



丛枝菌根及其应用

● 刘润进 李晓林 编著

329

科学出版社

内 容 简 介

菌根研究日益引起世界各国的普遍关注。在所有的 7 种菌根类型中,丛枝菌根分布最广,与农业生产关系最为密切。本书共 8 章,重点介绍丛枝菌根的形态结构、分类、生理、生态、应用技术等方面的内容。章节安排上注重内容的系统性、新颖性和可读性。

本书可作为有关院校真菌学、微生物学、土壤微生物学、植物学和各类作物栽培学的选修课和研究生的必修课或选修课教材。

本书可供大专院校(农、林、师范)师生,尤其是研究生、有关研究院所的科研人员、农林技术推广部门及科技工作者学习和研究参考。

图书在版编目(CIP)数据

丛枝菌根及其应用/刘润进,李晓林编著. -北京:科学出版社,2000
ISBN 7-03-008090-4

I. 丛… II. ①刘… ②李… III. 丛枝菌属-研究 IV. Q 949.329

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 68855 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

科 地 亚 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2000 年 3 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2000 年 3 月第一次印刷 印张:7.5

印数:1—1200 字数:205 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

序 1

生物中的菌根是一种高等植物的根及其相应菌物的共生体。这个共生体中的植物和菌物是相互利用的。从严格的意义上说，菌物实际上是寄生在植物根上的，不过这种寄生方式，并不单方面剥夺寄主的营养而造成危害。高等植物有以光合作用合成碳水化合物化合物的能力，这种物质是菌物所不能自营的，必须依赖植物来供给。另一方面，土壤中有一些必要的微量元素，植物不能吸收，但菌物却可以提供。此外还有许多有机物的分解物质，也可以被菌物所吸取，转而供给植物。不仅促使植物生长发育，还可能增进植物的抗逆和抗病性，因此可以说这是一种互利的共生方式。

从菌物寄生的部位的不同，一般可以把菌根分成3类。第一类是菌物的菌丝只寄附于植物根部的皮层外表，并不深入皮层以下的柔膜细胞中。这种方式形成的菌根称做外生菌根。这类菌物常常是属于担子菌的。第二类是菌物的菌丝深入到皮层下的柔膜细胞之中，并长成许多分枝状的菌丝，这些菌丝的局部可能被寄主细胞所消化而利用，但总体还是继续生长发育，因此被称做内生菌根。第三类则兼有外生和内生的特点，因此称做内外生菌根。我们在森林中常见的属于高等担子菌的蘑菇常常是树木外生菌根的产物。内生菌根中产生枝状-泡囊的也称做 VAM，都属于内囊霉科的菌物所形成。所有这类菌物在人工培养基上如果没有其相应的植物根系，就不可能形成子实体。因此在研究菌根菌或企图大量繁殖菌根菌时，都有技术上的困难。

菌根的重要性已经在造林上、果树园艺上、农作物上以及某些兰科植物的栽培上加以证实了。因为菌根菌提供给植物的不仅是水和矿物元素，还有许多能刺激植物生长的有机物质。这些物

质对植物的生长发育和增产是无可替代的。例如杜鹃花的菌根菌和兰科植物的菌根菌都有它们各自的特点。有一种众所周知的兰科植物叫天麻（古称赤箭，学名 *Gastrodia elata*）的，就必须和小蜜环菌（*Armillariella mellea*）形成菌根后才能生长发育，并产生巨大的块茎，那就是我们入药用的天麻。

菌根菌的研究已经独立成为菌物学的一个分支学科，称为菌根学。由于它们在农、林、园栽培生产上的重要性，近年来我国对此的研究工作者也多起来，刘润进同志就是其中之一。由于他亲自操持研究此类菌物的生物学，并积累了可观的资料，因此编写这部《丛枝菌根及其应用》以问世。我认为：任何事物都是从无到有，从简到繁。该书也必然会走这一发展的道路。对当前的同行以及菌物学者来说，不失为一种很好的菌根学的基础资料，有利于推动我国菌物学的发展。为此乐于为序。

写于北京农业大学植物科技学院植物病理学系，时年八十有七。

袁维蕃

1999年6月6日

序 2

长期以来，人们早已了解到一些植物与菌类共同生活的有趣现象，并作了观察和描述。1879 年，Anton de Bary 对这种现象提出了“共生”（living together）的概念，这一广义的共生定义对当时及当前的研究具有深远的意义。德国植物生理学家 Frank（1885）以橡树等为试材的研究中，发现一些真菌组织（菌丝）与这些树木的根系正常地共生结合，并创立了“菌根”（fungus-root 即 mycorrhizas）这个术语来描述植物与真菌共生的关系。今天看来菌根是自然界中最广泛的互惠共生体。

菌根真菌是土壤微生物区系中生物量最大、最重要的成员之一。而丛枝菌根真菌（arbuscular mycorrhizal fungi, AMF）则是分布最广、与农林业生产关系最为密切的一种菌根。它们的活动对植物病害，尤其是土传病害的发生发展、植物营养、水分代谢、生长发育、产量和品质等具有重要的影响。在理论方面，菌根的研究和发展可以丰富生物学的内容，尤其是可丰富微生物和植物之间相互关系研究领域的理论知识。

我国菌根研究起步较晚，开始于本世纪 50 年代。80 年代以后，我国菌根研究进入迅速进展阶段。以中青年为主的科研队伍在大专院校、科研院所日益发展壮大起来；以丛枝菌根为主的内生菌根研究所占比例越来越大，研究内容广泛而深入，有些研究结果已进入世界先进水平。

本书作者在丛枝菌根研究方面经过十多年的努力，从菌根分

布与资源调查入手，逐渐向形态解剖、生态学、生理效应及应用等方面开展了系统研究。他们在总结前人工作的基础上，结合自己的研究工作，编写了《丛枝菌根及其应用》一书。尽管该书包括的内容有待进一步充实提高，但在目前仍可作为该领域的一本参考书。

中国农业大学生物学院 李季伦 教授/院士

1999年6月9日

前 言

在生物学领域里如果说沃森和克里克提出的 DNA 双螺旋结构模型是该领域的一个重要“里程碑”，那么达尔文的生物“进化论”与巴瑞提出的生物之间“共生”（living together）即“一起生活”的概念，则具有划时代的历史和现实意义。自然界内几乎所有的动植物都能与一定种类的微生物建立共生关系。例如，植物根系与真菌所形成的互惠共生体即“菌根”（mycorrhiza）在自然界的分布是十分普遍的。

随着研究的不断深入，人们发现菌根对植物的生长发育是十分有利的。为此，世界各国都很重视菌根生物学技术在农林生产中的重要作用。当前有关外生菌根的专著国内已出版了两部，尚缺乏系统介绍丛枝菌根方面的专著；而且不少院校的本科生和研究生均开设了“菌根”选修课。因此，作者在原来多年教学所用讲义的基础上，经过修改和充实，结合作者自己的科研工作写成此书，以应当前教学的需要，同时也可供研究者提供参考。

在编著本书时，考虑到当前我国菌根方面的教科书和参考书都还缺少。因此在内容取舍上，一方面尽量包括最基本的菌根学知识，另一方面力求反映当前该研究领域里的新理论、新技术和有关生产实践上的问题。希望初学者在掌握本学科基本知识的同时，也能了解本学科的发展趋势，引导他们应用所掌握的理论和知识。书中列出了所引用的主要文献，便于读者进一步查阅和学习。由于作者水平有限，书中肯定有不少缺点和错误，衷心欢迎读者指教。

在编著本书过程中，得到恩师裘维蕃院士的指教、支持和鼓励；作者特别感谢李季伦院士在百忙中为本书作序；同时还得到加拿大 Howard R J 博士、Hwang S F 博士以及国内张美庆研究

员、李敏、盖京苹副教授，吴铁航博士等国内外专家和同行的大力支持和帮助。本专著中部分科研成果以及本书的编著和出版发行由国家自然科学基金重大项目（39790100）、国家自然科学基金（39400089，39970498）和山东省自然科学基金（Q94D00323，Y96D03056）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

1999 年 10 月 5 日

目 录

序 1

序 2

前言

绪论	(1)
一、共生与菌根的概念	(1)
二、菌根研究的意义	(2)
三、我国菌根研究发展概况	(3)
四、国外菌根研究发展概况	(4)
五、展望	(7)
第一章 丛枝菌根形态与解剖结构	(8)
第一节 丛枝菌根表面结构	(10)
一、侵入点	(10)
二、根上菌丝	(12)
三、根外菌丝	(13)
四、根外孢子	(15)
五、土生辅助细胞	(16)
第二节 丛枝菌根内部结构	(17)
一、根内菌丝	(17)
二、丛枝	(19)
三、泡囊	(21)
第三节 植物-真菌界面超微结构	(23)
第二章 丛枝菌根真菌的分类及分布	(26)
第一节 丛枝菌根真菌分类研究概况	(26)
一、分类发展史	(26)
二、分类方法	(28)
三、丛枝菌根真菌名录	(29)
第二节 丛枝菌根真菌的分属特征	(42)

一、无梗囊霉属 (<i>Acaulospora</i> Gerdemann et Trappe)	(42)
二、巨孢囊霉属 (<i>Gigaspora</i> Gerdemann et Trappe) …	(43)
三、盾巨孢囊霉属 (<i>Scutellospora</i> Walker & Schneider)	(44)
四、球囊霉属 (<i>Glomus</i> Tul & Tul)	(45)
五、硬囊霉属 (<i>Sclerocystis</i> Berke & Br.)	(47)
六、内养囊霉属 (<i>Entrophospora</i> Ames et Schneider) …	(47)
第三节 丛枝菌根真菌的分类鉴定	(48)
一、丛枝菌根真菌的收集和分离	(48)
二、丛枝菌根真菌的制片与镜检	(48)
三、丛枝菌根真菌分类鉴定特征	(49)
四、检索和鉴定	(52)
五、检索表	(52)
第四节 丛枝菌根真菌的分布	(53)
一、地理分布	(54)
二、土壤中的分布	(58)
第五节 我国丛枝菌根真菌资源状况	(60)
一、园艺作物菌根资源	(60)
二、其他作物菌根资源	(63)
第三章 丛枝菌根真菌的分离与培养	(66)
第一节 丛枝菌根真菌的分离	(66)
一、样品采集	(66)
二、样品的处理与保存	(67)
三、样品中丛枝菌根真菌的分离	(68)
第二节 丛枝菌根真菌的培养	(69)
一、寄主植物的选择	(69)
二、培养基质的种类	(69)

三、环境条件的要求	(70)
四、单孢分离培养与加富培养	(70)
五、丛枝菌根的体外培养	(72)
六、丛枝菌根真菌纯培养研究进展	(74)
第四章 丛枝菌根的生长发育	(80)
第一节 识别与初始侵染	(80)
一、孢子萌发与芽管生长	(80)
二、附着泡与侵入点形成	(81)
第二节 菌丝扩展与菌根发育	(85)
一、菌丝扩展	(85)
二、丛枝的发育	(86)
三、泡囊的生长	(89)
第三节 孢子及其他器官的生长发育	(89)
一、丛枝菌根真菌孢子的形成	(89)
二、丛枝菌根生长发育动态	(90)
三、植物对丛枝菌根生长发育的影响	(92)
四、土壤条件对丛枝菌根形成的影响	(93)
五、光照对菌根形成的影响	(97)
六、季节对菌根形成的影响	(97)
第五章 丛枝菌根的效应及其作用机制	(98)
第一节 丛枝菌根与植物矿质营养	(98)
一、磷的吸收与利用	(99)
二、氮的吸收与利用	(103)
三、钾、钙、镁的吸收与利用	(105)
四、微量元素的吸收与利用	(106)
五、丛枝菌根吸收矿质养分的机制	(108)
第二节 丛枝菌根与植物的水分状况	(111)
一、正常供水条件下菌根对植物水分代谢的影响	(112)
二、干旱条件下菌根对植物水分代谢的影响	(113)
三、不同丛枝菌根真菌的效应	(115)

四、丛枝菌根真菌改善植物水分代谢的作用机制	… (115)
第三节 丛枝菌根与植物的抗病性	… (122)
一、丛枝菌根真菌对植物抗病性的诱导作用	… (122)
二、丛枝菌根真菌诱导植物抗病性作用机制	… (127)
三、丛枝菌根真菌对植物抗、耐病性具有双重作用	… (133)
第四节 丛枝菌根与植物的其他抗逆性	… (135)
一、盐胁迫下丛枝菌根真菌对植物的影响	… (135)
二、丛枝菌根对重金属的抗性	… (138)
第五节 丛枝菌根与植物的生长和产量	… (140)
一、低磷灭菌土条件下菌根对植物生长发育的影响	… (140)
二、高磷灭菌土条件下菌根对植物生长的影响	… (142)
三、不灭菌土条件下菌根对植物生长发育的影响	… (143)
四、丛枝菌根真菌促进植物生长发育的作用机制	… (145)
第六章 影响丛枝菌根的环境因子及其调控	… (148)
第一节 土壤因子对丛枝菌根的影响	… (148)
一、土壤类型	… (148)
二、土壤养分	… (153)
三、土壤 pH	… (158)
四、土壤含水量和透气性	… (160)
五、土壤温度	… (161)
六、其他土壤微生物	… (162)
七、盐胁迫对菌根的影响	… (163)
第二节 气候条件与地理因子对丛枝菌根的影响	… (166)
一、光照条件	… (166)
二、季节变化	… (167)
三、地理因素	… (167)
第三节 农业措施	… (170)
一、施肥与浇水	… (170)
二、化学药剂的施用	… (172)
三、种植方式	… (173)

第七章 丛枝菌根在农业上的应用	(175)
第一节 丛枝菌根应用的范围和条件	(175)
一、丛枝菌根真菌的有效性	(176)
二、寄主植物对菌根真菌的依赖性	(176)
三、适接种处理的土壤条件	(177)
四、有效的接种技术	(177)
五、良好的配套技术	(178)
第二节 在园艺作物上的应用	(178)
一、果树	(179)
二、蔬菜	(182)
三、花卉	(182)
第三节 在农作物上的应用	(183)
第八章 丛枝菌根实用技术	(187)
第一节 丛枝菌根真菌接种剂的生产技术	(187)
一、盆栽培养法	(187)
二、静止液培法	(188)
三、流动液培法	(188)
四、喷雾液培法	(189)
五、大田培养法	(189)
第二节 丛枝菌根真菌接种剂的保存与质量检验方法	(190)
一、接种剂的储藏	(190)
二、接种剂质量的检验方法	(191)
第三节 丛枝菌根真菌的接种方法	(194)
一、按接种物形式区分的接种方法	(195)
二、按接种部位区分的接种方法	(196)
三、其他接种方法	(197)
参考文献	(199)

CONTENTS

Foreword I

Foreword II

Preface

Introduction	(1)
Conception of symbiosis and mycorrhizae	(1)
Importance of mycorrhiza research	(2)
Advances of mycorrhiza research in China	(3)
Advances of mycorrhiza research in the world	(4)
Prospects	(7)

Chapter 1 Anatomy and morphology of arbuscular mycorrhizalFungi (AMF)

(8)

Structures on the root surface	(10)
1. Entry points	(10)
2. Hyphae on roots	(12)
3. External hyphae	(13)
4. Spores connected with roots	(15)
5. Soil-borne auxiliary cells	(16)
Structures inside the root	(17)
1. Internal hyphae	(17)
2. Arbuscule	(19)
3. Vesicles	(21)

Ultrastructure of the host-fungus interface	(23)
---	------

Chapter 2 Taxonomy and distribution of AMF

(26)

Advances in the study of AMF classification	(26)
1. Developmental history	(26)
2. Method of identification	(28)
3. Species of AMF	(29)

Features of AMF genera	(42)
1. <i>Acaulospora</i> Gerdemann et Trappe	(42)
2. <i>Gigaspora</i> Gerdemann et Traaooe	(43)
3. <i>Scutellospora</i> Walker & Schneider	(44)
4. <i>Glomus</i> Tul. & Tul	(45)
5. <i>Sclerocystis</i> Berk et Br	(47)
6. <i>Entrophosprora</i> Ames et Schneider	(47)
Identification of AMF	(48)
1. Collection and extraction of AMF	(48)
2. Slide making and observing	(48)
3. Identifying characters of AMF	(49)
4. Retrieval and identification	(52)
5. Key to families	(52)
Distribution of AMF	(53)
1. Geographical distribution	(54)
2. Distribution in soils	(58)
Resource situations of AMF in China	(60)
1. Resources of AMF on horticultural crops	(60)
2. Resources of AMF on other crops	(63)
Chapter 3 Isolation and culture of AMF	(66)
Isolation of AMF from soil	(66)
1. Collecting Samples	(66)
2. Sample treatment and preservation	(66)
3. Isolating AMF in samples	(67)
Culture of AMF	(69)
1. Selection of host plants	(69)
2. Type of culture media	(69)
3. Requirement for environment conditions	(70)
4. Single-spore culture and rich culture	(70)
5. Culture in vitro	(72)

6. Advances in the pure culture of AMF	(74)
Chapter 4 Growth and Development of AMF	(80)
Recognition and initiation infection	(80)
1. Spore germination and germ tube growth	(80)
2. Formation of appressorium and entry points	(81)
Extension and development of AMF	(85)
1. Extension of hyphae	(85)
2. Development of arbuscular	(86)
3. Growth of vesicles	(89)
Growth and development of spores and other organs ...	(89)
1. Formation of AMF spores	(89)
2. Growth and development dynamics of AMF	(90)
3. Effect of AMF on growth and development of plants	(92)
4. Effect of soil conditions on AMF formation	(93)
5. Effect of light on AMF formation	(97)
6. Effect of seasonal variation on AMF formation...	(97)
Chapter 5 Effect and mechanism of AMF	(98)
AMF and plant nutrition	(98)
1. Absorption and utilization of phosphorus	(99)
2. Absorption and utilization of nitrogen	(103)
3. Absorption and utilization of K、Ca and Mg	(105)
4. Absorption and utilization of trace elements...	(106)
5. Mechanism of mineral nutrition absorbed by AMF	(108)
AMF and plant water relations	(111)
1. Effect of AMF on water metabolism of plant under normal watered conditions	(112)
2. Effect of AMF on water metabolism of plant under	

drought conditions	(113)
3. Efficiency of different AMF	(115)
4. Mechanism of improving water metabolism of plants by AMF	(115)
AMF and disease resistance of plant	(122)
1. Induction of disease- resistance by AMF	(122)
2. Effects of AMF on disease resistance of plants	(127)
3. Mechanism of disease-resistance induced by AMF	(133)
AMF and other stress-resistance and tolerance	(135)
1. Effect of AMF on plants grown under salt stress	(135)
2. Heavy mental toxic-tolerance induced by AMF	(138)
AMF and plant growth, and yield	(140)
1. Effects of mycorrhizas on growth and development of plants grown in low P level and sterilized soil	(140)
2. Effects of mycorrhizas on growth and development of plants grown in high P level and sterilized soil	(142)
3. Effect of mycorrhizae on growth and development of plants grown in unsterilized soil	(143)
4. Mechanism of increasing plant growth and develop -ment by AMF	(145)
Chapter 6 Factors of influencing AMF and their adjustment	(148)
Effects of Soil on mycorrhizds	(148)
1. Soil types	(148)