

山东蕈菌生物多样性 保育与利用

图力古尔 王建瑞 鲁铁 刘宇 程显好◎著



科学出版社

山东省“泰山学者”建设工程专项
教育部“长江学者和创新团队发展计划”项目

山东蕈菌生物多样性保育与利用

图力古尔 王建瑞 鲁 铁 刘 宇 程显好 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

菌物是生物多样性的重要组成部分,在自然生态系统中扮演着独特的角色,其中蕈菌(或称大型真菌)又是重要的食物或药物来源。本书在作者团队过去近5年的实地考察、采集、观察及实验研究的基础上,从物种多样性编目及生物多样性评价、保育及利用等方面全方位反映山东省蕈菌多样性研究的实际情况。对于了解、保护和开发利用该地区蕈菌多样性具有指导意义。

本书可供生物多样性保护、生物资源学、菌物学、食用菌与药用菌科研工作者、大专院校相关专业师生,以及从事农林科技工作的有关人员和广大蘑菇爱好者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

山东蕈菌生物多样性保育与利用 / 图力古尔等著. —北京: 科学出版社, 2014. 3

ISBN 978-7-03-040006-2

I. ①山… II. ①图… III. ①食用菌-生物多样性-研究-山东省
IV. ①Q949.308

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第041736号

责任编辑: 李秀伟 白 雪 王 静 / 责任校对: 张小霞
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计有限公司

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年3月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2014年3月第一次印刷 印张: 15 插页: 14

字数: 340 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《山东蕈菌生物多样性保育与利用》著者名单

(按姓氏笔画排序)

王玉铃	王建瑞	包海鹰	刘林德
刘 宇	李维焕	张 琳	张 鹏
陈 钢	陈 策	图力古尔	宝萍萍
崔业波	董洪新	程显好	鲁 铁

序 言

——为《山东蕈菌生物多样性保育与利用》喝彩

《山东蕈菌生物多样性保育与利用》在图力古尔教授率领下几经努力业已杀青，即将付梓，可喜可贺！

看着这洋洋洒洒数十万言的著作不禁浮想联翩，一时竟难以言表！

当今的生命科学领域，大体是在微观领域驰骋者众，而在宏观领域跋涉者寡。这恐怕不仅仅是室内的白衣靓装、窗明几净和户外的破衣烂衫、风餐露宿工作环境的差异，也不仅仅是成果频出和一稿难求之间的难易，仅 SCI 一个指挥棒就足以使病学之态疮痍难疗，而最终病入膏肓，回天无术！人们似乎更青睐受 SCI 驱使的生态学在更加宏观的跨国、跨洲的大手笔，而对在一个特殊生境、相对完整的小区域开展研究工作的兴趣并不浓厚。这一局面使不被更多人所熟悉的菌物或进而蕈菌生态学就更是少有人问津，越显门庭冷落车马稀了！

图力古尔和我在这一领域研究伊始，曾将部分阶段性成果投稿于国内某知名期刊，当时竟被“权威们”斥责称“菌物和植物间有什么生态可言！”而遭退稿。图教授竟一时气绝。真的很是让人无语！每每我拿此事调侃其主编时得到已于事无补的连连歉意。不过也正是在这风风雨雨中，更多的学者把生态学的各个领域搞得风生水起，并使得我国的高等教育学科体系中，生态学从生物学一级学科中独立出来成为平行于生物学的一级学科，这真要感谢几代生态学人的不懈努力！

生态学(ecology)一词从 1866 年 Haeckel 提出开始至今不过 148 年！包括之前的 Darwin、Humboldt 和之后的 Tansley、Sukachev、Linderman、Odum 兄弟等等，更多是洋人的名字和他们这一学科领域的推进。其实回顾中国数千年的文明，不乏生态学的理念和对环境、生态、人类、生命的独到解释。作为世界农耕文明的发源地之一，中国的农耕历史可追溯到 7000~8000 年之前。中国的先民在长达 160 万年的采集、渔猎生产中开始了驯化，“古者民茹草饮水，采树木之实，食羸蠃之肉，时多疾病、毒伤之害。于是神农乃始教民播种五谷，相土地宜燥湿肥堯高下，尝百草之滋味，水泉之甘苦，令民知所辟就。当此之时，一日而遇七十毒。”（见《淮南子·修务训》）。这一历程是农业的起源，更映衬着先民在生态学上的认知程度和生态管理实践！在《伊耆氏蜡辞》中先民们吟唱着：“土反其宅，水归其壑，昆虫毋作，草木归其泽”，在《道德经》、《诗经》、《管子》、《庄子》、《春秋》等等早期的著作中我们会发现更多朴素的先民对生态学的理解，对环境、生物和

谐关系的深刻阐述，并且这和当时的政治、经济等联系在了一起。

及至当代，尽管我们的生态学整体上与先进国相比要落后不止 20 年，但是伴随着国民经济的飞速发展，我国生态学科也取得了巨大的成就。对当前生态学的研究热点，李文华院士前不久归纳成为 5 个方面：“①生物多样性及其保护研究；②生态系统结构、功能和格局变化的监测、评估与管理研究；③退化生态系统的恢复与重建研究；④全球变化生态学与应对气候的科学研究；⑤可持续发展的生态学研究。”（见《中国当代生态学研究》）。应该说这是最具权威性的总结和指导意见。

图力古尔等正是利用了作为中国较发达省份的山东这一典型地区，从多样性研究入手重新审视蕈菌资源的多样性保护和利用。全书 5 章以第一手的采集、调查、研究资料为依据，涵盖了编目、评价、保育、利用的各个方面，无论是在研究的视角、调查的方法、资料的整理上，还是在全书的构架及层次上，以及在与实践结合的紧密程度和实用程度上，国内尚无望其项背者！

我国的生态学研究，尤其是菌物生态学、蕈菌生态学的研究与先进国相比差在什么地方？以愚见，我们差在对我国长期积累的传统研究成果的挖掘；差在具有中国特色的知识体系的创新；差在长期、深入、踏实的基础研究；差在一支能与国际接轨、敢于承担重任的庞大的年轻队伍。《山东蕈菌生物多样性保育与利用》做了一个极好的诠释。

面对心浮气躁的氛围、追名逐利的浊潮、毫不作为的平庸，是做唯论文数量、唯影响因子、唯成果奖励为目的的“弄潮儿”逐浪扬波？还是面对科学守正不阿、寝馈其间、焚膏油以继晷，恒兀兀以穷年？

我相信这支团队会有正确的选择！

我相信会涌现一批在这一领域正心诚意、不求闻达、磨砢淬砺、不离不弃的年轻人！

我更企盼着这一批人沿着这个方向做出更为“出乎其类，拔乎其萃”的精彩创新成果！

中国工程院院士



于癸巳初冬

前 言

据预测，世界上的真菌种数多达 150 万种，是一个庞大的类群，而其中仅有 5% 的种类被人类所认识和记载，中国的已知种类约 1.5 万种，被利用的种类就更少了。人们习惯上把真菌中个体比较大的统称为“大型真菌”或“蘑菇”。中国古代把木生者称“蕈”、地生者叫“菌”，于是有人建议把大型真菌换称为“蕈菌”，蕈菌这个名称比较符合本书的内容，别有一番生态系统多样性的韵味。古代菌、蕈、芝、菰、耳等就代表着菌类的不同类群，这见于古代文献中，甚至在文学作品中也十分常见。据记载，在 6000~7000 年前的仰韶文化时期，中国人已大量采食蘑菇。南宋陈玉仁的《菌谱》记载了浙江等地的 11 种食用菌，如松蕈、竹蕈、鹅膏蕈等，并对其形态和生态进行了描述和分类。明代潘之恒的《广菌谱》中描述了 19 种菌物，如木耳、茯苓等食用、药用真菌。而我国最早的药物学书《神农本草经》（秦汉时期）及历代其他本草书中已记载有茯苓、猪苓、灵芝、紫芝、雷丸、马勃、蝉花、虫草、木耳等重要药用真菌的形态特征及生态习性。这些真菌如今都被《中国药典》所收录。而“蘑菇”二字据《蕈史》考证，是元朝时期蒙古人带到中原地区的，来自蒙古语“mog”。

蕈菌生物多样性是指一定范围内分布的大型真菌与其所在的生态环境有规律地结合构成的生态综合体，是整个生物多样性的重要组成部分。蕈菌生物多样性在生态系统中起着不容忽视的特殊作用，这是大型真菌与生态环境协同进化的结果。蕈菌根据其营养方式可以分为腐生菌（土腐菌、木腐菌）、共生菌及寄生菌，无论哪种类型蕈菌在生态系统的物质循环和能量交换过程中都扮演着不可替代的重要角色，维持着地球上各种化学元素循环和能量之间的正常流动与平衡。从经济价值上看，蕈菌主要包括食用和药用两方面，食用菌是人们日常生活的重要蛋白质和营养元素来源之一，药用菌的保健及治疗价值也备受关注。人类对包括蕈菌在内的整个真菌世界的依赖程度越来越大，真菌绝不是可有可无的“第三世界”。

蕈菌生物多样性包括物种多样性、遗传多样性及生态系统多样性三个层次。物种多样性是指在某一区域、一定时间内蕈菌的物种变化，主要从分类学、生物地理学及系统学角度对其进行研究，通过物种丰富程度和均匀程度对其进行评价，它是衡量一定区域内蕈菌物种丰富程度的一个客观指标；遗传多样性是指蕈菌基因水平上的变化，包括种内显著不同的种群间和同一种群内的遗传变异，亦称为基因多样性，是物种多样性和生态系统多样性的基础；生态系统多样性是指蕈菌在不同生态系统中组成和功能上的多样性，以及其在生态过程中的多样性，包括

生境、群落和生态过程的多样化等多个方面，是生态系统层次上的多样性。蕈菌作为生态系统的重要组成部分，在生态系统之中物种之间相互依赖、彼此制约，并且与其周围的各种环境因素相互作用。

然而，由于森林砍伐、环境污染、过度采挖以及人类活动的加剧，许多蕈菌物种的生存状态受到前所未有的威胁，甚至濒临灭绝。蕈菌保育生物学的研究显得极其迫切。中国有关蕈菌物种多样性方面的著作、论文丰硕，但是反映蕈菌生存状态的研究较为罕见。2008年，经山东省人民政府批准建立食用菌技术“泰山学者”岗位，后又设立山东省食用菌技术重点实验室，图力古尔教授在担任“泰山学者”和教育部“长江学者和创新团队发展计划”带头人期间带领团队踏查齐鲁大地，采集蕈菌标本，调查蕈菌生存环境，了解公众和市场对蕈菌资源的需求情况，从生物多样性研究的视角重新审视山东这个经济发达省份的蕈菌资源。为了尽量全面客观地反映本地区蕈菌生物多样性特点，本书划分为编目、评价、保育、利用相关章节，以采集、调查、研究获得的一手资料为基础编写，希望为本地区蕈菌生物多样性的保育与利用提供参考。

在调查、研究和著书过程中获得了食用菌技术“泰山学者”团队及重要菌物资源的保育与可持续利用教育部“长江学者和创新团队发展计划”成员的积极参与，得到了各级、各有关部门的支持与关怀，也承蒙蕈菌学领域诸多同行的指导和帮助，在此一并表示衷心感谢！

众所周知，一个地区的生物多样性研究需要长时间的连续调查，虽然我们用4年多的时间开展研究，但仍感到有很多不足，团队后续工作任务仍然比较繁重，如疑难标本的进一步研究、个别区域补点采集、菌种库的维护与管理、引种驯化及栽培推广、功能性成分的筛选等。欢迎更多的有识之士参与我们的行列，也欢迎各位同仁的鼓励、指导与批评！

作 者

2013年12月30日

目 录

序言

前言

第一章 蕈菌生物多样性概述	1
第一节 蕈菌生物多样性	1
一、物种多样性	2
二、遗传多样性	3
三、生态系统多样性	4
四、蕈菌生物多样性保育	6
五、蕈菌生物多样性的利用价值	8
六、蕈菌生物多样性的研究意义	9
第二节 山东蕈菌多样性研究概况	9
一、物种多样性	9
二、遗传多样性	10
三、生态系统多样性	11
参考文献	12
第二章 山东蕈菌物种多样性	19
第一节 山东蕈菌物种多样性编目	20
一、材料与方法	20
二、调查样地的选择	20
三、野外采集与调查	21
四、标本的观察与鉴定	21
五、结果与分析	21
第二节 山东蕈菌生物多样性组成特点	63
一、材料与方法	63
二、结果与分析	64
第三节 山东蕈菌的分布特点	69
一、不同植被类型中蕈菌的组成	69
二、不同植被类型中蕈菌区系组成	72
三、山东蕈菌与植被类型的相关性分析	72
参考文献	75
第三章 山东蕈菌生物多样性评价	77
第一节 评价体系的构建	77

第二节 食用菌资源评价	78
一、野生蕈菌营养评价	78
二、野生蕈菌安全性评价	79
第三节 药用蕈菌资源评价	81
一、药用蕈菌采收期的确定——以灵芝为例	81
二、食药两用菌特征性成分检测	86
第四节 毒菌资源评价——以鹅膏属真菌为例	90
一、检测方法的建立	90
二、几种鹅膏主要肽类毒素的检测	93
参考文献	99
第四章 山东蕈菌生物多样性保育	101
第一节 就地保育	101
一、研究材料	101
二、物种濒危等级及优先保育评价体系的构建	102
三、层次模型的构建	103
四、结果与分析	108
第二节 异地保育	119
一、菌种分离与保藏	119
二、生物学特性及出菇试验	122
三、菌株(菌种)分子鉴定	123
四、蕈菌菌株保藏与管理	127
第三节 蕈菌核心种质资源库的建立——以灵芝为例	129
一、基于 rDNA-ITS 序列的聚类分析	129
二、灵芝核心种质资源库的构建方法	130
三、结果与分析	131
参考文献	136
第五章 山东蕈菌生物多样性利用	137
第一节 食用菌资源的利用	137
一、常见野生食用菌	137
二、野生食用菌的生物学特性	139
三、野生食用菌驯化栽培	154
四、食用蕈菌市场	156
第二节 药用菌资源的利用	156
一、常见野生药用菌	156
二、野生药用菌的生物学特性	158
三、野生药用菌驯化栽培——以多孔菌为例	179

第三节 食药菌中试产品案例	210
一、木耳降血脂功能果冻	210
二、蕈菌复方饲料添加剂	212
三、纳米化灵芝的制备	215
四、茯神复方成分的制备及产品的研制	217
参考文献	225

彩图

图版

要的作用。从生态学的意义上说,包括蕈菌在内的菌物的存在直接关系到整个陆地生态系统的稳定性和环境质量。但由于工业革命带来的大气污染和人为造成的地球环境变化等因素的影响,菌物多样性面临着前所未有的挑战。有关全球菌物多样性的编目和保育研究的意义重大,应放在优先发展领域(庄剑云,1994)。

蕈菌的生物多样性一般包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性三个层次,并且不同水平的多样性之间的相互关系是形成蕈菌生物多样性特征和功能的主要内部机制。

一、物种多样性

物种多样性(species diversity)是生物多样性的基本组成元素,菌物物种多样性是整个生物多样性研究的基石。据科学估计,全球约有150万种真菌,在地球生物圈中仅次于昆虫,是第二大生物类群(Hawksworth, 1991)。截止到2008年,国际应用生物科学中心(CABI)已经记载全世界的真菌标本40余万份,约代表3.2万种真菌,活体菌种1.9万种以上,约代表4500种真菌(Kirk *et al.*, 2008)。根据张树庭的蕈菌种的评估法(张树庭, 2002),地球上共有蕈菌2.8万种,而真正被人所认识的不过1万种。按照欧洲一些国家(如英国、芬兰、瑞士)的菌物与维管植物种数之比已达4~6:1(即有一种维管植物就有4~6种菌物),我国的菌物总数应该在12万~24万种。但实际情况并非如此,我国蕈菌中被记录的有伞菌类1600多种、多孔菌类1300余种、腹菌类近300种、胶质菌类近100种、子囊菌400多种(卯晓岚, 1998),共计约3700种。其中,食用菌966种(戴玉成等, 2010)、药用菌473种(戴玉成和杨祝良, 2008)。然而,随着调查的深入,我国的蕈菌物种总数将远远高出这个数字。

近20年,我国的蕈菌物种多样性调查在各地普遍展开,吉林(李茹光, 1991, 1998)、河北(小五台山菌物科学考察队, 1997; 王立安和通占元, 2011)、北京(陈青君和刘松, 2013)、云南(应建浙和臧穆, 1994)、四川(袁明生和孙佩琼, 1995)、广东(毕志树等, 1990, 1994)、湖南(李建宗等, 1993)、海南(毕志树等, 1997)、西藏(卯晓岚等, 1993)、新疆(赵震宇和卯晓岚, 1984; 赵震宇, 2001)、宁夏(王宽仓等, 2009)、香港(张树庭和卯晓岚, 1995a, 1995b)、台湾(张东柱等, 2001)等地纷纷出版了反映大型真菌多样性的图鉴或志,尤其是对一些自然保护区或国家森林公园的研究较为深入,如吉林的长白山(李玉和图力古尔, 2003; 图力古尔, 2005)、净月潭(王建瑞和图力古尔, 2009)、内蒙古大青沟(图力古尔和李玉, 1999)、阿尔山(万宇等, 2008)、根河(孙亚红等, 2009),湖南的莽山(李建宗, 2000)、舜皇山(李建宗等, 2006),浙江的九龙山(潘成椿等, 2008),江西的武夷山(方毅等, 2008),广东的南岭(宋斌等, 2001)、黑石顶(李方, 2011),云南的丽江(徐中志等, 2007)、老君山(杨丽云等, 2005)、龙门山(彭卫红等, 2003)等。值得指

要的作用。从生态学的意义上说,包括蕈菌在内的菌物的存在直接关系到整个陆地生态系统的稳定性和环境质量。但由于工业革命带来的大气污染和人为造成的地球环境变化等因素的影响,菌物多样性面临着前所未有的挑战。有关全球菌物多样性的编目和保育研究意义重大,应放在优先发展领域(庄剑云,1994)。

蕈菌的生物多样性一般包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性三个层次,并且不同水平的多样性之间的相互关系是形成蕈菌生物多样性特征和功能的主要内部机制。

一、物种多样性

物种多样性(species diversity)是生物多样性的基本组成元素,菌物物种多样性是整个生物多样性研究的基石。据科学估计,全球约有150万种真菌,在地球生物圈中仅次于昆虫,是第二大生物类群(Hawksworth, 1991)。截止到2008年,国际应用生物科学中心(CABI)已经记载全世界的真菌标本40余万份,约代表3.2万种真菌,活体菌种1.9万种以上,约代表4500种真菌(Kirk *et al.*, 2008)。根据张树庭的蕈菌种的评估法(张树庭, 2002),地球上共有蕈菌2.8万种,而真正被人所认识的不过1万种。按照欧洲一些国家(如英国、芬兰、瑞士)的菌物与维管植物种数之比已达4~6:1(即有一种维管植物就有4~6种菌物),我国的菌物总数应该在12万~24万种。但实际情况并非如此,我国蕈菌中被记录的有伞菌类1600多种、多孔菌类1300余种、腹菌类近300种、胶质菌类近100种、子囊菌400多种(卯晓岚, 1998),共计约3700种。其中,食用菌966种(戴玉成等, 2010)、药用菌473种(戴玉成和杨祝良, 2008)。然而,随着调查的深入,我国的蕈菌物种总数将远远高出这个数字。

近20年,我国的蕈菌物种多样性调查在各地普遍展开,吉林(李茹光, 1991, 1998)、河北(小五台山菌物科学考察队, 1997; 王立安和通占元, 2011)、北京(陈青君和刘松, 2013)、云南(应建浙和臧穆, 1994)、四川(袁明生和孙佩琼, 1995)、广东(毕志树等, 1990, 1994)、湖南(李建宗等, 1993)、海南(毕志树等, 1997)、西藏(卯晓岚等, 1993)、新疆(赵震宇和卯晓岚, 1984; 赵震宇, 2001)、宁夏(王宽仓等, 2009)、香港(张树庭和卯晓岚, 1995a, 1995b)、台湾(张东柱等, 2001)等地纷纷出版了反映大型真菌多样性的图鉴或志,尤其是对一些自然保护区或国家森林公园的研究较为深入,如吉林的长白山(李玉和图力古尔, 2003; 图力古尔, 2005)、净月潭(王建瑞和图力古尔, 2009)、内蒙古大青沟(图力古尔和李玉, 1999)、阿尔山(万宇等, 2008)、根河(孙亚红等, 2009),湖南的莽山(李建宗, 2000)、舜皇山(李建宗等, 2006),浙江的九龙山(潘成椿等, 2008),江西的武夷山(方毅等, 2008),广东的南岭(宋斌等, 2001)、黑石顶(李方, 2011),云南的丽江(徐中志等, 2007)、老君山(杨丽云等, 2005)、龙门山(彭卫红等, 2003)等。值得指

出的是,这里提到的文献并不完全代表全国的情况,笔者仍觉得有许多蕈菌资源丰富的地区和省份至今无人涉足,从分类学的角度看仍存在诸多空白领域。总之,我国的蕈菌物种多样性研究还有很长的路要走。

二、遗传多样性

遗传多样性(genetic diversity)是指种内基因的变化,包括种内显著不同的种群间和同一种群内的遗传变异,亦称为基因多样性。种内的多样性是物种以上各水平多样性的最重要来源。遗传变异、生活史特点、种群动态及其遗传结构等决定或影响着一个物种与其他物种及其环境相互作用的方式。而且,种内的多样性是一个物种对人为干扰进行成功反应的决定性因素。种内的遗传变异程度也决定物种的进化潜势(马克平等,1995)。

我国学者较早开展了蕈菌不同类群的遗传多样性研究。在早期,人们通过考察蕈菌性非亲和性系统或体细胞非亲和性系统,来研究蕈菌的遗传多样性,但该方法耗时费力、工作量大,限制了其在实践中的应用。现代分子生物学技术的发展及其在蕈菌分类鉴定上的应用,为人们从分子水平上分析蕈菌不同分类单元之间的差异和亲缘关系提供了有力的工具,一些分类地位不明确、亲缘关系不清楚的类群通过该技术也得到了验证。

目前,应用于蕈菌遗传多样性研究的分子标记主要包括蛋白质(同工酶)标记和核酸(DNA)标记两种类型。同工酶作为基因表达的产物,受到严格的遗传控制,因此可以用来对物种及其亲缘关系进行鉴定,进而分析遗传多样性。同工酶在分子标记的发展初期起到了非常重要的作用,特别是在蕈菌遗传多样性的研究中,而DNA分子标记应用相对较晚。同工酶标记成为应用最早、最广泛的分子标记。早在20世纪80年代,我国学者就开始探讨将同工酶技术用于平菇和香菇等食用蕈菌的菌种鉴定(陆佩洪等,1985;方自若等,1987)。目前,大部分蕈菌的遗传多样性分析都曾采用同工酶技术进行研究(张丹和郑有良,2004),并且直到今天,同工酶技术仍然在蕈菌遗传多样性研究中发挥着重要作用。

同工酶是基因表达的产物,因此受到发育阶段和环境条件的影响,而且同工酶只能反映一部分功能基因的变化,对于大部分功能基因和大量非功能基因则无法表现,因此在遗传多样性研究中就具有了一定的局限性。遗传多样性的本质是遗传物质DNA分子的多态性,DNA分子标记就是以个体间核苷酸序列变异为基础的遗传标记,是DNA分子水平遗传变异的直接反映(张建博等,2008)。因此,DNA分子标记具有不受外界条件、生物个体发育阶段及组织器官特异性表达的影响等特点。目前,已开发出数十种基于DNA的分子标记技术,其中限制性片段长度多态性(RFLP)、随机扩增多态性DNA(RAPD)和rDNA等是在食药蕈菌资源的遗传多样性分析中应用较为广泛的分子标记技术(陈作红等,1998;黄晨阳,

2002; 江启沛等, 2003), 特别是在灵芝等著名食药真菌的分子鉴定和多样性评价研究中的应用越来越深入(唐传红, 2004; 高兴喜等, 2009; Su *et al.*, 2008; 郑林用, 2007; 贾定洪, 2005)。其他 DNA 分子标记技术, 如扩增片段长度多态性(AFLP)(卓英等, 2006)、简单重复序列间扩增(ISSR)(宿红艳等, 2008b)、序列特异性扩增区(SCAR)(Su *et al.*, 2008)、简单重复序列(SSR)(Rubini *et al.*, 2005)和肠杆菌基因间重复共有序列 PCR 技术(ERIC-PCR)(周金凤等, 2010)等也越来越多地应用于蕈菌资源的遗传多样性分析方面的研究。

我国野生蕈菌资源十分丰富, 研究其遗传多样性对于野生蕈菌资源的保育和开发利用具有重要意义。王子迎和王书通(2005)、王守现等(2009)采用 RAPD 分子标记技术研究了野生香菇和蜜环菌资源的遗传多样性; 陈美元等(2009)采用相关序列扩增多态性(SRAP)和 ISSR 分子标记技术对从全国各地采集的野生蘑菇属 90 个菌株的遗传多样性进行了较为系统的研究, 这些研究为我国野生蕈菌资源的持续开发利用提供了重要依据。

分子生物学技术的发展及计算机的广泛使用也给菌物系统学在分子水平上的研究带来了革命性变化, 使得该领域的研究更加丰富而深入(叶明等, 2005)。一些小范围的类群和某一物种的群体遗传学研究的不断开展, 为许多分类地位上有争议的分类单元的归属及亲缘关系等提供了十分有利的分子信息和证据(Matheny *et al.*, 2006)。尤其是那些根据分子系统学研究结果讨论的菌物类群大系统的变更, 凝集了许多真菌学知名学者的核心研究, 也标志着菌物遗传多样性研究最终带给科学研究的巨大影响。

三、生态系统多样性

生态系统多样性(ecological diversity)是指整个菌物生物圈内的生境、群落和生态过程的多样化及生态系统内生境差异、生态过程变化的多样性。我国蕈菌调查是结合生态学的样方、定位、定量等调查方法对各保护区大型真菌进行系统研究。有学者已搞清楚大型真菌资源的群落多样性和区系地理分布、子实体生物量、物种生物量等特征, 探讨大型真菌的发生、分布、演替规律(贺新生, 2004)。同时也有学者探索了蕈菌与保护区保护物种栖息环境中的植物群落的关系。

植被是野生蕈菌分布的主要影响因素之一。植被的多样性、复杂性决定了蕈菌分布的多样化, 如成熟林和幼龄林内有着截然不同的大型真菌区系, 且每个森林中都有其近半数的特有种(Packham and May, 2002)。成熟林中的外生菌根菌难以在空地-新生树根际生存, 它们需要发育成熟的树林提供足够密度的根系与菌丝接触来维持生存(Kranabetter and Friesen, 2002)。原生性森林和次生林中大型真菌的种类分布比例较高(吴兴亮等, 1998)。即使在同一区域中, 分布于阔叶林、针叶林和针阔混交林等不同林型下的大型真菌种类均有着不同的变化(吴兴亮等, 2004)。通

常在种群和数量上,阔叶林略优于针阔混交林而显著优于针叶纯林及灌丛(陈忠东等,1999)。植被的多样性也为野生蕈菌的生长提供了丰富的基物种类。Darrin 和 McCarthy(2003)对混合栎树林内木生大型真菌的群落组成和生态学做了研究,木生大型真菌的物种丰富度与样地内木质残骸的体积、被研究木材的体积呈正相关,与木材表面地衣覆盖程度呈负相关。Richard 和 Moreau(2004)在地中海森林一块样地内连续三年采集地上大型真菌,发现植被层数增加会降低物种的丰富度,且在树荫的缝隙处物种的丰富度和子实体产量明显增加。林晓民等(2005)根据大量的调查研究将大型真菌划分为木腐真菌、落叶及腐草生真菌、土壤腐生菌、粪生真菌等 12 个生态类型,还对大型真菌生态系统多样性的研究方法进行了讨论。

菌根真菌作为森林生态系统的重要组成部分,对维持生态系统的功能和生物多样性有着不可替代的作用,有很多研究已经证实菌根真菌可以提高宿主植物在恶劣环境中的生存能力。冯固等(2003)的研究表明,美味牛肝菌 *Boletus edulis* Fr. 和褐环乳牛肝菌 *Suillus luteus* (L. ex Fr.) Gray 对板栗生长及养分吸收起到极为重要的作用。梁军等(2003)的研究表明,美味牛肝菌 *Boletus edulis* Fr. 和褐疣柄牛肝菌 *Leccinum scabrum* (Fr.) Gray 对北京杨有明显的促生长作用,并且其叶片叶绿素含量、树皮相对膨胀度、树体电容等生理及抗病性指标都有不同程度的增强。白淑兰等(2006)对大青山生境土壤理化因素进行了分析,结果表明,菌根真菌能够降低土壤 pH,并使环境中全氮含量有所提高,对速效态氮、磷、钾释放也有促进作用。

真菌菌丝、子实体的生长发育主要受控于温度、湿度及光照因素,由于自身的生物学特性,不同大型真菌都有其自己适宜生长的季节,这就体现在大型真菌分布的季节性上。何宗智(1991)的研究表明,江西大型真菌的分布不仅在水平和垂直分布具有一定的特征,在季节上也有鲜明的不同。在吴人坚和谭惠慈(1993)从佘山采到的肉质菌中有 81% 的子实体是在夏末和秋季形成的,但也有 19% 的子实体是在 4~5 月形成的。饶军(1998)对临川大型真菌的研究发现每年的不同月份出现不同的大型真菌种类。图力古尔和李玉(图力古尔和李玉,2000;图力古尔,2004)探讨了植物群落与大型真菌群落多样性之间的关系,计算不同植物群落中蕈菌物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数,获得一些规律性的变化。图力古尔和李玉(2001)研究了蕈菌子实体的发生与气温、降水的显著相关性,并指出了由于菌丝的生长需要基物有一定的积温和含水量而出现的“滞后”现象。范宇光和图力古尔(2010)采用生态系统多样性研究方法分析长白山自然保护区不同海拔、不同植被带中蕈菌多样性的分布特征。在大型真菌生态类型方面,徐凌川等(2006)经过大量实地调查和数量统计,对山东省大型真菌进行了生物多样性研究,按照目前国内外普遍使用的 Ainsworth G.C. 于 1973 年提出的分类系统,山东大型真菌共有 255 种,隶属 6 纲 14 目 45 科 113 属,同时根据大型真菌生长基质和营

养方式的不同将其划分为 10 个生态类型,木腐菌、菌根菌和土壤腐生菌为优势类群,占调查所发现大型真菌总数的 89.8%,其中菌根菌中牛肝菌科真菌种类较多,共计 30 种,同时在保护环境、引种驯化、建立食用菌生产基地、加强生物技术的应用、建立加强管理机构、加强管理等进一步研究、保育和持续利用这一生物资源方面提出合理化建议。

总之,大型真菌的群落组成及多样性与植物群落的组成和林中小生境(温度、湿度)密切相关,土壤类型、海拔、季节、气候条件等因素均约束着大型真菌的生长、分布和种类组成。

四、蕈菌生物多样性保育

保育生物学在 20 世纪 80 年代初形成专门的学科,它包含拯救生物多样性及研究生物多样性和持续、合理地利用生物多样性。其中心任务是在一定理论指导下,拯救珍稀濒危物种,合理利用生物资源,保存地球上的生物多样性(Brussard, 1985)。菌物多样性的保育,包括就地保育,也称就地保护(*in situ conservation*);异地保育,也称迁地保育(*ex situ conservation*)两种。就地保育是指在原来的生境中对濒危物种进行保护,异地保育是指将濒危物种迁移到人工环境或易地实施保护(陈道海和钟炳辉, 1999)。

(一)就地保育

菌物学家对就地保育尚缺研究经验,目前仅有个别欧洲国家(如意大利)有专为食用菌设立的保护区。由于欠缺对真菌的生态学、分布情况,甚至分类学的了解,菌物类群很少受到自然保护关注。由于毁灭性开采、生态环境被破坏等原因,有关野生蕈菌资源明显减少的报道逐渐增加(Arnolds, 1988; Fellner, 1989)。例如,Cherfas(1991)发现由于人类活动导致的环境污染,荷兰森林中野生食用菌数量明显下降。欧洲分布的 8000 种真菌中,20%正在受到生存威胁,已报道的半数以上的大型真菌至少被列入了其中一个国家的红色名录中(Arnolds and Vries, 1993)。捷克提出的大型真菌的物种红色名录中,共包括 904 种濒危大型真菌,这竟然占到大型真菌总数的 20%~25%。这个红色名录还根据世界自然保护联盟(IUCN)的物种濒危等级标准将这 904 种濒危真菌分为很可能灭绝、极危种、濒危种、易危种、近危种和不知道的种(Holec and Beran, 2006)。匈牙利的红色名录中包括了 35 种濒危大型真菌,而且自 2005 年 9 月 1 日起,这 35 种大型真菌在匈牙利的版图上就已经受到法律保护(Rimóczi *et al.*, 1999)。Ryan 和 Smith(2004)从分子水平讨论了真菌资源的保护问题。此外,乌克兰、瑞士、斯洛伐克、斯洛文尼亚、匈牙利、德国、爱沙尼亚、奥地利等国家的濒危真菌或其生境都不同程度地受到法律的保护(Courtecuisse, 2000)。日本、瑞士等国家最近也公布了本国处于受威胁状态的菌物物种名录