

菌根研究及应用

MYCORRHIZAL RESEARCH AND APPLICATION

弓明钦 陈应龙 仲崇禄 编著



.3

中国林业出版社

CHINA FORESTRY PUBLISHING HOUSE

MYCORRHIZAL

Research and Application

by

Gong mingqin
Chen Yinglong
Zhong Chonglu



CHINA FORESTRY PUBLISHING HOUSE
Beijing , China

内 容 简 介

本书在系统介绍菌根学基础知识的同时，着重对近年来国内外在菌根研究方面的新观念、新方法、新技术、新成果及新进展等进行分类介绍。全书共分7章。绪论部分重点对国内外的菌根研究进展及有关菌根研究的组织、会议、刊物和文献等进行介绍；总论系统地介绍了菌根知识；书中特别对近年来国内外研究比较多的与菌根有关的树种，依针叶树和阔叶树分别综述；在菌根研究方法部分，重点对国内外的新技术、新方法进行介绍；对近年来人们十分重视的菌根食用菌的栽培途径等问题，书中进行了有关的探讨。

本书既考虑到研究者的需要，也照顾到初学者的要求。可供农、林院校及综合性大学生物系师生、农林科研机构的研究人员、食用菌研究工作者以及农林部门的技术及管理人员等参考。

菌根研究及应用

中国林业出版社出版

(100009 北京西城区刘海胡同7号)

北京地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

1997年6月第1版 1997年6月第1次印刷

787mm×1092mm, 1/16 15印张 364千字 4面插页

印数 1~1000册

ISBN 7-5038-1841-7/S·1061

定价: 30.00元

序

早在 1881 年, F. M. Kamienski 曾提出菌物可能给植物的生长提供水分, 而植物又可能给菌物提供代谢营养的论点。这一概念当时未被人们所重视, 因为菌物学长期总以固有的植物病理学的概念一统天下。虽然 A. B. Frank 在 1885 年已启用菌根 Mycorrhiza 一词, 但长久以来对菌根的系统研究, 学者们却总是和之者寡, 蹒跚不前。但近 30 年来, 菌根学在农业上、林业上广泛被研究和应用, 对植物和菌物互惠作用的认识, 对菌根生态多样性的重视, 以及菌根技术推广后所带来的经济效益等等, 确把菌根学的研究和普及推向一个新的高潮。菌物学家重新认识地下菌物种群的重要性的丰富性, 认识植物根系与土壤微生物在地下根际间的组合关系, 包括其间的相克、平衡和共生的微妙关系, 这吸引着菌物学家、农学家、林学家和实业家们的浓厚兴趣。近年来, 几乎在全球所有的菌物学刊物上发表的有关菌根的研究成果, 正如雨后春笋, 接连不断。有关菌根技术对农业增产和荒山造林的成功报道层出不穷, 相应的各种学习班、学术会议甚为普遍, 同时形形色色的菌根培养剂广告和推广说明也相继应运而生。

科学是生产力。菌根的研究和推广, 近几年来在我国的发展和国际一样是活跃的, 确有长足的进展。

弓明钦先生, 是我国近十多年来在菌根学的研究和推广中的佼佼者, 尤其是在我国南方引种栽培的桉树菌根造林中, 其贡献和成绩, 令人仰慕和佩服。他长期在海南、广东、云南等地进行过广泛的、踏实的调查和研究, 对菌种的分离、培养、接种、育苗和造林, 一贯坚韧不拔, 事必恭亲; 他长期与澳大利亚的菌根专家们, 如 Nicholas Malajczuk, Bernard Dell, M. Brundrett 等先生仆仆往返于中澳的野外和实验室间, 并依然继续这一极有成效的协作, 这不仅使中国同行们为此高兴和鼓舞, 也同时赢得了熟悉他的国际同行们的信任和尊敬。

本书是他和他的同行们近十余年来的一个阶段性的小结, 其成绩斐然。他们通过艰苦实践, 获得了可贵的数据和资料。他把自己和同行们多年的心血和汗水凝在本书的字里行间, 培育出我国菌物学研究田园中的一朵奇葩, 其绚采弥补了我国菌

物学上本来不该有的空白。

此书的出版使我们高兴，而更使我们感到更高兴的还在后头，即丰富的菌根资源正召唤着我们和我们的后代去研究、保护和合理的开发利用。

明钦先生要我为本书写一篇序，我为他取得的成绩而高兴，所以客气不如从命，就以此为序吧。

臧 穆

于昆明植物研究所

隐花植物标本馆

1996年4月

前 言

从 19 世纪中期人类首次发现菌根现象至今，已有 100 多年的历史，直到 20 世纪 60 年代以后，菌根对植物的许多有益功能及作用陆续被人们发现，菌根共生现象从此受到人们的普遍关注，从而加速了对其开展研究的进程。

特别是近十多年来，国内外对菌根的研究方兴未艾，发展十分迅速，仍然是自然科学研究中的一个热门课题，菌根研究得到了前所未有的发展，不仅发达国家积极开展研究，许多发展中国家也都加强了对菌根的研究。从目前情况来看，无论直接从事菌根研究的科学家，还是从事菌根技术推广应用的工程技术人员或者企业家，直接或间接参与的人数都是空前的；菌根所涉及的对象学科已从传统的林学发展到农学、园艺花卉学、果树学及其他相关科学；研究的范围也从外生菌根发展到内生菌根；研究的内容已从初期的资源研究、菌根选择等，发展到菌根生态、生理生化、菌根菌的遗传变异等探索内部机理、机制等方面的研究；菌根研究的技术手段，已从传统的生物学技术向现代高科技技术手段发展，特别是电子显微技术、层析技术以及原生质融合技术、DNA 重组技术，此外还有同功酶分析、RFLP 分析及 PCR 技术、包埋技术等。虽然有些仍属探索性阶段，然而，它的发展不仅为菌根研究带来新的活力，在某些方面还可能有突破性的进展。在菌根技术的应用方面，也开始从初期小面积的个别接种试验发展到大面积的应用推广；菌剂形式已从初期的固体发酵发展到工业化的液体发酵，以及多剂型、多菌种等商业化生产的道路。可以相信，随着科学技术的不断更新，菌根研究必将得到进一步发展，成为一种多学科的高新技术科学。

我国的菌根学研究近十多年来也得到了很大的发展，不仅研究队伍在不断壮大，研究人员的素质也大大提高，特别是有许多获得硕士和博士学位的年青同志的加盟，对发展我国菌根研究事业，提高我国菌根研究水平都起到了积极的推动作用。近年来，我国菌根研究无论在农业还是林业，无论是内生菌根还是外生菌根，无论基础研究还是应用研究都取得了较大的成绩，目前正向纵深发展，有些研究成果还获得国家和省部级的奖励，菌根技术正向多树种、多作物的应用方面发展。特别是在内生菌根方面的研究，其发展速度迅速，在菌种分类及资源调查、菌根生理、菌根技术应用等多方面，都取得了较重要的研究成果。某些菌根技术已开始从实验室试验阶段转向生产应用及推广阶段，并已初步显示出其发展和应用的广阔前景。但是，从整体水平来看，我国的菌根研究仍需要进一步发展与提高，正如裘维蕃先生指出的那样，菌根研究在我国还只是一个开始。

本书在总结前人研究结果的基础上，着重对近十多年来国内外菌根研究的重要成果进行分类总结。除了对菌根基础知识进行重点介绍外；还分别就研究比较多的针叶树种、阔叶树种及其他树种的菌根研究概况进行综合性评述；对菌根研究方法，特别是比较成功的新方法、新技术进行重点介绍；书中还对菌剂形式、生产途径、质量监测及使用方法等进行了叙述与介绍；此外，还就近年来人们十分关注的菌根食用菌的人工模拟合成的问题，进行了综述与探讨，提出了珍贵菌根食用菌人工模拟合成的可行途径等。

本书在编写过程中，分别得到澳大利亚科学与工业组织(CSIRO)林业研究所的 N. Malajczuk

博士、M. Brundrett 博士、澳大利亚 Murdoch 大学的 B. Dell 博士，中国科学院昆明植物研究所臧穆先生，北京市农林科学院张美庆先生，北京林业大学雷增普先生，及台湾大学农学院胡弘道先生等的大力支持，提供有关最新研究成果或资料。臧穆先生、张美庆先生还审阅全文并订正了部分真菌学名。陈羽女士负责本书的打印与校对，王凤珍女士负责本书文稿的校对与图版的复制等。澳大利亚国际农业研究中心(ACIAR)给予出版经费方面的支持。对此，作者表示深切的谢意。鉴于本书编写时间仓促，作者本人虽从事菌根研究多年，但水平不高，知识有限，错误或欠妥之处在所难免，欢迎读者提出批评和指正。

本书既考虑到研究者的需要，也照顾到初学者的要求，可供农林院校师生、综合性大学生物系师生、农林科研机构的研究人员、食用菌研究工作者以及农、林部门的技术和管理人员等在生产、工作和学习时参考。

作者

1996年1月

Foreword

It has been more 100 years since the first discovery of mycorrhizal association in nature. However, little attention was paid to this symbiosis until some important functions beneficial to the health growth of plants were discovered in 1960's.

As one of the most important branches of natural science, research on mycorrhizal associations has been actively pursued, especially in the past 10 years. Presently, many natural scientists are interested in mycorrhizal research to provide commercial products for forestry and agriculture. Knowledge about mycorrhizal science is required not only for forestry and agriculture, but also for horticulture and other related subjects. Mycorrhizal science has expanded from earlier studies on fungal diversity and fungal screening for growth promotion, to now included mycorrhizal ecology, physiology and genetics. Mycorrhizal research now in the forefront of scientific endeavors. New techniques and protocols, such as electron microscopy and analysis of isoenzyme variation are used to help understand the structure and functions of the symbionts. Current biotechnological tools, including monoclonal antibodies and protoplasm fusion, as well as PCR, RFLP and recombinant DNA techniques, will advanced basic studies characterizing the developmental processes, nutritional requirements and genetic mechanisms of mycorrhizas. Advances in this areas, in turn, will provide strong foundation for mycorrhizal research leading towards enhanced understanding and utilization of these potentially valuable biological resources.

Great progress in mycorrhizal research has been made both here and abroad. In China, many young scientists bring new vigor to the mycorrhiza-research teams under guidance of experienced professional advisers. Some research findings have gained awards from national or provincial organization. However, further studies on mycorrhizal research are certainly required. This is a new era for mycorrhizal research, as Prof. Qiu Weifan, a famous mycologist, has commented.

This book, *Mycorrhizal Research and its Applications*, briefly summarizes worldwide advances in studies on ectomycorrhizas and endomycorrhizas based on scientific literature. Some key types of mycorrhizas on different trees, including coniferous species, broad-leaf species and others, are surveyed. The basic methods for mycorrhizal research are detailed in this book and current biotechnological tools introduced. The processes used to produce mycorrhizal inoculum for commercial utilization and potential techniques for synthesis of some valuable mycorrhizal edible fungi are also discussed. The authors have taken care to ensure the accuracy of information contained in this book. However, due to limits in our knowledge on mycorrhizas and the wide diversity of topics covered, there may be some errors in this book. We would greatly appreciate your correspondence concerning any questions about topics in this book.

The authors wish to thank the many people who have helped us over the years and who have encouraged us to persevere with the production of this book. In particular, we are grateful for helpful advice from Drs. N. Malajczuk and M. Brundrett of CSIRO Forestry and Forest Products,

AUSTRALIA AND Dr. B. Dell of Murdoch University, Australia, as well as Prof. Lei Zengpu of Beijing Forestry University and Mr. Hu Hongdao of Taiwan University. We also acknowledge Prof. Zang Mu of Kunming Research Institute of Botany and Prof. Zhang Meiqing of Beijing Academy of Agriculture and Forestry who gave constructive comments on a draft of this book. We extend our appreciation to Ms. Chen Yu for preparing typescript and Ms. Wang Fengzhen for proof reading and duplicating plates. The publishing cost was funded by the Australian center for International Agriculture Research(ACIAR).

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	1
第一节 人们对菌根的认识过程与发展	1
第二节 我国菌根研究概况	2
第三节 国际菌根研究概况	4
一、菌根菌的分类鉴定	5
二、菌根生态学	6
三、菌根生理学	7
四、菌根技术的应用	8
第四节 国内外的菌根组织、会议及刊物	9
第二章 总 论	12
第一节 菌根的概念	12
一、根际微生物	12
二、土壤中的真菌	12
三、菌根概念	13
第二节 菌根的类型	14
一、外生菌根	14
二、内生菌根	14
三、内外生菌根	15
四、其他菌根类型	16
第三节 菌根的形态	17
一、外生菌根的形态特征及结构	17
二、内生菌根的形态特征及结构	21
第四节 形成菌根的真菌	23
一、形成外生菌根的真菌	23
二、形成 VA 菌根的真菌	26
第五节 形成菌根的树种植物	30
第六节 菌根的形成过程	33
一、外生菌根的形成过程	33
二、内生菌根的形成过程	34
第七节 菌根形成的条件及影响因子	35
一、菌根真菌的专化性	35
二、菌根真菌的生理学特性	37

三、影响菌根形成的因素	44
第八节 菌根对植物的有益作用	51
一、扩大宿主植物根的吸收面积	51
二、增加宿主植物对磷及其他营养的吸收	52
三、菌根真菌产生的生长素	52
四、菌根提高植物抗逆性	53
五、菌根改善植物根际环境	54
六、菌根增强植物的抗病力	55
第九节 其他类型的菌根	61
一、内外生菌根	61
二、混合菌根	65
三、假菌根	66
四、兰科植物菌根	66
五、杜鹃类菌根	67
第三章 针叶树种菌根	70
第一节 松属树种菌根	70
一、松属树种的菌根菌资源	70
二、松树菌根的研究概况	76
第二节 杉树菌根	82
第三节 柏树菌根	83
第四章 阔叶树种菌根	84
第一节 桉树菌根	84
一、桉树菌根菌资源	84
二、桉树菌根研究概况	86
第二节 龙脑香科树种菌根	88
一、龙脑香科树种的菌根菌资源	89
二、龙脑香科菌根研究概况	91
第三节 杨树菌根	93
一、杨树菌根菌资源	93
二、杨树菌根研究概况	94
第四节 木麻黄菌根	96
一、木麻黄的菌根菌资源	96
二、木麻黄菌根研究概况	97
第五节 相思菌根	99
第六节 其他树种的菌根	101
一、棕榈藤植物的菌根	101
二、红树林菌根	103
三、竹类菌根	104

第五章 菌根研究方法	105
第一节 外生菌根研究方法	105
一、外生菌根的调查	105
二、样本的采集与保存	107
三、菌根形态的观察	108
四、菌根真菌的分离培养	113
五、外生菌根的人工接种	120
六、主要外生菌根真菌的形态特征及属的分类	124
七、外生菌根的鉴定	131
第二节 VA 菌根的研究方法	133
一、VA 菌根的调查与样品的收集	133
二、VA 菌根侵染的观测	137
三、VA 菌根感染情况及其分级计算	139
四、VA 菌根的其他检测方法	141
五、VA 菌根的鉴定	141
六、VA 菌根真菌的繁殖	149
第三节 菌根研究与现代分子生物学技术	151
一、菌根研究与 DNA 分析技术	151
二、菌根研究与同功酶分析技术	158
三、杂交瘤技术在菌根研究中的应用与展望	161
第六章 菌剂生产与应用	164
第一节 菌根真菌的扩大繁殖	164
一、菌根真菌的固体培养	164
二、菌根菌的液体培养	165
三、液体深层发酵培养	166
第二节 菌剂类型及其生产	167
一、液体菌剂	167
二、固体菌剂	168
三、粉 剂	168
四、片剂和颗粒剂	168
五、菌 丸	168
六、其他菌剂	169
第三节 菌剂检测与贮存	170
第四节 菌根技术的应用	171
一、引 种	171
二、育 苗	172
三、逆境造林	174
四、经济树木的栽培	176

五、防治植物根部病害	176
六、菌根食用菌	177
第五节 菌根技术应用中应注意的问题	177
一、适地适菌	178
二、林业技术的配合	179
三、正确而灵活运用接种技术	180
第七章 菌根与森林食用菌	181
第一节 菌根食用菌在森林中的地位及其经济价值	181
第二节 我国的菌根食用菌资源	182
第三节 菌根食用菌的模拟合成	185
一、菌根食用菌的生长特点及其栽培	185
二、菌根食用菌的栽培途径	187
三、松茸菌的合成研究	188
四、其他菌根食用菌	191
第四节 菌根食用菌经营模式的探讨	192
一、人工促进天然菌根食用菌的增产模式	192
二、半人工模拟合成经营模式	193
参考文献	

第一章 绪 论

第一节 人们对菌根的认识过程与发展

早在 19 世纪中期,一些科学家就先后发现,水晶兰(*Monotropa hypopitys* L.)的根部常常被一层稠密的真菌菌丝体包围着(Unger 1840、Lees 1841 和 Ryland 1842),当时他们都一致认为这是水晶兰的寄生真菌。直到几十年后,俄国科学家 Kamienski(1881)经过研究,首次指出水晶兰根系上的真菌是给植物提供营养物质的,而并非寄生菌,他认为这种真菌与水晶兰之间是营共生生活的性质。Frank (1885,1887)先后研究了山毛榉、桦树及松树等的根系,发现这些植物根系也都有与水晶兰类似的现象,而且他还发现,凡是根上具有这种菌丝现象的松树,其生长速度要比没有这种菌丝的松树快得多。他在描述这些树种根系与真菌菌丝形成的联合体时,在世界上首次使用了“Mycorrhiza”(菌根)这一术语。在希腊文中,Mykes 和 Rhiza 两字分别是“真菌”和“根”的意思;而在英文词汇中,词首“Myc-”是真菌之意,将英文词首 Myco-与希腊文中的 Rhiza 二者相结合变成“Mycorrhiza”,就成为菌根这一新的术语,并一直沿用至今。因此, Frank 一直被人们称之为菌根学科的奠基人。其实,第一个把菌根和形成菌根的真菌联系起来的人是 Reess,他描述了菌根菌套与粒状大团囊菌(*Elaphomyces granulatus*)的联系(引自黄亦存等,1992)。

早在 Frank 提出菌根这一专业术语前,已有不少人开展了这方面的研究,也都发现类似现象。除了上述那些外生菌根现象外,在内生菌根方面也早就有关于内生菌根真菌方面的研究与报道,如 *Endogone*, *Glomus* 和 *Sclerocystis* 等属的真菌,就是分别由 Link(1809)和 Fr.(1823)、Berk. 和 Broome(1875)、Tul.和 Tul.(1845)首次描述和报道的,只不过人们当时尚没有发现 Frank 观察到的那种真菌与植物的共生作用而已(吴铁航,1994)。

Kidston 和 Lang(1921)在研究大约 3.7 亿年以前,属于泥盆纪的古蕨类植物化石的根时,就发现根系有类似 VA 菌根(即泡囊丛枝状菌根 Vesicular-Arbuscular mycorrhiza,简称 VA 菌根)的结构。而 Osborn(1909)和 Halket(1930)等,在古老的碳酸盐沉积物地层中,也发现许多具有 VA 菌根状的石松类植物和裸子植物的化石,其中, *Amyelon radicans* 的化石是保存最好、最完整、也是具 VA 菌根的化石。因此,人们完全可以认为,早在高等植物未产生之前,菌根真菌就已经同古老的陆生植物形成了共生联合体,在这些古老植物漫长的进化历史过程中,菌根真菌也与之共同演化,同样保持着相互营共生生活的亲密关系,共同发展并一直沿留下来。

据分析,具 VA 菌根类型的植物要比具外生菌根类型的植物的生存历史早得多。现代的松柏科和壳斗科植物的外生菌根,大约出现在 1 亿年前的白垩纪时代;兰科植物的菌根大约出现在 4000 万年前的新生代第三纪;而内外生菌根形成的时间最短,它们的形成历史大约不到 4000 万年。而 VA 菌根出现的时间最早,历史最长,它们可能是形成于陆生植物形成的初期,并在陆生植物的形成与进化过程中起着重要的作用(郭秀珍,1989)。

我们知道,现代陆地植物都是在很久很久以前从水生植物逐渐演变,过渡到陆地条件下定

居的, 定居当初的“土壤”是不适宜植物生长的, 但是, 那些可能同菌根真菌共生的植物, 就可以在条件极差的地方保留下来。因此, 植物能够从水生过渡到陆生, 与菌根的形成具有十分密切的关系(Trappe, 1977)。

随着人们对菌根研究的逐渐深入, 菌根现象受到普遍重视, 到 19 世纪末, 尽管有一些学者仍然认为, 菌根是一种病态现象或真菌与植物生存的一种特殊形式, 但菌根对植物的有益作用却不断被发现, 从而更加速了人们对菌根的研究。

到 20 世纪中期, 人们对菌根的研究发展到十分广泛和深入的程度, 认识到自然界中绝大多数植物都具有菌根, 从而证明菌根现象是自然界中的普遍现象。菌根的形态学、解剖学、分类学以及菌根应用技术等研究都同时得到了进一步的发展。

据 Maeda(1954)和 Gerdmann(1968)的估计, 世界上大约有 200 科 1000 属的现代植物有菌根关系。据 Trappe(1962)统计, 有 10 目 30 科 81 属的 535 种真菌可与 280 种树木形成外生菌根, 不同的树木与真菌的共生组合则更多, 估计可达 1500 种以上。随着研究的深入与范围的扩大, 这些数字已被不断改写。在菌根分类方面, 人们已改变过去单一根据共生真菌子实体进行分类的方法, 而由菌根的形态学、解剖学甚至生理学特性的差异进行分类。在实践中人们注意到, 有一些植物引种几年甚至几十年, 均未能取得成功, 而当引进一些带菌根的土壤施在其中, 引种就得以成功且生长正常, 如伊拉克 50 年代引种桉树, 波多黎各引种松树, 都出现过这种情况。60 年代中 Gerdemann 和 Nicolson(1963)利用“湿筛倾析法”从土壤中分离出 VA 菌的孢子, Gerdemann(1961)和 Gilmore(1968)利用“盆钵栽培法”成功地繁殖 VA 菌以来, 内生菌根研究也得到了迅速的发展。菌根技术不仅在林业上得到迅速推广与应用, 农业上的应用也取得了较大的发展。菌根不仅得到人们的承认, 而且在应用技术上也有很大的进展。现在, 在自然界中植物有菌根属正常现象, 植物没有菌根反而成了异常现象了。

第二节 我国菌根研究概况

我国菌根研究与国际上的菌根研究相比, 起步较晚, 然而从发展速度来看却是相当迅速的。从 50 年代中期开始至今的 40 多年中, 我国的菌根研究从无到有, 大致经历了 3 个阶段: 50~70 年代末期为起步阶段, 70~80 年代为发展阶段, 80 年代至今为巩固及提高阶段。

50 年代以前, 我国的菌根研究基本上是一片空白。从 50 年代中期开始, 由于国外菌根研究取得较好的效果, 中国科学家也开始加入了菌根研究的行列。50 年代后期, 郭秀珍(1959)在前茬是板栗苗的苗床上培育油松苗, 证明可提高油松苗的造林成活率; 谭松山(1958)也报道了马尾松应用菌根接种对幼苗生长也有较好的促进效果; 之后, 张宪武等(1964)首次利用牛肝菌的纯培养菌剂接种樟子松幼苗, 证明牛肝菌对樟子松幼苗生长有明显的促进作用。此外, 贵州、黑龙江等地也有类似的初步应用试验, 都同样取得较好的效果。这一时期的菌根研究尽管内容并不算太多, 面还不够广, 研究力量也不太多, 但却有了一个好的开端, 为我国菌根研究拉开了序幕, 为菌根研究的发展奠定了基础。

从 60 年代至 70 年代, 我国菌根研究得到了进一步的重视与发展, 有关初期的应用研究及一些基础工作仍在继续。谭松山(1978)研究了金钱松的菌根, 证明接种菌根 1 年后, 苗木就可达到出圃造林的标准, 比一般不接种的金钱松苗提早 2 年出圃。陈永密(1978)研究了杨树菌根, 证明加杨与钻天杨对菌根接种也有较明显的反应。广东林业科学研究所(1978)还对在不同 pH

值的土壤条件下,马尾松菌根形成的关系进行了研究。在这个时期中,中国林业科学研究院、北京林业大学及中国科学院森林土壤研究所(中国科学院应用生态研究所的前身)等单位也一直在继续开展有关研究。70年代后期,于1979年在沈阳市首次召开了全国菌根学术研讨会,尽管当时参加这次会议的人数仅30人,交流的论文仅11篇,但这次会议的意义十分重大。它不仅标志着我国菌根研究已从起步阶段过渡到发展阶段,开始得到人们的重视,而且在研究队伍上、研究内容上都显示出了我国菌根研究有了初步的发展,全国的菌根学家们在学术上也有了交流的一席之地,也更为我国菌根研究进入全面发展阶段吹响了号角。这次会议被人们称为全国第1届菌根学术研讨会,并载入史册。其实,这次会议应当成为我国菌根研究与发展的第1个里程碑。

从70年代到80年代,我国菌根研究不仅研究队伍不断壮大,研究的深度及广度也进一步提高,研究内容也开始从外生菌根发展到内生菌根;从菌根菌资源调查、菌根生态、菌根菌分类鉴定及分离培养技术等基础研究发展到菌剂制备、应用技术及大面积的技术推广,并取得了十分显著的成绩。从1980年到1988年的8年时间中,在中国微生物学会农业微生物专业委员会及中国土壤学会生物及生物化学专业委员会的大力支持下,先后连续召开了4次全国菌根研讨会(即从第2届至第5届),平均每2年就举办1次;每届的代表人数也逐年增加,最多一次与会代表人数达71人。在这4次菌根学术研讨会上,提交的论文共141篇,其中内生菌根论文共81篇,约占论文总数的57.4%。显示出内生菌根研究在这期间得到了迅速发展。据不完全统计,在这段时间中,在国内正式刊物发表的重要菌根论文约58篇,其中,外生菌根论文31篇,内生菌根的论文占27篇,在一定程度上反映了当时我国菌根研究的发展与水平。此外,在这期间先后举办各种菌根学习班共7次,为推动我国菌根研究培养了大批人才。我国内生菌根的研究起步就是从这个时期开始的,仅仅几年时间,内生菌根的研究从无到有,发展十分迅速,在研究人数,发表论文上已超过了外生菌根,取得了可喜的进展。

随着菌根在农林业生产中的许多有益作用不断地被证实,引起了国家有关部门的重视。1986年,我国首次将外生菌根研究列入国家“七五”林业攻关计划内容,给予了重点支持;与此同时,国家自然科学基金等机构也先后资助了多个菌根研究课题;林业部的世界银行贷款的造林项目,也将菌根列入重点推广应用的内容之一;许多省市也拨款支持菌根的研究。有了各方面的大力支持,菌根事业才有发展的基础。

在改革开放的年代中,我国的菌根研究开始打破“闭关自守”的状态,派出去,请进来,让我国菌根研究尽快赶上世界先进水平。在这期间,我国与国外菌根研究机构及同行们之间的交往大幅度增加,不仅有代表参加亚洲、北美洲及大洋洲等地区的国际性菌根盛会,而且先后派了不少中青年同志出国留学或培训。1989年,亚洲地区成立了菌根网络(MIC),我国有14名科学家(包括台湾)列入网络成员之中。1982年,澳大利亚菌根学家来华讲学。1989年澳大利亚国际农业研究中心(ACIAR)与中国林业科学研究院热带林业研究所合作,共同开展了桉树及木麻黄菌根的研究,这是我国首次在菌根研究方面同国外的合作项目;此外,还有同瑞典、法国、德国等国家进行合作的菌根研究项目。美籍华人何翼万先生也曾回国讲学。台湾的菌根学家胡弘道先生也多次到大陆访问,交流研究成果。通过这些活动,对提高我国菌根研究水平,促进我国的菌根研究事业与国际研究更多的交流与合作,起到了积极的作用。

在这个时期中的另一件大事,是郭秀珍和毕国昌先生正式出版了我国第一部菌根专著《林木菌根及应用技术》。这本书的问世,不仅填补了我国菌根书籍的空白,对以后我国菌根研究与普及工作的发展,起到了积极的作用。对我国这些刚刚步入菌根领域的科学工作者来说,起

到了如虎添翼的作用，解决了燃眉之急。

在这期间，我国菌根研究的科技队伍也得到了较大的发展，除个别省（自治区、直辖市）外，绝大多数都有专门从事菌根研究的科技人员，估计总人数将近 200 人，其中，国内外培养的硕士及博士生已有数十人，为我国菌根研究增添了新的活力。这个时期中菌根研究不仅有一定的深度及广度，而且在农、林业生产中也开始了广泛的应用，取得一批研究成果，获得了国家级及省、部级的奖励，有的还被列入国家重点科技推广项目之中。此外，一些高新技术也开始被引进菌根研究之中，有的已取得初步研究结果。

90 年代以后，国家仍将林木菌根研究列入国家攻关计划中。与此同时，内生菌根的研究也被国家基金或省基金列入资助范围，不少中青年同志的研究得到资助。菌根研究的深度及广度得到了更进一步的提高。1993 年在河北省保定市召开了第 6 届全国菌根研讨会，会上交流了 35 篇论文，会后出版了会议论文集（即土壤学报 1994 增刊）。1994 年 11 月，在广东省开平市召开了由澳大利亚、印度尼西亚、泰国、菲律宾、越南和中国等 6 个国家共 62 名代表参加的国际菌根研讨会，这是我国菌根界首次举办的国际会议，这次会议交流论文 36 篇，墙报 8 版。会议出版了论文集（英文版）“Mycorrhizas for Plantation Forestry in Asia”，它标致着我国菌根学科在走向国际合作中迈开了第 1 步。

当前我国菌根研究有以下几个特点：①向实际应用方向发展。目前已知有 3~4 个工厂专门生产接种菌剂，年产约 20 多吨，应用面积估计每年可达上万公顷。②菌根菌研究正向食用菌化的菌种转化。据悉，云南地区着重进行干巴菌（*Thelephora ganbajun* Zang）、松茸 [*Tricholoma matsutake* (Ito ex Imai) Sing] 等食用菌根菌的研究，广西正开展鳞盖红菇（*Russula lepida* Fr.）的应用研究，湖南正在开展松乳菇 [*Lactarius deliciosus* (L.) Fr.] 的应用研究，广东正在开展光黑腹菌 [*Alpova piceum* (Berk. et Curt.) Trappe] 的应用研究，东北正在开展松茸及厚环乳牛肝菌 [*Suillus grevillei* (Klotzsch.) Sing.] 的菌根应用研究，四川等省正在开展对块菌 (*Tuber* sp.) 的应用研究等。这些研究不仅扩大了菌根菌种的应用范围，而且朝食用化菌种转化，可以相信，通过对食用菌根菌的半人工模拟合成的研究，在不久的将来，这些美味食用菌完全可能为人们提供新的食用菌资源。③菌根研究正向深度和广度发展，全国有许多地方和单位涌现出了大批优秀的年青菌根科学工作者，他们以敏锐的眼光着重在许多重要基础理论上进行研究，正为我国菌根研究赶超世界先进水平而勤奋地工作，必将为 21 世纪的菌根研究做出贡献。④鉴于菌根的应用所表现出的多种效益，人们的认识会越来越全面，菌根在农、林业的应用必将受到重视，虽然道路曲折，但发展前景是十分可喜的。

可以看出，我国菌根研究历史并不太长，但发展迅速，进步可喜，随着科学发展及社会进步，我国菌根学科的研究必将取得更大的进展。

第三节 国际菌根研究概况

近几十年来，国际上的菌根研究仍然是一个十分活跃的研究领域。据不完全统计，从 1987~1994 年的 8 年时间里，规模盛大的北美菌根会议 (NACOM) 连续召开了 3 次（即第 7 届~第 9 届）；亚洲地区的菌根研讨会 (ACOM) 也举办了 3 届（即第 1 届至第 3 届）；此外，还有欧洲菌根会议 (ECM) 等。由加拿大国际研究中心 (IDRC) 资助的亚洲地区菌根网络，分别在印度等地召开了多次国家菌根研讨会 (NCOM)。此外，还有许多不定期的国际菌根会议，如澳大利亚于