



刘润进
陈应龙

编著

MYCORRHIZOLOGY

菌根学



科学出版社

www.sciencep.com

菌 根 学

刘润进 陈应龙 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

菌根的研究和发现已有 120 多年的历史,随着科学技术的不断发展,特别是近 20 年来菌根研究可谓突飞猛进。对于建立在真菌学和植物学基础上的这一交叉研究领域,其理论和研究方法等已独具特色,形成了一门独立的边缘学科——菌根学。本书系统而深入地介绍了菌根学的概念、理论和方法、研究内容和进展以及存在的问题和发展前景等内容。

本书既是生物类和农、林、牧科技工作者的研究参考资料和工具书,又可作为高等院校生物类微生物专业研究生和本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

菌根学/刘润进,陈应龙编著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-017290-7

I. 菌… II. ①刘…②陈… III. 菌根-研究 IV. Q949.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052461 号

责任编辑:李 悦 彭克里 席 慧 / 责任校对:张小霞

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 1 月第一次印刷 印张:29

印数:1—1 200

字数:561 000

定价:86.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

序 言

真菌种类繁多,分布广泛,通常被描述为具有细胞核、能产生孢子、无叶绿素的有机体,以吸收方式获得营养、普遍以有性和无性两种方式进行繁殖、菌丝体丝状、具细胞壁的真核异养生物。很早以前人们就发现一类真菌能与植物根系共生,后来被逐渐认为是互惠共生。事实上,早在3.5亿~4.5亿年前,菌根真菌就与古老的陆生植物形成了菌根。在漫长的进化过程中,菌根真菌与陆生植物一起经历了陆地生态系统的变迁过程。化石证据和分子遗传学研究表明4亿年前陆生植物的根被现代丛枝菌根(AM)真菌的祖先侵染。今天,80%多的陆生植物仍然利用AM真菌从土壤中获取养分,反映了这种互惠共生体进化的成功。AM形成期间,植物和真菌在组织功能上结合成单个而相连的超有机体,其生理能力优于两生物体中的任何一个。这种整合改进了植物对养分的利用,并且有利于异养专性共生真菌完成它的生命周期。

近年来,由于广泛采用分子生物学、细胞学、组织培养、显微镜学和核磁共振等技术,菌根形态解剖学、菌根真菌分类学、菌根生理学、菌根生态学、菌根研究法与菌根真菌的应用等方面取得了令人瞩目的研究进展,尤其是理论与方法的系统建立和完善,奠定了形成《菌根学》的坚实基础。刘润进同志从事菌根学研究20余年,对AM真菌分类与生物多样性、形态与解剖、分离与培养、生理与生态、研究法与应用等开展了比较全面系统的工作,积累了大量的第一手资料;陈应龙同志专攻外生菌根和混合菌根,掌握多种现代研究技术,具有丰富的研究经验和科研成果。他们联合完成的这部《菌根学》,全面、系统地介绍了近20年来国内外菌根研究领域基本概念、基本理论、基本技术以及所取得的成果、存在的问题和今后发展的方向。这在国内外还是比较少见的。尽管《菌根学》的某些内容还需要继续更新,但对目前该领域的科研工作具有一定参考价值,有利于推动我国菌根学的发展。

中国科学院院士

李锡伦

2006年2月20日

中国农业大学生物学院

前 言

菌根是植物根系和真菌所建立的共生体，是生物界最广泛的一类互惠共生体。菌根真菌及其寄主植物、菌根形态和解剖结构多种多样，具有丰富的生物多样性。尽管这类共生体早在数亿年前就已形成，但人们研究菌根的历史才仅仅100余年！而菌根学独立成为一门学科，只有几年的时间，而且还在不断发展和完善之中。

随着菌根研究的不断深入，人们发现菌根真菌不仅对植物的生长发育有利，而且还能改善土壤肥力和健康状况，更为重要的是，由于地下菌根菌丝网络的多种生理功能，菌根真菌对于保护地球上生物多样性、稳定生态系统、保持生态平衡、提高环境安全性具有不可替代的重大作用。为此，不管是发达国家还是发展中国家都十分重视菌根真菌、菌根生物学在农林生产和生态系统中的重要作用。当前，全世界有关菌根方面的专著已出版了60多部，我国出版了6部，并不断有新书出版。然而，尚缺乏全面、系统介绍整个菌根学方面的专著。10年前，作者就开始着手积累有关资料、准备书稿。经过10年的努力，该书得以完成。在编著本书时，在内容的取舍上，一方面尽量包括菌根学的基础知识；另一方面力求反映当前该研究领域中的最新进展，突出新理论、新技术和有关生产实践上的问题。全书共分14章，包括菌根学概述、菌根的形态解剖学特征、菌根真菌的分类、菌根的生长发育、菌根真菌的分离与培养、菌根真菌生理学、菌根真菌生态学、菌根生物多样性、菌根真菌与其他根围生物的相互作用、菌根真菌与土壤肥力、菌根真菌对植物的影响、菌根生物学的应用、菌根食用菌及其栽培技术和菌根学研究法。

鉴于我国菌根研究发展和实际需要，在编写过程中，本书在内容上有所侧重。作为一门新兴的发展学科，菌根学的一些研究领域尚有待菌根工作者不断研究和探索，有关菌根学的内容必将得到进一步地补充和完善。由于作者水平有限，错误和遗漏在所难免，请广大读者批评指正。

在编著本书过程中，作者得到莱阳农学院和中国林业科学院热带林业研究所领导的大力支持和鼓励，同时还得到国内外专家和同行的大力支持和帮助。作者特别感谢中国科学院院士李季伦教授在百忙之中为本书作序，并对在编写本书的过程中王森焱、李俊喜、戴梅等同志的大力协助一并表示感谢。书中所涉及的部分科研成果以及本书的编著和出版由国家自然科学基金项目（30471164）、中国

林业科学院重点课题 (CAF2001-03)、国际科学基金 (IFS) 项目 (D/2894-1、D/2894-2) 和山东省自然科学基金重点项目 (Z2005D03) 资助。科学出版社的编辑为本书的编辑出版付出了辛勤的汗水, 在此致以诚挚的感谢!

刘润进 陈应龙

2006 年 5 月 6 日

目 录

序言

前言

第一章 菌根学概述	1
第一节 菌根学的概念.....	1
第二节 菌根学研究的意义.....	2
第三节 菌根学研究进展.....	6
第二章 菌根的形态解剖学特征	14
第一节 外生菌根	15
第二节 丛枝菌根	22
第三节 其他类型菌根	34
第三章 菌根真菌的分类	44
第一节 外生菌根真菌的分类	44
第二节 丛枝菌根真菌的分类	76
第三节 其他菌根真菌的分类.....	116
第四章 菌根的生长发育	125
第一节 外生菌根的生长发育.....	125
第二节 丛枝菌根的生长发育.....	127
第三节 丛枝菌根/外生菌根混合菌根的生长发育	136
第四节 其他菌根的生长发育.....	139
第五章 菌根真菌的分离与培养	145
第一节 外生菌根真菌的分离与培养.....	145
第二节 丛枝菌根真菌的分离与培养.....	150
第三节 其他菌根真菌的分离与培养.....	161
第六章 菌根生理学	163
第一节 外生菌根真菌的生长与生殖.....	163
第二节 丛枝菌根真菌的生长与生殖.....	168

第三节 菌根真菌的代谢·····	171
第四节 菌根真菌次生物质的代谢·····	196
第七章 菌根生态学 ·····	200
第一节 菌根真菌资源生态学·····	200
第二节 菌根微生态·····	208
第三节 影响菌根真菌的因子与调控·····	209
第八章 菌根生物多样性 ·····	234
第一节 菌根形态多样性·····	234
第二节 菌根真菌物种多样性·····	236
第三节 菌根真菌遗传多样性·····	246
第四节 菌根真菌功能多样性·····	248
第五节 菌根真菌寄主多样性·····	253
第六节 菌根真菌生态系统多样性·····	256
第九章 菌根真菌与其他菌根围生物的相互作用 ·····	260
第一节 菌根真菌与细菌的相互作用·····	260
第二节 菌根真菌与放线菌的相互作用·····	267
第三节 菌根真菌与其他真菌的相互作用·····	268
第四节 菌根真菌与线虫的相互作用·····	269
第五节 菌根真菌与其他生物的相互作用·····	272
第十章 菌根真菌与土壤肥力 ·····	274
第一节 菌根真菌与土壤理化特性·····	274
第二节 菌根真菌与土壤生物修复·····	276
第十一章 菌根真菌对植物的影响 ·····	289
第一节 菌根真菌对植物根系结构的影响·····	289
第二节 菌根真菌对植物营养代谢的影响·····	290
第三节 菌根真菌对植物水分代谢的影响·····	297
第四节 菌根真菌对植物抗病性的影响·····	303
第五节 菌根真菌对植物抗逆性的影响·····	314
第六节 菌根真菌对植物生长、产量和品质的影响·····	316
第十二章 菌根生物技术的应用 ·····	320
第一节 菌根真菌的接种物·····	320

第二节 菌剂生产技术.....	323
第三节 菌根菌种和菌剂的储存与质量检验技术.....	329
第四节 菌根菌剂在农林牧生产中的应用.....	334
第十三章 菌根食用菌及其栽培技术.....	347
第一节 菌根食用菌概述.....	347
第二节 菌根食用菌资源.....	350
第三节 块菌.....	354
第四节 松茸.....	360
第十四章 菌根学研究法.....	376
第一节 菌根调查与样品采集方法.....	376
第二节 菌根形态结构观察与侵染率测定方法.....	381
第三节 丛枝菌根真菌孢子分离与定量测定.....	388
第四节 菌根真菌接种方法.....	388
第五节 菌根分子生物学技术.....	393
主要参考文献.....	405

CONTENTS

Foreword

Preface

Chapter 1	Introduction of mycorrhizology	1
Section 1	Conceptions of mycorrhizology	1
Section 2	Significance of mycorrhizal research	2
Section 3	Advances in the study of mycorrhizology	6
Chapter 2	Anatomy and morphology of mycorrhizas	14
Section 1	Ectomycorrhizas (ECM)	15
Section 2	Arbuscular mycorrhizas (AM)	22
Section 3	Other types of mycorrhizas	34
Chapter 3	Taxonomy of mycorrhizal fungi	44
Section 1	Taxonomy of ECM fungi	44
Section 2	Taxonomy of AM fungi	76
Section 3	Taxonomy of other types of mycorrhizal fungi	116
Chapter 4	Growth and development of mycorrhizas	125
Section 1	Growth and development of ECM	125
Section 2	Growth and development of AM	127
Section 3	Growth and development of dual AM/ECM	136
Section 4	Growth and development of other types of mycorrhizas	139
Chapter 5	Isolation and culture of mycorrhizal fungi	145
Section 1	Isolation and culture of ECM fungi	145
Section 2	Isolation and culture of AM fungi	150
Section 3	Isolation and culture of other types of mycorrhizal fungi	161
Chapter 6	Physiology of mycorrhizal fungi	163
Section 1	Growth and reproduction of ECM fungi	163
Section 2	Growth and reproduction of AM fungi	168
Section 3	Metabolism of mycorrhizal fungi	171
Section 4	Secondary metabolites of mycorrhizal fungi	196
Chapter 7	Ecology of mycorrhizal fungi	200
Section 1	Resource ecology of mycorrhizal fungi	200

Section 2	Micro-ecosystem of mycorrhizas in rhizosphere	208
Section 3	Factors influencing mycorrhizal fungi and their adjustment	209
Chapter 8	Biodiversity of mycorrhizas	234
Section 1	Morphological diversity of mycorrhizas	234
Section 2	Species diversity of mycorrhizal fungi	236
Section 3	Genetic diversity of mycorrhizal fungi	246
Section 4	Functional diversity of mycorrhizal fungi	248
Section 5	Host diversity of mycorrhizal fungi	253
Section 6	Ecological diversity of mycorrhizal fungi	256
Chapter 9	Interactions between mycorrhizal fungi and other mycorrhizospheric organisms	260
Section 1	Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria	260
Section 2	Interactions between mycorrhizal fungi and actinomyces ..	267
Section 3	Interactions between mycorrhizal fungi and other fungal groups	268
Section 4	Interactions between mycorrhizal fungi and nematodes	269
Section 5	Interactions between mycorrhizal fungi and other organisms	272
Chapter 10	Mycorrhizal fungi and soil fertility	274
Section 1	Mycorrhizal fungi and soil physico-chemical properties	274
Section 2	Mycorrhizal fungi and soils bioremediation	276
Chapter 11	Effects of mycorrhizal fungi on host plants	289
Section 1	Effects of mycorrhizal fungi on root morphology	289
Section 2	Effects of mycorrhizal fungi on plant nutrient metabolism	290
Section 3	Effects of mycorrhizal fungi on plant water metabolism ..	297
Section 4	Effects of mycorrhizal fungi on plant disease resistance	303
Section 5	Effects of mycorrhizal fungi on plant stress resistance	314
Section 6	Effects of mycorrhizal fungi on plant growth, development, yield and quality	316
Chapter 12	Application of mycorrhizal biotechnology	320
Section 1	Mycorrhizal fungal inocula	320
Section 2	Production methods of mycorrhizal inocula	323
Section 3	Preservation and quality test of mycorrhizal inocula	329

Section 4	Application of mycorrhizal inocula in production of agriculture, forestry and pasture	334
Chapter 13	Edible mycorrhizal fungi and their cultivation techniques	347
Section 1	Introduction	347
Section 2	Edible mycorrhizal fungal resources	350
Section 3	Truffles (Tuber spp.)	354
Section 4	<i>Tricholoma matsutake</i>	360
Chapter 14	Research methods of mycorrhizology	376
Section 1	Investigation of mycorrhizas and methods of collecting samples	376
Section 2	Observation of mycorrhizal morphological architecture and methods to determine mycorrhizal colonization percentage	381
Section 3	AM fungal spore isolation and quantification	388
Section 4	Inoculation technology	388
Section 5	Molecular biological techniques of mycorrhizas	393
References		405

第一章 菌根学概述

长期以来，人们就观察到植物与一些微生物共同生活的有趣现象，后来被逐渐认识到这是生物间所建立的正常的互惠共生（mutualism）关系。其中，植物根系与真菌所形成的互惠共生体即“菌根”（mycorrhizas）在自然界的分布是十分普遍的。自 19 世纪发现菌根现象并开始研究以来，尤其是 20 世纪后半叶分子生物学的发展，极大地推动了菌根研究及其技术的进展。在此基础上所建立起来的菌根学（mycorrhizology），目前已独立成为菌物学（mycology）的一个分支学科。本章主要介绍菌根学的基本概念、研究概况和意义等。

第一节 菌根学的概念

一、共生关系

生物之间的共生（symbiosis）是一种极为普遍的生命活动和生态现象，第一个提出生物界广义共生概念的是德国医生，著名的真菌学奠基人 de Bary（1831~1888）。他在 1879 年明确指出：“共生是不同生物密切生活在一起”（living together）。共生是生物科学中的一个非常重要的基本概念，这一广义的共生定义是生物学领域里的一个里程碑，对当前及今后的研究具有深远的影响。所谓广义的共生概念包括三种情况：①寄生共生（parasitic symbiosis），就是参与共生成员之一危害另一共生成员；②互惠共生（mutual symbiosis），即参与共生的双方均受益；③共栖（commensalism），即参与共栖的一方或双方均受益。早在 1859 年，达尔文就深刻地指出：“生物之间的相互关系是一切关系中最重要，生物的进化主要是在生物的相互关系之中。”从生态学角度出发“共生是不同种类生物成员在不同生活周期中重要组成部分的联合”（Margulis 1981）。1982 年 Golf 指出：共生包括各种不同程度的寄生、共生和共栖，这说明了生物间相对利害关系的动态变化，共生关系是生物之间最基本、最重要的相互关系。而“共生”这个概念，随着研究的深入和认识的扩展和深化，不断地发展变化。

二、菌根及菌根类型

自然界中，几乎所有的生物都不是独立生活的，而是普遍存在着共生关系。

例如,植物都能与一定种类的细菌、放线菌和真菌建立互惠共生关系,形成互惠共生体。其中,我们把植物根系与一类土壤真菌形成的互惠共生体称做菌根。将参与菌根形成的真菌称为菌根真菌(mycorrhizal fungi)。早期人们将菌根分为外生菌根(ectomycorrhizas, ECM)、内生菌根(endomycorrhizas, EM)和内外(兼生)菌根(ectoendomycorrhizas, EEM)三大类型。然而,随着研究的不断深入,人们逐渐认识到将菌根仅分成这三类是远远不够的,而且具有一定的局限性,因为一些植物的菌根具有特殊性。为此,1989年Harley根据参与共生的真菌和植物种类及它们形成共生体的特点,重新将菌根进一步分为7种类型,即泡囊-丛枝菌根(vesicular-arbuscular mycorrhizas, VAM)、外生菌根、内外生菌根、浆果鹃类菌根(arbutoid mycorrhizas, ARM)、水晶兰类菌根(monotropoid mycorrhizas, MM)、欧石南类菌根(ericoid mycorrhizas, ERM)和兰科菌根(orchid mycorrhizas, OM)。由于所有VAM真菌都能形成丛枝,而部分真菌不产生泡囊,故将泡囊-丛枝菌根简称为丛枝菌根(arbuscular mycorrhizas, AM)。第二章则详细介绍这些菌根的形态解剖学特征。

三、菌 根 学

菌根的研究已有120多年的历史,随着科学技术的不断发展,特别是近30年来菌根研究可谓突飞猛进。对于建立在菌物学和植物学(botany)等学科基础上的这一交叉研究领域,其理论和研究法等方面已独具特色,已具备形成一门独立的边缘学科——菌根学的全部条件,我们将研究菌根及菌根真菌的学科称为菌根学,它属于菌物学的一个分支学科。该学科主要探讨菌根和菌根真菌的基本概念、基本理论、研究法和应用技术等内容,其主要研究内容包括菌根的形态与解剖、菌根真菌的分类、菌根的生长发育、菌根真菌的分离与培养、菌根真菌的生理代谢、菌根真菌生态学、菌根生物多样性、生理效应、菌根生物技术的应用及其研究法与技术等方面的内容。菌根学与共生学(symbiology)、菌物学、植物学、植物生理学(phytophysiology)、生态学(ecology)、土壤学(soil science)、植物病理学(phytopathology)、微生物学(microbiology)、耕作学(farming system)、作物栽培学(crop cultivation)等密切相关。

第二节 菌根学研究的意义

菌根是生物界最广泛、最重要的一类共生体,对促进各生态系统中生物之间的物质交换、能量流动、信息传递,生物的演化与分布,保护生物多样性,稳定

生态系统,保持生态平衡和可持续发展,促进农、林、牧业生产,具有不可替代的深远的经济、社会和生态意义。因此,开展菌根学研究不仅增加生物学的内容,而且其所建立起来的菌根生物技术在诸多方面意义深远。

一、丰富生物学理论和方法

理论方面,菌根学研究和发展可以丰富生物学(biology)的内容,尤其是所研究的菌根真菌分离与培养、生理代谢、生态学、共生机制、作用机制以及菌根真菌分类方面的进展,有助于丰富该方面的理论和知识。而菌根学所建立起来的实验体系、研究方法和技术不仅能促进本学科的发展,而且可以应用到相关学科。因此,菌根学在方法上也能增加整个生物学领域的研究技术,从而促进生物学的发展。

二、促进农林牧业生产

自20世纪中期,由于国际性的环境、资源危机,许多国家开始重新选择农林牧业发展的路子,以实现社会发展与资源、环境的相互促进与协调。根据生态平衡和可持续发展的原理与思路,菌根生物技术在促进农林牧业生产和农村经济发展上意义重大。

1. 促进植物养分吸收

菌根真菌能活化土壤中的矿质养分,促进植物根系对营养元素尤其是移动性较差的磷、锌、铜等矿质元素的吸收,促进植物对铵离子的吸收能力和在体内的运输,增强有机质的分解和氮的捕获能力,活化土壤中的磷。因此,菌根真菌被誉为“生物肥料”。

2. 改善植物水分代谢

菌根真菌的菌丝能直接吸收水分;根外菌丝的延伸和扩展、菌根侵染能增加根系分枝数量和生长量或者改变根系形态,增大植物根系的吸收范围和吸收能力;降低永久凋萎点,提高植物抗旱性和水分利用效率。

3. 增强植物耐盐性

农业生态系统中分布着大量盐渍化土壤,菌根真菌同样也存在于这类土壤。从生物进化的角度讲,菌根真菌在这种环境中的存在是二者共同适应环境的结果。盐胁迫条件下接种菌根真菌能够促进植物生长,提高其适应盐胁迫的能力。例如,AM真菌能够通过增加植物对磷、铜、镁的吸收而减少植物对钠的吸收(Giri et al. 2004),菌根真菌通过改变植物体内糖类和氨基酸的含量和组成,改

变根组织中的渗透平衡,减少植物对 Na^+ 和 Cl^- 的吸收,提高植物耐盐能力。

4. 提高植物抗病性

菌根真菌与其他菌根微生物之间的相互作用在改善土壤与植物健康状况中发挥着重要作用。与其他土壤微生物相比,菌根真菌占据着独特的生态位。菌根真菌与寄主植物形成良好的共生关系后,能诱导植物对土传病原物产生抗病性。已证明 AM 真菌能够减轻一些土传病原真菌和孢囊线虫、根结线虫等对植物造成的危害(李海燕等 2003, 李敏等 2004, Elsen et al. 2003, Thygesen et al. 2004)。接种菌根真菌作为生物防治林木幼苗根部病害的一种手段,已取得显著效果。在火炬松幼苗上接种彩色豆马勃形成 ECM,有效地防治了立枯丝核菌所造成的病害,提高了松苗成活率。乳牛肝菌在苗圃对油松幼苗进行生物防治猝倒病,也取得同样效果。

5. 改善土壤物理性状

菌根真菌的菌丝对土壤团聚体结构的形成、稳定性和保持土壤孔隙度等方面具有重要作用(Bever et al. 2001),而且这种作用只经过一个生长季节就非常明显。菌根植物代谢活动旺盛,向土壤中分泌多糖类或氨基酸类物质,能对土壤颗粒产生黏结作用。根外菌丝可穿过土壤颗粒间极细小的孔隙,由于根外菌丝与土壤颗粒密切接触,其分泌的有机小分子物质可作为土壤颗粒的黏着吸附剂,促进土壤颗粒形成团聚体,提高其水稳性。土壤团聚体的形成使土壤保持较好的水渗透速率、良好的耕作条件和通气状况,从而更好地抵抗风和水的侵蚀。

6. 增加植物产量

对植物接种菌根真菌最直观的效应就是促进植株生长、提高经济产量、改善品质。尤其在山旱薄地条件下这一效应更大。这主要是由于菌根真菌在地下土壤中形成广阔的菌丝网络,吸收更多的养分和水分供给植物,改善植物的矿质营养、水分和内源激素代谢,提高抗旱性和苗木移栽成活率,增强光合作用;同时结合其生物修复作用,可减少有害物质含量和病原物的数量,增加土壤中其他生物的数量和活性,促进和保持合理、有益的生物区系和稳定生态平衡体系。可见,接种菌根真菌可以直接或间接提高农林牧业生产效率。因此,菌根生物技术在土肥水管理、病害防治、高产稳产、优质、高效生产中,以及我国西部大开发过程中具有广阔的应用前景。

三、提高环境安全性

现代农业的发展是以生态破坏为代价的,而且这些对环境和生态造成的破坏作用与日俱增,甚至会危及人类赖以生存的生态环境。当前,工业“三废”、城市污水不断向农村蔓延,农业污染十分严重。生态环境的持续恶化,环境安全性

问题日益突出。

大多数情况下,菌根真菌能够减轻由重金属、有机污染物、放射性元素等对土壤环境造成的污染及其对植物造成的不利影响。菌根化的植物不仅能够在重金属污染的土壤环境中生存下来,而且还能增加对土壤中重金属元素的吸收。Kaldorf 等(1999)发现锌、镍等金属元素在菌丝和含有丛枝结构的根皮层细胞区含量较高。接种菌根真菌的植物能比不接种的吸收更多的重金属而不受毒害,其原因可能是菌根真菌细胞壁分泌的黏液和真菌组织中的聚磷酸、有机酸等能与重金属形成络合物,从而减少重金属从根部向地上部的运输。另外,AM 真菌也能够参与有机污染物的降解,它们可能在植物降解有机污染物中具有潜在价值。

在绿色食品生产上利用菌根真菌“生物肥料”和“生物农药”的作用,可以降低速效化肥和农药的用量,从而减轻硝态氮对蔬菜、水果、粮食、蛋、奶、肉等农产品,地下水,地表水资源以及大气的污染程度;接种菌根真菌促进了植物生长、增加产量,提高了农产品的质量和安全性。这为进一步组装集成主要农作物的无公害生产技术规程和技术体系奠定了坚实的基础。

在环境综合治理方面,利用工厂化菌根育苗技术,例如,菌根化育苗造林的配套技术的应用可明显促进林木生长发育,增强林木的抗逆性和抗病性,大大提高不良环境中造林的成活率,促进逆境中林木的生长量;利用菌根真菌能提高植物的抗旱性,增强山旱薄地植物的抗旱性,促进生长,对荒山造林、水土保持、增加森林覆盖率具有重大意义,从而实现“天更蓝、水更清、地更绿”的目标,达到净化环境、美化环境的目的,以满足人们对生态环境质量的要求。

四、保护生物多样性

当前,我国自然资源的匮乏与浪费、生物多样性破坏的现象十分严重。如何保护现有资源和生物多样性并加以合理利用的问题,已提到议事日程。解决这一问题是在科技工作者面前的一项紧迫任务。由于菌根真菌在生态系统中的重要地位和功能,通过它们在地下的菌丝网络可以将多种植物甚至整个植被连成一个有机整体,实现养分、水分、能源、信息共享和最高效的利用,从而促进了整个植被的繁茂,保护了植物的多样性。而依赖于植物的一些动物也会从中受益,发展壮大起来,并进一步通过食物网增加动物多样性。而其他一些与植物关系密切的微生物的生长、发育、分布、多样性和功能也会受到不同程度的影响。

五、稳定生态系统

长期以来,人们对菌根功能的朴素认识总是局限在促进养分吸收、增加植物