营养状况,增加植物营养元素供应,产生植物激素促进植物生长和减轻植物病害等。概括起来主要有5个方面的作用:(1)增加土壤肥力。肥料中的固氮菌可以增加土壤中的氮元素的含量^[18],硅酸盐类微生物可以将土壤中难溶态的磷、钾降解成可被农作物吸收利用的状态,从而改善作物生长时土壤环境中营养元素的供应状况,同时增加土壤中有机质含量,提高土壤肥力。(2)产生植物激素促进植物生长。许多微生物能够产生植物激素,如生长素、吲哚乙酸、赤霉素等,可以刺激和调节作物的生长,使植物生长健壮,营养状况得到改善。(3)对有害微生物的生物防治。一方面微生物肥料中含有某一类拮抗菌,可以抑制病原菌的生长;另一方面,接种的微生物在根际大量生长繁殖,作为优势菌限制其他病原微生物的繁殖机会,从而起到了减轻植物病害的作用^[14]。(4)协助植物吸收营养。VA菌根是一种土壤真菌,可以与多种植物根共生,其菌丝能够伸出根部很远,可以吸收更多的营养供给植物吸收利用,其中对磷的吸收最为明显^[19],另外,对锌、铜、钙等也有加强吸收的作用^[20]。(5)减少化肥使用量,降低成本。使用微生物肥料能够适量减少化肥的用量,另外微生物肥料所消耗的能量要少,成本更低,有利于生态环境保护。

3 微生物肥料的作用机制

目前人们对微生物肥料中有益促生菌的认识已经到了基因组学、蛋白质组学、细胞学以及植物与环境互作的关系上^[21],对于促生菌的作用机制主要包括:诱导植物产生生长激素、产嗜铁素提高土壤中铁活性、提高土壤中可溶性氮、磷、钾以及增强植物对病原菌和环境胁迫的抗性和忍耐力等。对于根际促生菌的作用机理综合起来可以分为促进植物生长机制和生物防治机制。

3.1 促进植物生长的机制

植物根际促生菌对植物生长的促进作用主要是通过调节植物生长和促进植物营养发挥作用的。植物生长的调节作用主要是指根际促生菌产生的植物激素(如生长素、细胞分裂素、吲哚乙酸、赤霉素等)促进植物对营养元素的吸收、自身的生长发育和对植物的其他生命活动进行调节^[22]。另外,有些根际促生菌可以产生1-羧基-1-氨基环丙烷脱氨酶来降解乙烯的前提物质1-羧基-1-氨基环丙烷,从而降低植物激素乙烯的水平,进而抑制乙烯对植物的三重反应,促进植物

根和茎的伸长、生长,提高养分的吸收,促进植物的生长^[23-24]。根际促生菌对植物营养的促进主要包括解磷、解钾、固氮和产生铁载体。根际促生菌有些可以产生一些有机酸溶解土壤中不溶性磷^[25],从而增加土壤中可吸收磷的供应,有些硅酸盐类细菌能够分解硅酸盐和铝硅酸盐,将难溶性的钾转变成可溶状态供植物吸收^[26]。此外,很多的促生菌都能产生固氮酶,可以将氮气转化为氨,为植物提高氮素营养。还有一些促生菌产生铁载体^[27],溶解并结合土壤中的铁元素供给植物细胞利用,从而促进植物的生长。

3.2 生物防治机制

微生物肥料中有益促生菌不仅能够促进植物的生长、增加作物的产量,还能够提高植物的防病能力。根际促生菌作为生物防治剂防治植物病原菌主要是从5个方面进行的:(1)有些拮抗菌通过产生抗生素来抑制病原微生物在植物周围的生长繁殖,从而保护植物的健康生长^[28]。(2)某些促生菌在植物的根系或者种子周围有很强的定殖能力,抢占了适合病原菌生长的位点,有效的利用了根围的营养和根系分泌物,减少了病原菌的营养物质,阻止了病原菌的生长^[29]。(3)多数促生菌可以通过诱导植物本身的系统抗病性产生对病原菌的抵抗能力^[30]。(4)大多数的促生菌能够产生嗜铁素来吸收土壤中微量的铁元素,形成铁-嗜铁素复合体,使病原菌缺铁而无法生存^[31]。(5)一些促生菌能够产生低分子代谢物质如氢氰酸、茛菪酸等抑制病原真菌生长,或者合成一些酶类来消灭或者抑制真菌的生长^[8]。

微生物肥料中促生菌对植物生长的促生作用和生物防治作用不是单独发挥作用,两者相辅相成共同发挥作用,并且有时一种菌可能会有多种功能。在实际应用中可以根据需要进行组合来起到防治植物病原菌和促进植物生长的作用。

4 微生物肥料在不同作物上的应用

微生物肥料在作物上的应用越来越广泛,其中禾谷类应用最多,其次是油料、蔬菜和纤维类作物,较少的是烟草、茶、中草药植物等^[32]。不同作物因为生理特点、生长环境、管理方式等的不同使得微生物肥料对不同作物的增产效果差异较大^[33]。

4.1 在粮食作物上的应用

微生物肥料在水稻、小麦、玉米等的应用较多,并且都取得了较好的效果。鲁杰等^[34]在水稻上的研究表明,施用施倍得生物有机肥可以大大减少氮肥的使用量,并且能提高水稻的饱满千粒重、混合千粒重和成熟率。魏峰等^[35]、Ogut等^[36]利用几种不同的微生物肥料在小麦上进行施用,研究结果表明,微生物肥料能够有

效的抑制病原菌的繁殖,促进根系生长,肥效长,后期作用明显,能增加有效穗数量,提高千粒重,加快后期干物质的积累,增加产量。刘生战等^[37]的研究也表明,基施生物菌肥能有效的降低株高、增加穗长、穗粒数,提高千粒重。陈爱梅等^[38]在玉米上的研究表明,微生物肥料与常规的化肥混合使用,不仅能够提高产量和经济效应,还能够养地,因此建议在生产中使用微生物肥料。

4.2 在蔬菜及经济作物上的应用

微生物肥料在蔬菜上研究和应用的最为广泛,在白菜、黄瓜、玉米、番茄、大豆、辣椒、苦瓜、卷心菜等种植中施用效果显著。试验表明,微生物肥料能促进黄瓜的发育,降低黄瓜病害的发生^[39-40],显著提高黄瓜的净光合强度、雌花节率、坐果率、前期产量、总产量,改善产品口味,且能降低硝酸盐含量^[41-42]。孔跃等^[43]在小油菜上进行施用生物有机肥、有机无机配合施肥、三元肥的田间对比试验,结果显示施用有机肥的小油菜中硝酸盐和亚硝酸盐的含量比对照减少了36.17%和21.77%,并且能够提高土壤的肥力。谢永萍等^[44]、Yang等^[45]对烟草的研究表明,使用烟草专用微生物肥料能促进烟草生长,可提高产量5.7%~23.3%,增加上中等烟率2.1%~6.1%,同时还能提高烟叶内在品质、增加烟草的抗逆性,改善杂气和刺激性。另外,微生物肥料能够促进棉籽发芽、棉苗根系的生长和发育,增强棉苗的抗逆性,减少蕾铃脱落率,增加铃重,增产增收^[46]。

4.3 在果树上的应用

微生物肥料在果树上的应用研究近年来也取得较大的进展。何明莉等^[47]在苹果、桃、葡萄等多种果树施入酵素菌豆粕生物有机肥后,果树树势有所增强,产量明显高于对照,并且对果实的品质影响明显,果实总糖、可溶性固形物含量、硬度均高于对照组。李玉华等^[48]对新疆库尔勒香梨的试验表明,在常规施肥的基础上增施微生物肥料,产量可以提高2.56~4.24 t/hm²,增产10.47%~17.33%,另外还可降低果实的硬度和酸度,减小果核,增进品质。微生物肥料不仅能提高产量、增进品质,对增强抗病性也有显著效果。凌宁等^[49]用西瓜专用的微生物肥料对防治西瓜枯萎病的研究表明,在育苗和移栽时使用微生物肥料能够有效的防治西瓜枯萎病的发生,克服西瓜连作障碍。

5 中国微生物肥料存在的主要问题

中国微生物肥料行业经过几十年的发展已经取得了一定的成绩,形成了一定的规模,为中国农业生产、农业的可持续发展以及环境保护等做出了重要的贡献。但是,目前中国微生物肥料行业仍旧存在着整体

水平不高、技术创新不足、产品质量和效果不稳定、市场管理混乱等问题。

5.1 基础研究落后于生产实践

微生物肥料应用于生产中已经有几十年的时间了,但是还存在许多不明确、未解决的问题。目前很多研究仅仅集中在某一类功能菌的菌株分离和大田试验方面,对于自然界中广泛存在的其他菌株缺乏基础研究,例如,对于根瘤菌的固氮作用研究较多,有些方面已达到分子水平,但是对于自生固氮菌、解磷、硅酸盐类细菌及其他促生菌等还缺乏深入研究。另外,对于微生物肥料中功能微生物本身的特性、作用机制、功能基因、在土壤与根际的定殖机理和存活繁殖动态等也缺乏深入研究^[4]。

5.2 菌种效能不稳定且单一

微生物肥料的核心就是菌株。目前微生物肥料使用菌种比较单一且细菌肥较多,而细菌具有较强的自发突变性,在菌株繁殖传代过程中往往造成菌株特性的减弱甚至消失,加之位于质粒上的基因不稳定使得很多优良基因容易丢失,所以很多的细菌肥料在研发和试验的时候具有较好效果,但是在推广使用过程中往往产生效果降低的现象。在工厂化生产中,普遍缺乏菌株,菌种资源匮乏,很多产品中经常是使用相同的菌株。并且其中活菌数量少,杂菌较多、有效期短^[50]。另外,有些未经鉴定的有害菌株流入生产环节,带来安全隐患。

5.3 监督管理体制不够完善

近几年随着微生物肥料的不断发展,生产微生物肥料的企业越来越多,但多数是小规模企业,作坊式生产,设备工艺落后,产品质量不高或者不稳定^[51]。国家虽然已经实行了登记管理制度,但是管理力度不够,不少产品未经登记和检验就进行生产和销售。由于缺乏监管和质量检验,市面上流通着许多假冒伪劣产品冒充微生物肥料,给农业生产造成损失,影响恶劣。另外,由于缺乏对微生物肥料的正确宣传和引导,其效果和好处还没有被广大农民认可,微生物肥料在全国肥料中所占比重偏小。

6 微生物肥料的发展对策及前景展望

6.1 加强理论和应用基础研究

随着中国微生物肥料的不断发展,理论研究和应用研究显得越来越重要,国家应该加大投入,增加立项,从不同的角度、不同的层次加强研究^[52]。特别要加强对微生物肥料作用机理的深入研究,以及微生物与植物之间相互作用机理的研究。另外,还需要对所使用菌株的生物学特征进行研究,研究菌株的存活状态、

在根际部位的个体生态行为和竞争能力等。加强基础研究是保证微生物肥料健康、稳固发展的重要基石,增加科研投入,加大创新力度,避免低水平重复研究,才能使研究工作真正引领微生物肥料产业的健康发展,为行业的发展提供强有力的支持。

6.2 选育优良菌株,搭配复合菌群

微生物肥料的核心是微生物菌株,因此菌株的好坏直接关系到肥料的质量。随着现代分子生物学的不断发展,可以利用基因工程原理和技术筛选培育出具有营养促生、降解修复、拮抗病原微生物及腐熟转化等的优良功能菌株,并在此技术上开发出高效、安全、应用范围广的各种微生物肥料系列产品。另外,针对现在肥料中菌株单一而造成的肥料不稳、质量低下的现象,构建多功能组合菌群,形成优势互补,功能齐全的多菌复合肥料^[53]。根据中国地域土壤和气候的差异性,筛选与之相适应的微生物菌株并生产专用的生物肥料。

6.3 改进生产设备、完善工艺,提高产品质量

针对微生物肥料行业管理混乱,很多微生物肥料生产企业设备技术落后、产品质量差等问题,需要加大在生产设备和技术开发上的投入,采用先进设备和现代化管理,提高效率、降低成本、改善生产条件及发酵工艺,才能保证产品质量在市场竞争中立于不败之地并且发展壮大。另外,企业要严格按照国家对生物肥料的登记管理制度和农业部有关肥料生产的条例进行生产和销售,内部要有严格的生产标准,产品质量要按照已有的生物肥料标准执行^[54]。除此之外,政府和相关的行业组织也要重点扶持生产微生物肥料的龙头企业,建立相关品牌以辐射效应带动微生物肥料产业的发展。

6.4 加强监督管理和宣传引导

由于目前微生物肥料市场管理不规范,常出现假冒伪劣产品,一些并无资质的企业打着微生物肥料的幌子进行生产,这些严重危害了农民的利益,也阻碍了微生物肥料的健康发展。根据这种情况,国家应该尽快出台质量控制标准,严格实行生产许可证制度,成立质检机构,从严把关,加强工商行政管理部门执法力度,打击市场上出现的假冒伪劣产品^[55]。现在社会上出现2种极端的言论,一种宣扬微生物肥料是“万能肥”,可以压倒一切肥料,可以完全代替化肥且增产效果非常显著;另一种是微生物肥料“无用作”,用与不用效果不大,甚至没有任何效果,抵制微生物肥料。针对这种现象,应该做好微生物肥料的科普知识宣传,不断提高大众对生物肥料的认识,正确地使用微生物肥料,使微生

物肥料在农业生产中能够发挥出它巨大的作用。

6.5 微生物肥料前景展望

目前,微生物肥料正在逐步发展壮大,随着现代农业中对“绿色农业”、“生态农业”的大力倡导,微生物肥料以其改良土壤、提高肥力、增加产量、提升品质且保护环境等特点和功能,将会在未来农业产业中担任重要角色,并将在提升经济效益、社会效益、生态效益方面发挥出越来越重要的作用^[55]。微生物肥料的生产有一个从无序到有序的转变,随着微生物肥料科学研究的深入、生产的标准化、质量监督力度的加大以及科技宣传与普及的结果,人们对微生物肥料的认识也必将走向科学和理性,应用范围及面积也会越来越大。在当前国内微生物肥料大发展的形势下,应加大资金投入、加强基础性研究、加强监督管理、完善生产工艺^[56],积极进行宣传引导,相信微生物肥料将会迈入一个崭新的时代,也必将为中国的环境保护和农业的可持续发展做出巨大的贡献。

参考文献

- [1] 何元胜,胡晓峰,岳宇,等.微生物肥料的作用机理及应用前景[J].湖南农业科学,2012(10):13-16.
- [2] 董昌金,蒋宝贵.复合微生物肥料高效菌株的筛选[J].安徽农业科学,2005,33(1):56-57.
- [3] 薛德林,胡江春,张仲良,等.微生物有机肥的研制、生产及应用[J].腐殖酸,2005(2):21-26.
- [4] 张晓霞,马晓彤,曹卫东,等.紫云英根瘤菌的系统发育多样性[J].应用与环境生物学报,2010,16(3):380-384.
- [5] 曾玲玲,崔秀辉,李清泉,等.微生物肥料的研究进展[J].贵州农业科学,2009,37(9):116-119.
- [6] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [7] 李俊,沈德龙,林先贵.农业微生物研究和产业化进展[M].北京:科技出版社,2011.
- [8] 梁建根,施跃峰,竺利红.植物根围促生细菌作用机制的研究[J].现代农业科技,2008(18):133-135.
- [9] 孟瑶,徐凤花,孟庆有,等.中国微生物肥料研究及应用进展[J].中国农学通报,2008,24(6):276-283.
- [10] 杨绍斌,肖利萍,钟显亮,等.微生物肥料若干基本问题的探讨[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2002,21(2):252-254.
- [11] 王粉莲,苏利民,王萍,等.生物肥料在国内外的研究现状[J].内蒙古农业科技,2010(6):74-75.
- [12] 冯欣,刁治民,曹玲珍,等.PGPR作为微生物肥料的研究进展[J].安徽农学通报,2005,11(6):85-87.
- [13] 蔡全英,吕辉雄,曾巧云,等.我国生物肥料标准的沿革与标准体系的构建[J].安徽农业科学,2010,38(28):15559-15560,15633.
- [14] 刘戈,易玉林.微生物肥料的发展现状与前景展望[J].安徽农业科学,2007,35(11):3318,3332.
- [15] 葛诚.微生物肥料概述[J].土壤肥料,1993(6):43-45.
- [16] 李孔燕,徐亚同,黄民生.微生物肥料工业的改革[J].上海化工,

- 2005,30(9):28-31.
- [17] 葛诚,吴薇.我国微生物肥料的生产、应用及问题[J].中国农学通报,1994,10(3):24-28.
- [18] Marra L M, Sousa C R F, Oliveira S M, et al. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils[J]. Plant Soil,2012(357):289-307.
- [19] Orlando. The Vesicular-arbuscular Mycorrhizal[J]. Afr J Biotechnol, 2003,2(12):539-546.
- [20] 姚青,冯固,李晓林.不同作物对 VA 菌根真菌的依赖性差异[J].作物学报,2000,26(6):874-878.
- [21] 康贻军,程洁,梅丽娟,等.植物根际促生菌作用机制研究进展[J].应用生态学报,2010,21(1):232-238.
- [22] 占新华,蒋延惠,徐阳春,等.微生物制剂促进植物生长机理的研究进展[J].植物营养与肥料学报,1999,5(2):97-105.
- [23] 姚军朋,姚拓,王小.ACC脱氨酶的应用研究进展与评述[J].生物技术,2010,20(2):88-91.
- [24] 王义,贺春萍,郑肖兰,等.土壤解磷微生物研究进展[J].安徽农学通报,2009,15(9):60-63.
- [25] Naveed M, Zahir Z A, Khalid M, et al. Rhizobacteria containing accdeaminaes for improving Growth and yield of wheat under fertilized conditions[J]. Pakistan Journal of Botany,2008,40(3): 1231-1241.
- [26] Abbasi M K, Sharif S, Kazmi M, et al. Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth, yield and nutrient uptake of plants[J]. Plant Biosystems,2011,145(1):159-168.
- [27] Verma V C, Singh S K, Satya P. Bio-control and plant growth promotion potential of siderophore producing endophytic *Streptomyces* from *Azadirachta indica* A.Juss[J]. Journal of Basic Micro-biology,2011(51):550-556.
- [28] Li Q L, Ning P, Zheng L, et al. Effects of volatile substances of *Streptomyces globisporus* JK-1 on control of *Botrytis cinerea* on tomato fruit[J]. Biological Control,2012(61):113-120.
- [29] 陈晓斌,张炳欣.植物根瘤促生细菌(PGPR)作用机制的研究进展[J].微生物学杂志,2000,20(1):38-41.
- [30] 胡江春,薛德林,马成新,等.植物根际促生细菌(PGPR)的研究与前景展望[J].应用生态学报,2004,15(10):1963-1966.
- [31] 刘淑琮,冯妍,于洁.植物根际促生细菌的研究进展及其环境作用[J].湖北农业科学,2009,48(11):2882-2886.
- [32] 邵秀丽.复合微生物菌剂制备及在大蒜生产中的应用[D].郑州:河南农业大学,2010.
- [33] 王素英,陶光灿,谢光辉,等.我国微生物肥料的应用现状研究[J].中国农业大学学报,2003,8(1):14-18.
- [34] 鲁杰,刘宝忠,周传远,等.生物有机菌肥对水稻产量及稻米品质的影响[J].中国农学通报,2009,25(6):146-150.
- [35] 魏峰,侯祥保,魏琳娜.几种微生物肥料在小麦上的施用效果[J].安徽农业科学,2002,30(1):90,112.
- [36] Ogut M, Er F, Neumann G. Increased proton extrusion of wheat roots by inoculation with phosphorus solubilising microorganisms[J]. Plant Soil,2011(339):285-297.
- [37] 刘生战.艾力特生物菌肥与氮磷化肥配施对春小麦产量的影响[J].甘肃农业科技,2003(5):41.
- [38] 陈爱梅,李世民,阎兴泉,等.几种微生物肥料在玉米上应用效果对比试验[J].现代化农业,2005(5):133-135.
- [39] Qiu M H, Zhang R F, Xue C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control fusarium wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biol Fertil Soils,2012 (48):807-816.
- [40] Huang X Q, Zhang N, Yong X Y, et al. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off disease in cucumber with *Bacillus pumilus* SQR-N43[J]. Microbiological Research,2012(167):135-143.
- [41] 王明友,李光忠,杨秀凤,等.微生物菌肥对保护地黄瓜生育及产量、品质的影响研究初报[J].土壤肥料,2003(3):38-40.
- [42] 李海云,王厚熹,董秀霞,等.生物菌肥在黄瓜上的施用效果研究[J].安徽农业科学,2009,37(24):11501,11518.
- [43] 孔跃,徐有明,张家成,等.生物有机肥对小油菜生长及品质的影响[J].安徽农业科学,2007,35(2):479,483.
- [44] 谢永萍,商胜华,李建伟,等.烤烟专用微生物肥料对烟叶产质量的影响[J].贵州农业科学,2000,28(增刊):55-56.
- [45] Yang Y H, Chen D M, Jin Y, et al. Effect of Different Fertilizers on Functional Diversity of Microbial Flora in Rhizosphere Soil Under Tobacco Monoculture[J]. Acta Agron Sin,2011,37(1):105-111.
- [46] 杨延春,刘德斌,殷汝成,等.常春藤复合微生物肥在棉花生产中的应用研究[J].上海农业科技,2003(2):35.
- [47] 何明莉,张春波,李宏建,等.鑫阳光酵素菌豆粕生物有机肥在果树上的应用试验[J].北方果树,2011(5):13-14.
- [48] 李玉华,许前欣,李明悦,等.微生物菌肥对库尔勒香梨产量、品质的影响[J].北方果树,2006,12(2):48-50.
- [49] 凌宁,王秋君,杨兴明,等.根际施用微生物有机肥防治连坐西瓜枯萎病研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1136-1141.
- [50] 黄鑫.微生物肥料应用现状分析[J].华章,2011(12):310.
- [51] 尹丽华,邸文静,赵海泉,等.微生物肥料及其生产应用中的问题[J].生物学杂志,2002,18(1):32-33,28.
- [52] 唐欣鸣,张明,于连海,等.微生物肥料及其应用推广分析[J].现代农业科技,2010(17):288-291.
- [53] 刘刊,耿士均,王波,等.微生物肥料研究进展[J].安徽农业科学, 2011,39(22):13445-13447,13448.
- [54] 陈谦,张新雄,赵海,等.生物有机肥中几种功能微生物的研究及应用概况[J].应用与环境生物学报,2010,16(2):294-300.
- [55] 成春彦,熊顺贵.微生物肥料应用现状及发展策略[J].中国农业大学学报,1997,2(增刊):12-15.
- [56] 郭永利.微生物肥料的研究进展及应用现状[J].陕西农业科学, 2012(4):134-136.