

基于 SCI 文献分析我国菌根学研究 现状和发展方向

杨 青 黄 艺*

(北京大学环境科学与工程学院 北京 100871)

摘 要: 基于美国科学情报研究所(ISI)科学引文索引(Science Citation Index, SCI)数据库,对1989~2007年期间我国发表的菌根研究论文进行检索,并采用文献计量方法对所获资料进行统计和趋势分析。结果表明,1989~2007年间,我国菌根学研究呈现不断上升趋势,尤其是2000年之后,增长速度明显加快。但只有5.22%的论文发表于影响因子大于5的刊物,在研究深度上仍需进一步加强。半数以上的研究论文与丛枝菌根研究有关,研究重点主要集中在菌根对植物的生理效应,菌根与植物抗性、菌根多样性菌根真菌分布,以及菌根修复污染环境等方面。从研究趋势分析显示,利用分子生物学手段研究菌根生物学特性和鉴定菌种,以及菌根植物的环境修复作用,是未来研究的重点。

关键词: 菌根, 文献计量学, 研究趋势

Analyses of the Mycorrhizal Research State and Development in China Based on SCI Database

YANG Qing HUANG Yi*

(College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Papers on mycorrhizas were searched from SCI (Science Citation Index) database. In order to understand the research progress of mycorrhizas in China, the paper on mycorrhizas from 1989 to 2007 was analyzed with method of bibliometrics. Mycorrhizal researches showed an increasing tendency during 1989 to 2007, while the increase was obviously accelerated after 2000. Only 5.22% of the articles were published in journals with impact factor above 5, indicates that the academic levels of researches need being enhanced. Currently the research on mycorrhizas was mainly focused on Arbuscular mycorrhiza (AM), especially on effects of mycorrhizal fungi on plant physiology, effects of mycorrhizal fungi on resistance of host plants, Mycorrhizal diversity community and ecological distribution, and phytoremediation with Mycorrhizal plants. The future research should emphasize in phytoremediation with Mycorrhizal plants and identification of fungal species with molecular biological technology.

Keywords: Mycorrhizal fungi, Bibliometrics, Research trend

* 通讯作者: Tel: 86-10-62758474; ✉: yhuang@pku.edu.cn
收稿日期: 2008-09-22; 接受日期: 2008-11-27

菌根(Mycorrhizal)是土壤中一些真菌侵染植物根部形成的菌-根共生体,在自然界中普遍存在^[1]。自从 1885 年 Frank 首次使用“mycorrhiza”来描述真菌与树木根系建立的共生关系,菌根研究已有 120 多年的历史。当前菌根研究飞速发展,形成了包括菌根分类学、生态学、生理学和分子生物学在内的菌根学研究领域。菌根学是一个具有巨大研究价值的新兴研究领域^[2,3]。

本文采用文献计量学方法,对 1904~2007 年间美国科学情报研究所(Institute for Scientific Information, ISI)提供的科学引文索引(Science Citation Index, SCI)数据库中,我国科研人员发表的菌根学文献进行了数量分析和比较。阐述了我国菌根研究的概况和发展轨迹,比较了我国与世界先进水平的差距基础上,预测了未来我国菌根学研究的重点和热点。这对于从宏观上总结过去、展示现状、探讨未来具有重要的基础信息和科学指导意义。

1 研究数据的获取和分析方法

所有数据都来源于美国科学情报研究所(ISI)提供的科学引文索引(SCI, Science Citation Index)数据库。以 mycorrhiza*为关键词,在该数据库内,检索 1900~2007 年间相关文献题录数据,并单独列出由我国科研人员发表的学术论文,套用全部字段用于分析。

提取检索结果中文献的出版年、关键词、机构、期刊来源、作者等信息,利用 Excel 及 SPSS 软件对其进行统计分析,统计分析的内容包括:世界及我国(仅限大陆地区)的论文发表量、发表期刊及期刊影响因子的分布、不同机构的发文量及其合作情况、研究领域和出现频率在前十的关键词。并结合文献计量学,考察了修正活跃指数(MAI)、平均引用频次两项计量指标。MAI 的计算方法如下:

$$MAI = [(Ci/C0)/(Wi/W0)] \times 100$$

其中:

Ci:在 i 年里,所考察的国家在某特定研究领域发表的文献总量,

C0:在研究的时间范围内,所考察国家在某特定研究领域发表的文献总量,

Wi:在 i 年里,世界范围内在某特定研究领域发表的文献总量,

W0:在研究的时间范围内,世界范围内在某特定研究领域发表的文献总量。

同一机构所有发表论文的被引频次累计之和即为总被引频次,总被引频次除以该机构发表论文总数即为平均被引频次。

2 分析结果

2.1 1989~2007 年间世界和我国发表菌根学论文变化趋势分析

1900~2007 年间 SCI 共收录菌根学论文 11433 篇,其中,1989 年发表于 Journal of Plant Nutrition 的 Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas and phosphorus on water status and growth of apple^[4]是我国第一篇被收入 SCI 的菌根学研究论文。因此,以下研究均基于 1989~2007 年间 SCI 收入的菌根学论文。

1989~2007 年间,SCI 收入 9309 篇菌根学研究文献,其中包括中国 241 篇。241 篇中,99%(238 篇)用英文发表,1%(3 篇)用中文发表;93%(225 篇)为研究论文,6%(14 篇)为综述,其余 2 篇(1%)文献类型分别为通信和编辑材料。

2.2 世界及我国菌根研究文献数量比较

文献总量反映了一定时期内科研活动的绝对产出,是衡量科研活动的一个重要指示因子^[5]。1990 年后,世界范围内的菌根学研究文献增长速度放缓,逐步趋于稳定,1989~2000 年,我国年度发表的菌根学文献不超过 6 篇,2001 年后,论文发表的增长速度明显加快,超过了世界平均水平,并且,其增长速度仍旧有进一步加快的趋势(图 1)。

Price^[6]提出使用修正活性因子(modify activity index, MAI)作为量化指标,以比较不同国家/地区在考察时间范围内某一科研领域的表现。当 MAI 指数为 100 时,表明该国在给定研究领域研究力度恰好等于同期世界的平均水平,当 MAI 指数大于 100 时,表明该国的研究力度高于同期世界的平均水平,如果 MAI 指数低于 100,则表明该国的研究力度低于世界平均水平。

为量化考察我国 1989~2007 年间菌根研究表现,采用 MAI 指数,计算了美国、德国、日本、印度和中国的在该时期内的 MAI。美国和德国在菌根学的研究方面,长期以来一直占据着领先地位,是菌根学研究前沿的代表。日本和印度是亚洲科研水平较高的国家,两国发表的 SCI 文献也远远超过了亚洲其它国家。

从图 2 可以看到,2000 年之前我国菌根学研究

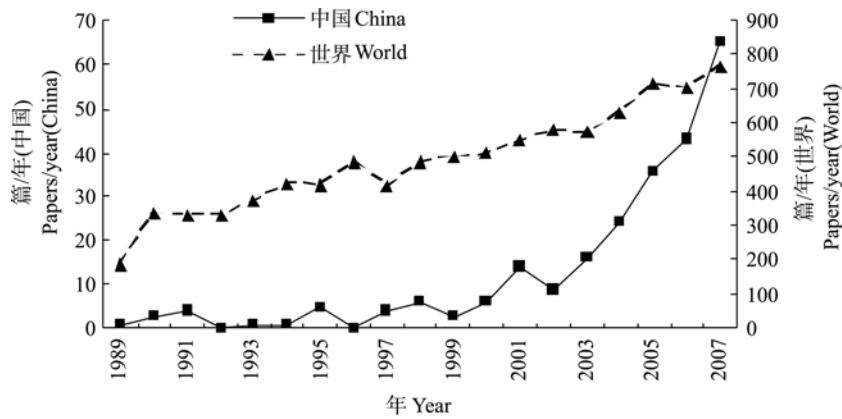


图1 1989~2007 年世界和我国菌根学研究 SCI 论文情况

Fig. 1 Dynamic of mycorrhizas papers published and cited by SCI in the world and China from 1989 to 2007

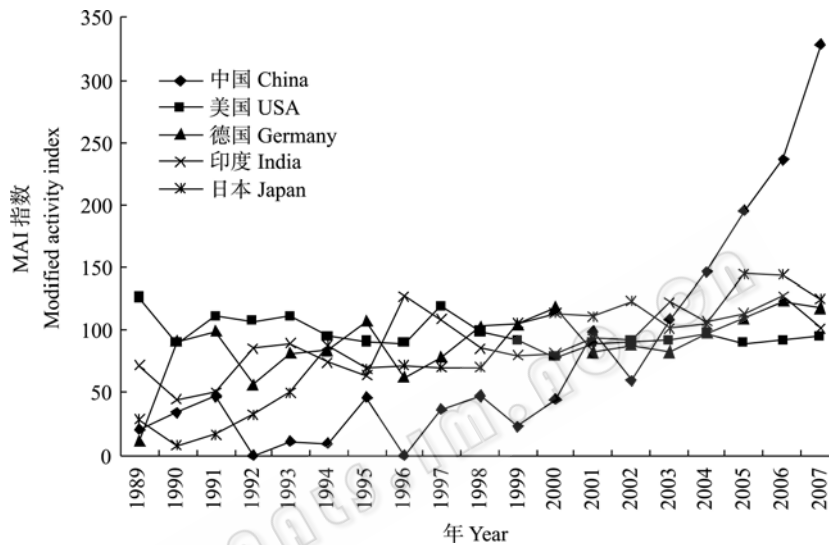


图2 1989~2007 中、美、德、日、印度 5 国的 MAI 指数变化

Fig. 2 Trend of Modified Activity Index during 1989~2007 for China, USA, Germany, India and Japan

一直低于世界平均水平, 2000 年之后, 我国的 MAI 指数快速增长, 2003 年, 第一次超过 100, 2007 年, 达到 350。而同期的美、德、日、印度四国 MAI 指数均逐步趋近 100。

2.3 1989~2007 年间我国发表菌根文献期刊分布

1989~2007 年间, 762 个 SCI 期刊刊登了菌根类学术文献, 我国的 241 篇文献分别发表于其中的 85 个期刊。表 1 列出了刊登我国菌根学术文献最多的 10 种期刊。“Mycorrhiza”以 29 篇排名第一, 之后分别是“Plant and Soil”和“Chemosphere”。我国发表的 241 篇 SCI 菌根学文献中, 影响因子最高的期刊是“Trends in Plant Science”, 影响因子 8.995。27.80%(67 篇)文献发表于影响因子小于 1 的期刊, 27.39%(66 篇)发表于影响因子在 1 和 2 之间的期刊上, 26.97%(65 篇)发表于影响因子在 2~3 之间的刊

物上, 只有 15 篇(6.22%)发表于影响因子大于 5 的期刊(图 3)。

2.4 研究机构

1989~2007 年我国菌根论文发表量居前 10 名的机构当中, 中国科学院的发文量在国内居于第一位

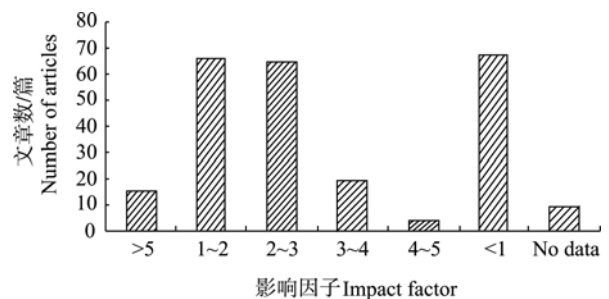


图3 1989~2007 年我国发表菌根学文献影响因子分布
Fig. 3 Distribution of impact factors of the SCI papers published by Chinese scientists from 1989 to 2007

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

表 1 刊登我国菌根学文献最多的 10 种期刊
Table 1 Top 10 journals with the highest number of publications on mycorrhiza research in China

期刊名称 Journal	文献数量 Number of publications	比例(%) Percentage	影响因子 Impact factor
Mycorrhiza	29	12.03	2.077
Plant And Soil	21	8.71	1.821
Chemosphere	14	5.81	2.739
Journal of Plant Nutrition	11	4.56	0.593
Applied Soil Ecology	9	3.73	1.81
New Phytologist	9	3.73	5.249
Mycotaxon	8	3.32	0.535
Chinese Science Bulletin	7	2.90	0.77
Soil Biology & Biochemistry	7	2.90	2.58
Journal of Environmental Sciences-China	6	2.49	0.48

(97 篇, 32.37%), 其次是中国农业大学(51 篇, 7.84%)和华中农业大学(14 篇, 5.81%)。以平均引用次数排名, 第一位是华南农业大学, 其次是中国农业大学和华中农业大学(表 2)。

在 241 篇文献中, 59 篇是由某一研究机构单独完成, 44 篇是由国内若干研究机构合作完成, 涉及国际合作的共有 84 篇, 其中 78 篇是两国合作研究, 其余的 6 篇属于多国合作(图 4)。结果显示, 菌根研究的国际合作成为研究的主流。

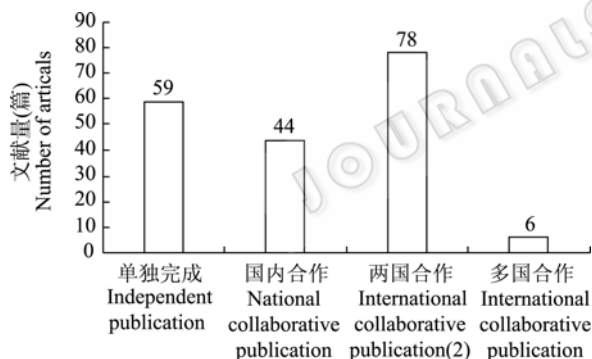


图 4 合作研究的情况

Fig. 4 Cooperative research states

2.5 主要研究领域

目前, 一般将菌根分为丛枝菌根(AM)、外生菌根、内外生菌根、兰科菌根等 7 类, 对 1989~2007 年的论文统计显示, 我国最初发表的菌根类 SCI 文章均是关于 AM, 1995 年之后, 出现了关于外生菌根的研究论文, 此后 5 年时间, AM 研究占有研究的一半, 2001 以后, AM 成为菌根研究的主要组成部分, 其次是外生菌根, 其它 5 种菌根的文獻只占总文献

数的 7%。

文献中出现频率高的关键词可以反映一定时期内菌根学研究的主要方向, 本研究统计了 1989~2007 年间我国被 SCI 收录的菌根学文献的作者关键词, 给出了 2007 年出现频度最多的 10 个关键词及其在统计年限期间的变化情况(表 3)。在统计的时间范围内, AM 始终是出现频度最高的关键词, 此外, 重金属、磷、菌根、植物降解、多样性、群落、氮、外生菌根真菌和根围区均是 2007 年出现频率最高的关键词。

3 菌根研究的发展轨迹和未来方向

3.1 我国菌根学研究的轨迹

我国菌根学研究始于上世纪 50 年代, 主要工作集中在外生菌根影响松属植物的生长方面, 70 年代之后, AM 成为研究的主要方向^[1], 1989~2007 年间, AM 在研究关键词和文献量两方面一直处于第一的位置, 这与 AM 在自然界的分布最为广泛密切相关, 另外, 自上世纪 70 年代以来, AM 真菌也一直是国际菌根学研究的热点。外生菌根的研究文献占据了总文献的 17%(图 5), 从 1996 年起, 外生菌根一直是出现频率较高的关键词(表 3), 这主要是因为外生菌根和裸子植物的共生关系对植树造林具有很大的指导意义, 并且, 多种外生菌根真菌的子实体是经济价值很高的食用菌。

1989~1995 的 6 年时间里, 我国菌根学研究主要集中在菌根对植物生理生化的影响上, 特别是菌根对 P 以及 Cu 等植物必须的金属元素的吸收机制

研究。这一期间虽然我国发表的研究论文在数量上不多(15 篇),但对菌根研究的影响却十分重大,表 4 列出了我国发表的菌根学文献中被引用次数最多的 10 篇文章,在被引用最多的 5 篇文献里,有 4 篇都是在这期间发表的。

1996-2000 年,我国科研人员已经将分子生物学技术应用到菌根的研究上,通过分子生物学技术来观察 AM 真菌形态,此阶段研究逐步推进。主要研究仍关注与菌根对植物的生理生化响应以及菌根对植物耐旱、耐盐性的促进作用。

表 2 1989~2007 我国菌根论文发表数量前 10 名的科研机构
Table 2 Top 10 institutions in China for SCI papers on Mycorrhizas between 1989 and 2007

机构名称 Institutions	文献数量(%) Number of paper(%)	总引用次数 Total citation	平均引用次数 Citation per paper	排名 Rank
中国科学院 Chinese Academy of Science	97(32.37%)	455	4.69	8
中国农业大学 China Agriculture University	51(17.84%)	564	11.06	2
华中农业大学 Huazhong Agriculture University	14(5.81%)	141	10.07	3
浙江大学 Zhejiang University	12(4.98%)	43	3.58	10
云南大学 Yunnan University	11(4.56%)	58	5.27	7
中国林业科学研究院 Chinese Academy of Forestry	10(4.15%)	53	5.30	6
华南农业大学 South China Agriculture University	10(4.15%)	116	11.60	1
南京大学 Nanjing University	7(2.90%)	13	1.86	12
青岛农业大学 Qingdao Agricultural University	6(2.49%)	23	3.83	9
农业部 Administer of agriculture	6(2.49%)	13	2.17	11
南京农业大学 Nanjing University	6(2.49%)	35	5.83	5
中山大学 Zhongshan University	6(2.49%)	46	7.67	4

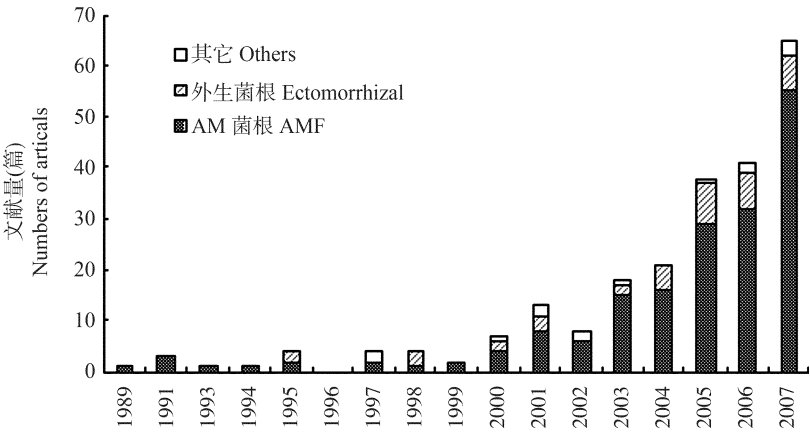


图 5 1989~2007 年期间我国发表的菌根学论文分类
Fig. 5 Classification of the SCI papers on mycorrhizas published by Chinese scientists from 1989 to 2007

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

表 3 2007 年 SCI 数据库中我国发表的菌根文献出现频率前 10 的关键词
Table 3 Top 10 high frequency key words in Chinese mycorrhizal papers in SCI database between 1989 and 2005

关键词 Key word	2007	2006	2005	2001~2004	1996~2000	1989~1995
AMF	1(12.5)*	1(12.1)	1(16)	1(13.3)	1(8.8)	1(29)
Heavy metal	2(6.3)	2(6.3)	2(8.9)	3(4.2)	10(1.1)	6(3.2)
Phosphorus	3(4.6)	3(4.0)	3(6.5)	4(3.2)	3(2.2)	2(9.7)
Mycorrhizae	4(3.3)	5(2.7)	4(3.6)	7(1.4)	3(2.2)	N/A
Phytoremediation	5(2.3)	8(1.3)	6(2.4)	6(1.8)	N/A	N/A
Diversity	5(2.3)	8(1.3)	N/A	19(0.4)	N/A	N/A
Community	7(2.0)	21(0.4)	N/A	8(1.1)	3(2.2)	N/A
N	8(1.3)	4(3.6)	4(3.6)	2(4.6)	N/A	N/A
Ectomycorrhizae	8(1.3)	5(2.7)	6(2.4)	5(2.5)	2(4.4)	N/A
Rhizosphere	10(1.0)	N/A	12(0.6)	11(0.7)	N/A	N/A

注：*：排名(包含该关键词文章的百分比)。
Note：*：Rank(percentage of papers containing this keyword, %).

表 4 1989~2007 我国发表菌根学 SCI 被引用次数最多的文章
Table 4 Top 10 citrated papers(1989~2007) for Chinese mycorrhizal paper in SCI

文献 Paper	引用次数 Time cictie	发表年 Publish ye r	期刊 Journal
Extension of the Phosphorus Depletion Zone in VA-Mycorrhizal White Clover in a Calcareous Soil	108	1991	Plant And Soil
Characterization of Root Colonization Profiles by a Microcosm Community of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Using 25S rDNA-Targeted Nested PCR	105	1998	Molecular Ecology
Acquisition of Phosphorus and Copper by VA-Mycorrhizal Hyphae and Root-to-Shoot Transport in White Clover	87	1991	Plant And Soil
Phosphorus Depletion and Ph Decrease at the Root Soil and Hyphae Soil Interfaces of VA Mycorrhizal White Clover Fertilized With Ammonium	86	1991	New Phytologist
Genetic-Variation for Phosphorus Efficiency of Common Bean in Contrasting Soil Types .I. Vegetative Response	57	1995	Crop Science
Below-Ground Process Responses to Elevated CO ₂ And Temperature: a Discussion of Observations, Measurement Methods, And Models	53	2004	New Phytologist
Changes In Soil Solution Zn and Ph And Uptake of Zn By Arbuscular Mycorrhizal Red Clover in Zn-Contaminated Soil	33	2001	Chemosphere
Nitrogen Transfer Within and Between Plants Through Common Mycorrhizal Networks (CMNS)	30	2003	Critical Reviews in Plant Sciences
The Role of Arbuscular Mycorrhiza in Zinc Uptake by Red Clover Growing in a Calcareous Soil Spiked with Various Quantities of Zinc	30	2003	Chemosphere
Carbon Cycling by Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Soil-Plant Systems	29	2003	Trends In Plant Science

2001 年之后，我国菌根学研究进入了学科大发展的指数增长期，研究论文呈指数型增长(图 1)，Changes in Soil Solution Zn and Ph And Uptake of Zn by Arbuscular Mycorrhizal Red Clover in Zn-Contaminated Soil^[7]是我国第一篇研究土壤污染菌根修复的文章，此后，植物修复成为我国菌根研究的主要内容，对重金属的研究重心也从必需元素的吸收

转移到菌根协助提高植物抵抗有毒元素胁迫的能力。利用菌根进行环境修复的研究开始出现。2006 年之后，关于内生菌根真菌多样性的研究日益成熟，发表了一系列菌根多样性的 SCI 论文。

3.2 我国菌根学研究的现状

我国发表的菌根学 SCI 论文数量在过去的 19 年里稳步增长，尤其是在 2000 年以后，2003 年，我

国菌根学研究的 MAI 指数第一次超过 100, 表明我国的菌根学研究力度超过了同期世界平均水平。需要注意的是, 虽然目前我国在菌根学研究上有了极大的进展, SCI 论文发表数呈现指数型增长, 进入了研究的高速发展期, 但是, 83% 以上的文章是发表在影响因子不足 3 的刊物上, 241 篇文献中, 仅有 2 篇的引用次数超过 100, 标志着我国高水平的研究论文仍旧需要加强。

对研究机构的分析表明, 我国超过半数 (50.21%) 的菌根类 SCI 科研论文是由中国科学院和中国农业大学两个机构发表, 表明中科院和农业类院校在我国菌根真菌研究中具有较高研究水平, 在发表文献最多的 12 个研究机构里, 有 5 所农业院校, 考虑到 AM 在农业上的应用性最强, 因此, 一定程度上形成了我国对 AM 的研究最为深入现状。

3.3 未来的重点研究方向

针对 1989~2007 年间, SCI 收录的我国菌根学文献的分析表明, 过去 19 年里, 我国菌根研究有了极大的发展, 但在研究深度上仍需进一步加强。超过半数的研究是关于内生菌根, 研究的重点主要集中在菌根真菌对植物生理代谢的影响, 菌根诱导植物抗性、菌根真菌多样性、生态分布以及菌根对环境的修复作用等方面。

2000 年来, 菌根的许多生理功能不断被发现, 除去促进植物对 P 和水分的吸收外, 菌根还可以促进植物对 N 元素的吸收^[8,9], 提高植物的耐热性等, 因此, 对不同菌根真菌对植物生长促进机制的研究仍旧是一段时间内菌根学研究的主要方向之一, 伴随着分子生物学研究技术的引入, 植物-菌根真菌共生体分子机制研究, 尤其是共生基因方面的探索将成为今后菌根学发展的热点。

菌根真菌的多样性研究作为菌根生理生态研究的基础, 仍将是未来菌根研究的主要内容。然而, 由于许多菌根真菌不能纯培养, 传统的分离鉴定技术已经不能满足于菌根真菌多样性研究的需要, 因此, 建立一套基于分子生物学的菌根真菌分离鉴定技术是目前研究的重点内容。

土壤中重金属和持久性有机污染物积累造成的污染和危害日益突出, 传统的物理化学修复方法不仅成本昂贵且会破坏土层结构。而植物土壤修复因其便利、环境友好等优点而受到广泛关注^[10]。菌根真菌可以加强植物对重金属的耐受性和富集能

力^[11]、提高植物对有机污染物的耐受和降解能力^[12,13], 因此, 利用菌根植物对污染废弃土地、矿山等进行生物修复将具有重大的生态、经济和社会意义, 将是未来菌根研究的重点方向。

参 考 文 献

- [1] 刘润进, 陈应龙. 菌根学. 北京: 科学出版社, 2007, pp.1-447.
- [2] 于富强, 刘培贵. 外生菌根研究及应用的回顾和展望. 生态学报, 2002, 22(12): 2217-2225.
- [3] Trappe JM. A.B. Frank and mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecologic theory. *Mycorrhiza*, 2005, 15: 277-281.
- [4] Lin RJ. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas and phosphorus on water status and growth of apple. *Journal of Plant Nutrition*, 1989, 12(8): 997-1017.
- [5] Moed HF. Measuring China's research performance using the Science Citation Index. *Scientometrics*, 2002, 53(3): 281-296.
- [6] Price DDS. The analysis of scientometric metrics for policy implications. *Scientometrics*, 1981, 3: 47-54.
- [7] Li XL, Christie P. Changes in soil solution Zn and pH and uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal red clover in Zn-contaminated soil. *Chemosphere*, 2001, 42(2): 201-207.
- [8] Feng G, Zhang FS, Li XL, *et al.* Uptake of nitrogen from indigenous soil pool by cotton plant inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Commun Soil Science And Plant Analysis*, 2002, 33: 3825-3836.
- [9] Hodge A. Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. *New Phytologist*, 2003, 157: 303-314.
- [10] Suresh B, Ravishankar GA. Phytoremediation-a novel and promising approach for environmental cleanup. *Critical Reviews in Biotechnology(Boca Raton)*, 2004, 24(2-3): 97-28.
- [11] Wang FY, Lix XG, Yin R. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on heavy metal accumulation of maize grown in a naturally contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 2007, 9(4): 345-353.
- [12] Huang Y, Zhao X, Luan SJ. Uptake and biodegradation of DDT by 4 ectomycorrhizal fungi. *Science of the Total Environment*, 2007, 385(1-3): 235-241.
- [13] Joner J, Leyval C, Colpaert JV. Ectomycorrhizas impede phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) both within and beyond the rhizosphere. *Environmental Pollution*, 2006, 142(1): 34-38.

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>