

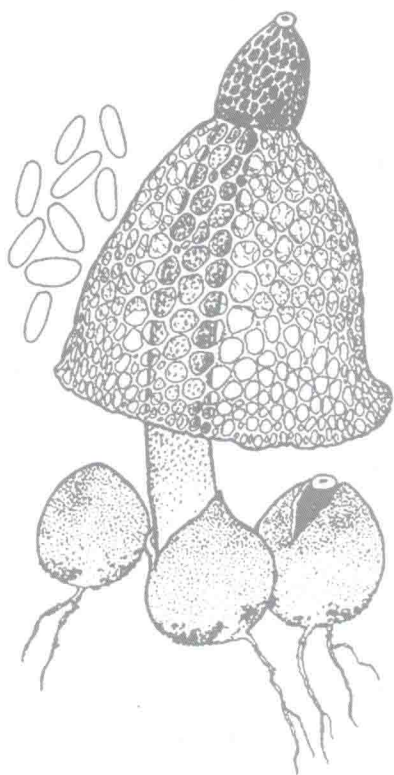


国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材
云南省普通高等教育“十二五”规划教材



资源真菌学

韩长志 熊 智 © 主编



中国林业出版社
China Forestry Publishing House

国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材
云南省普通高等学校“十二五”规划教材

资源真菌学

韩长志 熊 智 主编

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

资源真菌学 / 韩长志, 熊智主编. —北京: 中国林业出版社, 2018. 10

国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材

云南省普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5038-9779-5

I. ①资… II. ①韩… ②熊… III. ①应用真菌学-高等学校-教材 IV. ①Q949. 32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 230666 号

国家林业和草原局生态文明教材及林业高校教材建设项目

中国林业出版社·教育出版分社

策划编辑: 高红岩

责任编辑: 高红岩 曹鑫茹 范立鹏

电话: (010)83143554

传真: (010)83143516

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: jiaocaipublic@163.com 电话: (010)83143500

http: //lycb. forestry. gov. cn

经 销 新华书店

印 刷 固安县京平诚乾印刷有限公司

版 次 2018 年 11 月第 1 版

印 次 2018 年 11 月第 1 次印刷

开 本 850mm×1168mm 1/16

印 张 23.25

字 数 574 千字

定 价 52.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

《资源真菌学》编写人员

主 编 韩长志 熊 智

编 者 (以姓氏笔画为序)

王金华 (西南林业大学)

任文来 (文安县农业局)

吕天雯 (西南林业大学)

张汉尧 (西南林业大学)

李翠新 (西南林业大学)

杨 玲 (西南林业大学)

赵友杰 (西南林业大学)

敖新宇 (西南林业大学)

曹岩坡 (河北省农林科学院经济作物研究所)

韩长志 (西南林业大学)

熊 智 (西南林业大学)

前言

真菌一词最早来源于拉丁文字的“蘑菇”(fungi)，目前人们所使用的真菌一词，其内涵不仅涉及蘑菇单一生物，也包含着一大类生物。真菌与菌物(fungus)所包含的范围不同，其作为菌物中最为主要的种类，通常是指具有真正的细胞核，不含叶绿素，无根、茎、叶、花、果的分化，以腐生、寄生、共生或超寄生方式吸收养料，以及营养体通常是丝状分支的菌丝体，仅少数为单细胞，细胞壁主要成分是几丁质或纤维素(cellulose)，通过产生各种类型孢子进行有性生殖或无性繁殖的一群细胞生物。

真菌在自然界的分布范围极其广泛，无论是在淡水、海水等宽阔水域中，还是在天空、土壤以及地面的各种物体上，抑或是在冰川、高温等极端环境中，都存在种类诸多、数量较大的真菌。目前，学术界已描述的真菌种类约有10万个“种”。我国幅员辽阔，自然地理环境种类丰富，真菌的种类繁多、真菌资源极其丰富，认识、识别、研究、保护以及可持续开发利用这些宝贵真菌资源，充分挖掘其具有的经济价值和医药价值，对于提升我国真菌资源相关的工业、农林业及食品等产业，扩大真菌资源对外贸易以及保护生物多样性均具有非常重要的社会效益和生态效益。

资源真菌学是利用传统技术及现代技术对人类有价值的真菌开展分离、培养、鉴定以及保护、利用的一门重要科学。该科学的形成经历了人们对其简单食用、医药开发利用、深入挖掘基因再利用等阶段，是诸多自然科学技术应用和社会经济发展的必然结果。

本教材在编写过程中，西南林业大学的专家学者从各自熟知的领域开展内容撰写，从不同角度提出了非常具有建设意义的意见。同时，来自于河北省农林科学院、文安县农业局等生产一线不同专家学者的建议和意见，使得本教材的编写内容既有丰富的理论知识内容，也具有重要的实践应用内容。此外，本教材的编写内容充分吸收国内外诸多真菌研究学者的最新研究成果，从真菌学向真菌资源学及其相关的学科领域进行拓展，与化学、医学、农学、林学、农药学、食品科学以及生态学、分子生物学、生物信息学等多学科相互交叉渗透，不仅具有传统学科的研究成果，也充分吸收了近些年利用现代技术的研究成果，是集中展示近年国内外资源真菌学研究、开发、利用和保护工作的重要载体，因此，该教材可作为高等院校生物学、微生物学、农学、林学、药学、食品科学与工程、制药工程、植物保护、森林保护、资源环境等专业的本

科教材，也可作为开展资源真菌研究的科学研究参考书。

本教材涉及 10 章内容，分别是第 1 章绪论，主要对真菌与资源真菌学的概念、理论体系进行介绍；第 2 章资源真菌的种类及分类系统，主要对资源真菌的主要种类、数量以及分类系统进行介绍；第 3 章资源真菌的代谢，主要是对资源真菌代谢过程中产生的酶、多糖以及高分子聚合物进行介绍；第 4 章资源真菌学的一般研究方法，主要是对资源真菌的分离、纯化、鉴定以及保藏等方法进行介绍；第 5 章食用资源真菌，主要是对食用真菌的主要类群、生态分布、栽培、利用及加工技术等方面进行介绍；第 6 章药用资源真菌，主要是对药用真菌的主要类群、栽培、利用及加工技术、遗传育种等方面进行介绍；第 7 章农林资源真菌，主要是对虫生资源真菌、拮抗资源真菌、菌根菌肥资源真菌、除草资源真菌、农药降解资源真菌的利用方面进行介绍；第 8 章工业资源真菌，主要是对酵母菌的开发及利用，以及霉菌的开发及利用等方面进行介绍；第 9 章环境资源真菌及利用，主要是对真菌在环境物质循环中作用以及水环境真菌、有机固体废物真菌的利用进行介绍；第 10 章极端环境资源真菌及利用，主要是对冰川、低水活度、高温等极端环境条件下存在的资源真菌进行介绍。

由于本教材涵盖的内容涉及面较广，不仅涉及农林业资源真菌，也包含药用资源真菌，为了更生动地向读者展示资源真菌的形态特征，本教材多幅图片参考了《中国经济真菌》的相关资料并进行了仿绘，在此谨向该书作者致以谢意。本教材内容时间跨度较大，不仅具有传统经典的知识点，也具有最新的研究成果，加之编写时间紧迫，教材质量要求较高，因此，编写难度之大可想而知，虽经诸多编者认真校对、不懈努力，但不足之处在所难免，敬请各使用单位及学者对本教材提出宝贵意见和建议，以便修订时补充更正。

编 者

2018 年 2 月

目 录

前 言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 真菌与资源真菌	(1)
1.2 资源真菌学的性质及研究对象	(12)
1.3 资源真菌学的理论体系	(13)
1.4 国内重要的资源真菌研究机构	(15)
1.5 国内外重要的资源真菌菌种保藏机构	(17)
第 2 章 资源真菌的种类及分类系统	(22)
2.1 资源真菌的研究历史	(22)
2.2 资源真菌的分类系统	(24)
第 3 章 资源真菌的代谢	(39)
3.1 资源真菌的代谢及代谢产物	(39)
3.2 资源真菌所产生的酶	(54)
3.3 资源真菌多糖	(63)
第 4 章 资源真菌学研究方法	(67)
4.1 资源真菌的分离纯化方法	(67)
4.2 资源真菌的鉴定方法	(80)
4.3 资源真菌的保藏方法	(92)
4.4 资源真菌的诱变育种和基因工程育种	(97)
4.5 资源真菌的专利保护	(111)
第 5 章 食用资源真菌	(115)
5.1 食用真菌的主要类群及生态分布	(115)
5.2 用真菌的栽培与利用	(136)
5.3 我国食用菌资源利用现状及展望	(167)

第6章 药用资源真菌	(171)
6.1 药用真菌的主要类群及来源	(173)
6.2 药用真菌的栽培生产	(175)
6.3 食药资源真菌的加工技术	(183)
6.4 食药菌的遗传育种技术	(188)
6.5 我国食药菌资源利用现状及展望	(198)
第7章 农林资源真菌	(200)
7.1 虫生资源真菌及利用	(200)
7.2 拮抗资源真菌及利用	(213)
7.3 菌根菌肥真菌及利用	(226)
7.4 除草资源真菌及利用	(232)
7.5 农药降解资源真菌及利用	(235)
第8章 工业资源真菌	(238)
8.1 酵母菌的开发与利用	(239)
8.2 霉菌的开发与利用	(246)
第9章 环境资源真菌及利用	(254)
9.1 真菌在环境物质循环中的作用	(254)
9.2 真菌与生物能源	(258)
9.3 水环境真菌及污水控制	(265)
9.4 有机固体废物真菌及利用	(276)
第10章 极端环境资源真菌及利用	(284)
10.1 冰川资源真菌	(284)
10.2 低水活度真菌	(289)
10.3 高温真菌	(291)
10.4 耐辐射真菌	(292)
10.5 石生真菌	(294)
参考文献	(299)
附录1 常用资源真菌分离培养基配方	(323)
附录2 国内外菌种保藏库的名称缩写及全称	(325)
附录3 食用菌等级分类标准	(335)
附录4 主要食用菌的营养成分	(337)
附录5 食用菌及菌种相关产品和检测等标准汇总	(339)
附录6 用于专利程序的生物材料保藏办法	(342)
附录7 部分药用真菌的有效成分及功效	(345)
附录8 虫生真菌分布情况一览表	(347)

1.1 真菌与资源真菌

1.1.1 真菌与菌物的概念

1.1.1.1 真菌的概念

真菌在自然环境条件下的分布极其广泛，种类繁多、数量巨大，除一些大型真菌外，大多数真菌的个体一般很小，通常需要在光学显微镜下放大 100 倍才能看清其结构特征。目前，已描述的约 10 万个种，在淡水、海水、土壤以及地面的各种物体上，甚至在一些诸如极寒(冰川)、高温以及低水活度等极端环境条件下都有真菌的存在。

“真菌”一词最早源于拉丁语 *eumycetes* 的意译，早在 20 世纪 20 年代就开始使用了。真菌(*fungi*)作为菌物(*fungi*)中主要的种类，通常是指具有真正的细胞核，不含叶绿素，无根、茎、叶的分化，以腐生、寄生、共生或超寄生(*superparasitism*)方式吸收养料，营养体通常是丝状分支的菌丝体，仅少数为单细胞，细胞壁主要成分是一丁质(*chitin*)或纤维素(*cellulose*)，通过产生各种类型的孢子进行有性生殖或无性繁殖的一类细胞生物(图 1-1)。

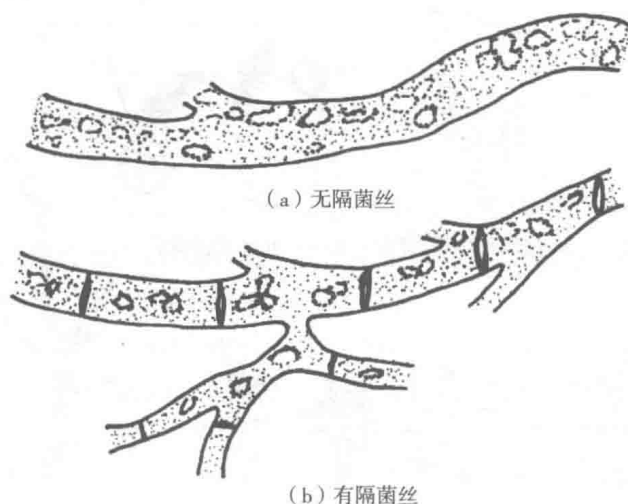


图 1-1 真菌的菌丝体(王韵晴和罗雨薇绘，有修改)

由上述概念可以知道真菌具有以下5个主要特征：

- ①真菌是真核生物，有真正的细胞核。
- ②真菌的营养方式为异养型，没有叶绿素或其他可进行光合作用的色素，需要从外界吸收营养物质。
- ③真菌的营养体简单，大多为菌丝体，细胞壁主要成分为几丁质或纤维素，少数真菌的营养体是不具细胞壁的原生质团(图1-2)。
- ④真菌典型的繁殖方式是产生各种类型的孢子(图1-3、图1-4)。

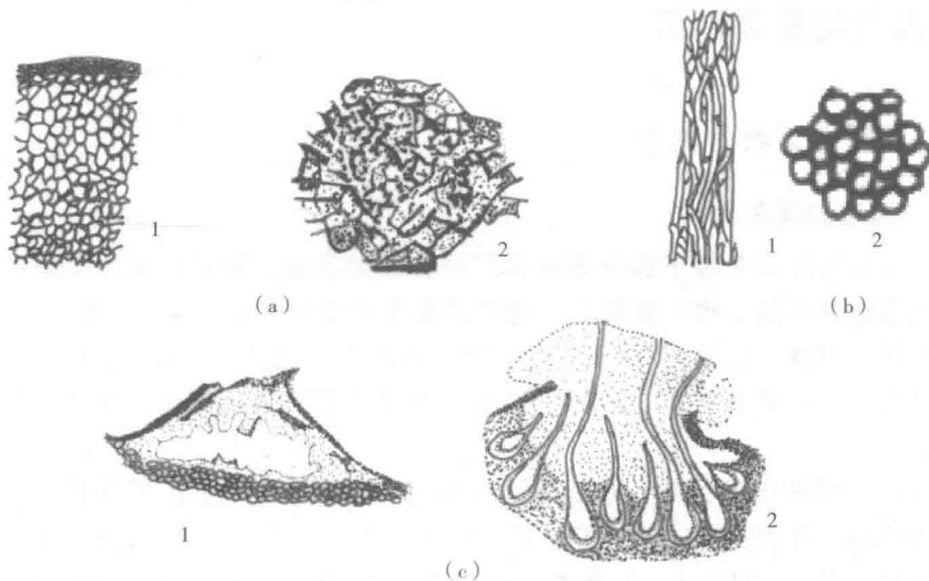


图 1-2 菌丝的变态

(a) 菌核：1. 疏丝组织；2. 拟薄壁组织 (b) 菌索：1. 纵切面；2. 横切面
(c) 子座：1. 外部特征；2. 内部特征

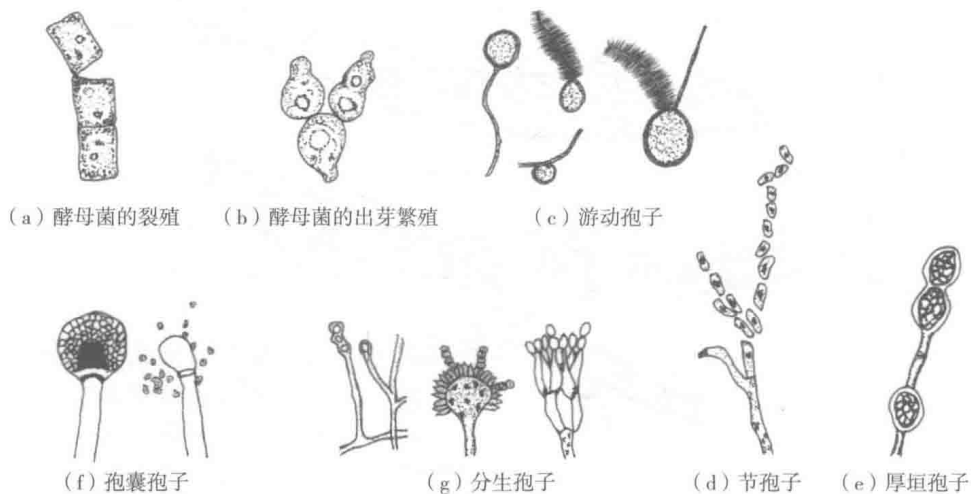


图 1-3 真菌的无性繁殖及无性孢子

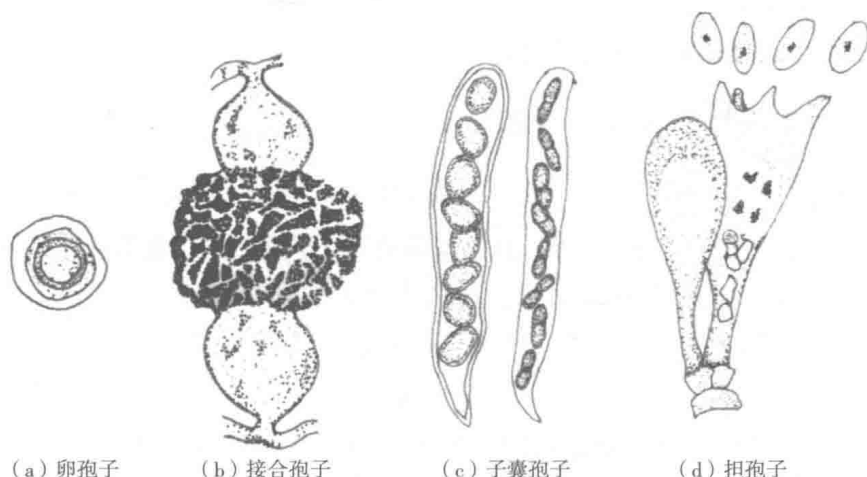


图 1-4 真菌的有性孢子

就真菌的营养方式而言,主要包括腐生、共生和寄生三种。大多数真菌营腐生,生活在死的有机体上。而寄生性真菌,则主要寄生在活体生物上,一般而言,侵染活体植物而造成植物发生病害的真菌称为植物病原真菌。目前,对于植物病原真菌的记录已有 8000 种以上,是引起植物病害的非常重要的一大类病原,所占比例高达 70%~80%。农作物上常见的小麦黑粉病、玉米瘤黑粉病、小麦叶锈病、小麦条锈病、小麦秆锈病、小麦白粉病和稻瘟病等,以及果树上常见的苹果轮纹病、葡萄霜霉病、梨黑星病等均是由真菌引起的。

1.1.1.2 菌物的概念

近些年,学者不断采用先进的遗传学技术手段,对真菌的遗传关系进行研究,研究表明,在过去很长一段时间内人们所认识的真菌,其实是包括真正意义的真菌(以下简称真菌)^①、卵菌、黏菌以及丝壶菌等在内的真菌复合类群。上述真菌在形态、营养方式与生态上形成了一个关系十分密切的类群。然而,现今学术界已经明确指出现代意义的真菌、卵菌、黏菌和丝壶菌彼此之间并没有显著的、共同的进化历史,例如,真菌与动物的亲缘关系较近,而卵菌则与植物的亲缘关系较近。

1991 年,著名植物病理学家、病毒学家、真菌学家裘维蕃院士建议采用“菌物”一词来代表八界生物分类系统中真菌界成员的复系生物类群(包括卵菌、黏菌和丝壶菌),而把“真菌”一词让位给八界分类系统中真菌界的成员。这一建议非常符合真菌学学科发展的需要,非常有助于对真菌学开展教学、科研和学术交流活动,因此,该建议得到了国内学术界较为一致的认同。同时,裘院士认为:“关于 fungi 一词过去都译为真菌(eumycetes 或 true fungi)是不妥当的,因为这个词还包含着黏菌或裸菌在内,建议今后将 fungi 译成‘菌物’,真正的真菌学似乎应该是专讲真菌门(Eumycota)的内容。”因

^① 本教材中若没有特别说明,文中所指的真菌均指具有真正意义的真菌,涵盖范围较小,不包括卵菌、黏菌以及丝壶菌等。

此,本教材中关于菌物的概念,定义为是由一个非常庞大的有机体类群组成,包括真菌、卵菌、黏菌和丝壶菌等在内的复合类群。

1.1.2 资源真菌的特点及经济意义

1.1.2.1 资源真菌的特点

地球上的菌物大约有 150 万种,其中蕈菌有 14 万种之多。真菌的生长、发育等活动均以化学为基础。就资源真菌而言,其从体外获取营养,进一步生长、发育等代谢活动依然是以化学为基础。因此,资源真菌的代谢产物也存在以化学为基础的特点(表 1-1)。

表 1-1 主要食用菌资源的化学成分及其所具有的功能情况

真菌名称	拉丁名	主要化学成分	功 能
木耳	<i>Auricularia auricula-judae</i>	黑木耳多糖、多种维生素等	补气血、润肺、止血、活血,有滋补强壮、通便之效,可用于治疗寒湿性腰腿疼、产后虚弱血脉不通、子宫出血等,对高血压也有疗效
银耳	<i>Tremella fuciformis</i>	银耳多糖、己糖醛酸甘露糖	补肺益气、滋阴润燥、清热和血;可用于治疗久咳、喉痒、月经不调、肺热胃炎等
黄白银耳	<i>T. aurantialba</i>	甘露糖、葡萄糖及糖	化痰、定喘、调气、平肝阳;可用于治疗老人咳嗽、气管疾病、高血压,可防癌、抗癌
鸡油菌	<i>Cantharellus cibarius</i>	8 种人体必需的氨基酸、维生素 A	清目、利肺、益肠道;可用于预防视力失常、眼炎、夜盲症及消化道感染
猴头菌	<i>Hericium erinaceus</i>	猴头多糖	能利五脏、助消化、滋补;可用于治疗消化不良、神经衰弱、胃溃疡
蜜环菌	<i>Armillaria mellea</i>	蜜环菌甲素、蜜环菌乙素、麦角甾醇	清目、利肺、益肠胃,息风镇痛;可用于治疗神经性头疼、高血压性头痛,视力失常、眼炎、夜盲症,呼吸道、消化道感染
金针菇	<i>Flammulina velutipes</i>	冬菇素、氨基酸	利肝脏、益肠胃、抗癌;可用于治疗肝病及胃溃疡
香菇	<i>Lentinus edodes</i>	香菇多糖、核苷酸、香菇素、葡聚糖等	益气、治风破血、化痰理气、助食等;可用于治疗水肿、胃肠不适、头痛、头晕,还可用于预防肝硬化及血管硬化,降血压,抗癌、防癌
根白蚁巢伞	<i>Termitomyces eurhizus</i>	蛋白质、多缩戊糖、麦角甾醇	益胃、清神、治痔、助消化;可用于治疗心悸、肝炎等
草菇	<i>Volvariella volvacea</i>	蛋白质、麦角甾醇	消暑去热、增益健康、抗癌;可用于防治坏血病及淤点性皮疹、牙龈肌肉及关节囊等处出血,预防高血压

(续)

真菌名称	拉丁名	主要化学成分	功 能
金顶侧耳	<i>Pleurotus citrinopileatus</i>	含蛋白质、维生素和矿物质等多种营养成分, 其中氨基酸含量尤为丰富, 且必需氨基酸含量高	滋补强壮; 不用于治疗虚弱症与痢疾, 还可用于治疗肺气肿
松口蘑	<i>Tricholoma matsutake</i>	松口蘑多糖、氨基酸、松茸醇、桂皮酸甲酯等	益肠胃、止痛、化痰、理气; 不用于治疗糖尿病
长裙竹荪	<i>Phallus indusiatus</i>	氨基酸、维生素	止咳、补气、止痛; 对高血压、高胆固醇及肥胖症疗效较好

1.1.2.2 资源真菌的经济意义

资源真菌目前已知约14000种, 其中有近3000种被称为食用蕈菌, 我国已知967种, 市场上销售的约200种, 可以试验性栽培的不超过100种, 而商业栽培的仅60余种。但是仅仅这60余种(实际规模化生产的也就10余种, 如我国香菇产量已占世界总产量的70%), 就创造出了 2.02×10^7 t的产量, 超1000亿元的产值, 成为农业产业中继粮、棉、油、菜、果之后的第6大产业。

1.1.3 资源真菌在生态系统中的地位

1.1.3.1 资源真菌与人类的关系

资源真菌的利用在我国有着非常悠久的历史, 特别是对于食用、药用真菌资源的利用, 早在6000~7000年之前的仰韶文化时期, 我们的祖先就已采食蘑菇等食用菌了。2000年前的《礼记》《吕氏春秋》和北魏时期的《齐民要术》等古籍文献中都有人类食用菇类的记载。东汉时的《神农本草经》记载药物365种, 其中就有茯苓、猪苓、雷丸、木耳等10多种真菌。南北朝时期的陶弘景《本草经集注》和《名医别录》中增添了马勃和蝉花等。明代李时珍的《本草纲目》增加了六芝、桑耳、槐耳、柳耳、皂荚菌、香蕈、天花蕈、羊肚菜、鸡枞、鬼盖、鬼笔、竹荪、桑黄、蝉花、雪蚕以及茯苓、猪苓、雷丸及马勃等40余种。清代的汪昂所编著的《本草备要》, 书分八卷, 及“药性总义”一篇, 内容分草、木、果、谷菜、金石水土、禽兽、鳞介鱼虫、人、日食菜物等部, 共收录常用药物478种, 续增日食菜物54种, 对各味药物的性味、归经、主治、禁忌、产地、采集、收贮、畏恶、炮制等均有论述。特别是引述历代名家精论及验案、奇案、疑案、验方、秘方及对有关药物的辨误、辨疑、质疑等。该书首次明确记载了冬虫夏草可作为药用保健品。

研究发现, 约1500种真菌代谢物具有抗肿瘤和抗菌特性, 其中部分已批准为药物。在我国, 有些真菌直到今天依然作为药物使用, 如茯苓、冬虫夏草、雷丸、蜂花、灵芝

等,上述真菌最早记载出现在《礼记》《淮南子》《史记》《神农本草论》等古代药学书籍中,其种类繁多,品种多样。中国科学院微生物研究所应建浙等所编著《中国药用真菌图鉴》全面记述了 272 种真菌的形态特征及其药效,其中部分种类兼具食用和药用价值。

自 1929 年英国学者弗莱明从特异青霉 *Penicillium notatum* 中分离并发现青霉素以来,真菌新的代谢途径被发现,这些代谢途径被直接用于生产新的药物(结构或功能)或合成药物的先导化合物。例如,来自于膨大弯颈霉 *Tolypocladium inflatum* 和光泽柱孢菌 *Cylindrocarpon lucidum* 的免疫抑制剂环孢霉素(Immunosuppressant cyclosporine),来自灰黄青霉 *P. griseofulvum* 的抗真菌药物灰黄霉素(Griseofulvin),来自土曲霉 *Aspergillus terreus* 胆固醇合成抑制剂洛弗斯塔特因,来自不同分类单元多种真菌产生的 β -内酰胺(β -Lactam),来自于曲霉属和青霉属真菌的地蕨素(Ternatin)、Aspergillusol A 和核丛青霉素(Sclerotiorin)等可以用于糖尿病的治疗;来源于真菌的 Codinaeopsin、Efrapeptins、Zervamicins 和 Antiamoebin 可用于疟疾的治疗;来源于麦角菌的麦角生物碱类(Ergot alkaloids)、来源于牛肝菌的 L-茶氨酸(L-Theanine)、来源于麦角菌的培高利特(Pergolide)和来源于乌茸菌 *Polyozellus multiplex* 的 Polyozellin 等被用于治疗头疼、帕金森综合征、老年痴呆症等精神类疾病。

在工业方面,根霉、毛霉、芽枝霉等真菌由于具有产生果胶酶的能力而被用于造纸业的亚麻浸渍脱胶;能够产生淀粉酶的真菌可用于织物退浆,真菌还被用于皮革处理、甘油发酵、柠檬酸和乳酸等有机酸的生产。真菌在我国食品发酵与酿造工业中的应用也拥有悠久的历史。

为了减少农药残留对环境的污染以及对人类健康的威胁,更好地发挥绿色生态理念,更好地推动以菌治虫、以菌治菌等方式防治植物病虫害,开展以绿色农药、生物农药的开发防治植物病虫害的研究工作具有重要的前景。例如,金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 是重要的昆虫寄生性真菌。它对害虫的侵染过程包括黏附、孢子萌发、穿透虫体、体内发育和致死。在此过程中,真菌产生的几丁质酶等是导致昆虫致病的重要因子。由于金龟子绿僵菌寄主范围广,有致病力强,对人、畜、农作物无毒害、无残毒,易生产,菌剂的持效期长等优点,因此具有广阔的应用前景。

那么,真菌资源到底是什么?其与人类之间的关系是什么样的?国外学者 Moss 通过对真菌与人类关系的分析,绘制出真菌既是人类的朋友又是人类的敌人的关系图,这张图揭示人类应充分发掘真菌对人类有价值的资源,更好地防范真菌对人类有害的物质,更好地理解真菌资源有助于未来更好地利用真菌资源(图 1-5)。

1.1.3.2 资源真菌与生态环境的关系

一般而言,在 1hm^2 肥沃的森林土壤表层中存在着相当于 $1\sim 10\text{t}$ 干物质的微生物,其中 $60\%\sim 80\%$ 是真菌。在整个陆地生态系统中真菌的生物量仅次于植物,因此,真菌对地球环境与化学物质循环等方面起着重要的作用。

(1) 影响资源真菌的环境因子

①土壤因子 土壤具有满足资源真菌生长发育所需要的营养、水分、空气、酸碱度、渗透压和温度等条件,因而也是资源真菌生活的良好环境。不同土壤类型、土壤质地以及土壤不同利用方式等对资源真菌的分布具有不同程度的影响。

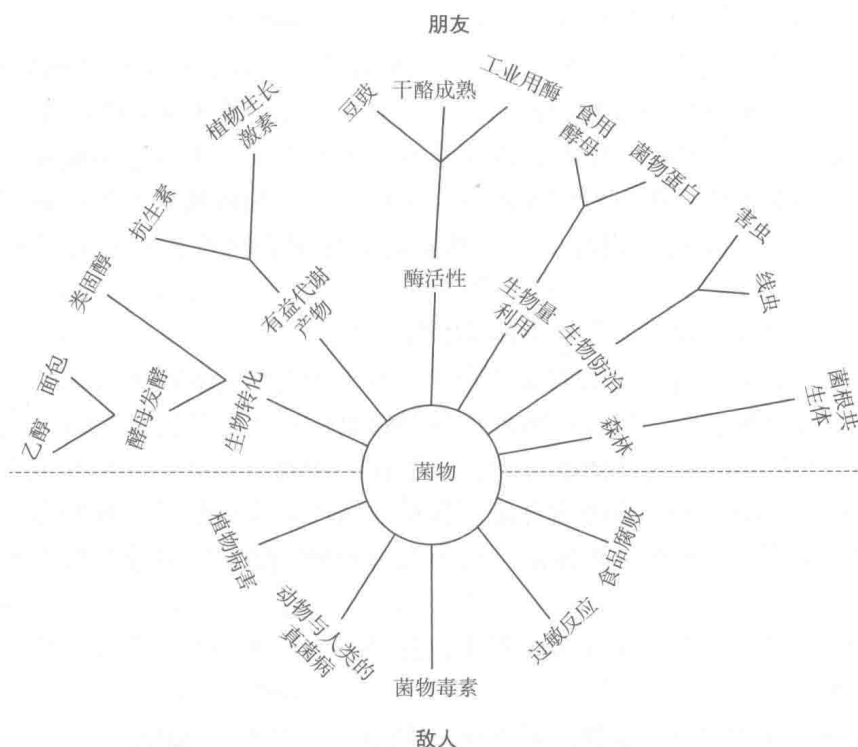


图 1-5 真菌与人类之间的关系

②季节变化 温度随季节有很大变化，尤其是热带地区。通常秋季温度比较适合真菌的发育，夏季高温和冬季低温抑制真菌生长和发育。同一种真菌在不同发育阶段对温度的要求不同，如 Schenck 等 (1988) 发现大豆上的一种丛枝菌根 (arbuscula mycorrhiza, AM)，其菌丝发育最佳温度为 $28\sim 34^{\circ}\text{C}$ ，丛枝发育以低于 30°C 为好，而孢子或泡囊的发育则在 35°C 下最好。红壤的茶园和林地中真菌孢子数量有明显的季节变化，夏季和秋季每 100g 干土中孢子数量达 200 个左右，春季次之，冬季孢子数量最小，每 100g 干土孢子数量仅有 40 个。

③地理因素 从地球的南极到北极到处都有资源真菌的分布。然而，由于各地纬度、海拔以及降水、气温与光照等气候因子的差异，资源真菌的分布具有明显的地域性。1993 年，Michelini 研究了 4 个地区多种环境因子 (矿质营养、有机质、土壤 pH 值、海拔和年降水量) 对 AM 真菌发育的影响，发现不同地区侵染状况显著不同，区域特征与侵染之间具有显著的相关性。

(2) 资源真菌的生活环境

①腐生菌与物质分解 真菌中营腐生生活的种类和细菌等微生物参与了对自然界的生物遗体、残骸等有机物的分解。在森林倒腐木上，不难发现多种白腐菌和褐腐菌，其中如北温带常见的北方多孔菌，它是针叶林材的腐朽菌，具有较强分解纤维素和木质素的能力。革菌类近来受到广泛关注，在木质素分解研究中，显刺革菌属 *Phanerochaete* 被认为是一个降解木质素的优良菌种。除菌物与植物的腐生型外，某些菌类还可对动物的代谢物和脱落物进行腐生和分解。在日本和欧洲等地多次报道根黏滑菇 *Hebeloma radicosum* 的地下菌丝往往与鼯鼠巢穴周围由鼯鼠的排泄物和脱落的残毛骨

片组成交织群落，并从中获取营养。

一般而言，物质循环包括两个方面：一是同化合成作用，即无机物的有机化过程，主要靠绿色植物的光合作用来实现；二是异化分解作用，即有机物的无机化过程，是靠菌物来完成的。在土壤表面凋落物的纤维素、半纤维素、木质素及淀粉、几丁质等不同基质上生活着分解这些物质的各种腐生菌物，是它们将这些有机物降解为植物根系可吸收利用的无机成分。因此，腐生真菌既是分解者又是植物营养的储存库和提供者。

腐生菌包括落叶分解菌、木生菌和粪生菌。

a. 落叶分解菌：落叶分解菌的成员除了大型真菌外还有黏菌和霉菌等，易于生长在枯枝、落叶及落果上。这些森林凋落物的分解是从叶片生长阶段就开始的。由于一些小型子囊菌和细菌的侵染和前期分解，致使枝叶或果实因病害而生长发育不良，落到地面后由地面上的其他真菌继续分解。起初幼嫩的叶肉组织被土壤动物所啃食，只剩下难分解的部分。子囊菌和半知菌没有分解木质素的能力，只能分解纤维素和半纤维素。

b. 木生菌：木生菌生于树干或木材上，能分解木质素、纤维素和半纤维素，绝大部分是担子菌。

c. 粪生菌：粪生菌分解动物的粪便同分解落叶和木材是相似的。

此外，还有一些菌类喜欢生活在动物的尸体、骨骼、洞穴及排泄物等富含氮素的环境中，称为氨生菌(ammonia fungi)。菌物在C、N、P和S等主要元素的循环过程中起着重要的作用。例如，通过真菌和其他菌物的分解作用每年将约 850×10^8 t碳源以二氧化碳归还到大气中，因此，有人预测如果菌物的这一分解活动停止，则地球上的所有生命可能在20年内因缺乏二氧化碳而终止。

②寄生菌的生态学意义 寄生菌物可以寄生于活的植物、动物和人体上，并引起病害，甚至死亡。农作物的减产、森林的枯死、动物和人体的疾病，许多都是由寄生菌的感染引起的。松根白腐病菌 *Heterobasidion annosum* 是温带松树根部的一种有寄腐兼性的病原菌，但如在该菌的寄生部位有伏革菌属 *Corticium* 出现，则松根白腐菌往往被抑制。

寄生菌生存于活的植物(如锈菌、黑粉菌)、动物(冬虫夏草菌)和真菌(蕈寄生)。从植物保护学科的角度统称病原菌，而从生态学的角度看均属于分解者，或称为活体分解者。寄生菌和腐生真菌一起构成生态系统中的分解者。分解者真菌的多样性也反映了自然界中被分解物质的复杂性。病原菌除了分解活体外，还起着控制森林生态系统中各种生物种群数量、大小及群落动态等作用。

③共生菌与植物协同进化 多种有机体间可形成互利共生组合，如地衣类形成菌物与藻类高度结合的有机体，具有高度的遗传稳定性。真菌与他种生物间的关系是复杂的，具有广泛的多样性。如蜜环菌 *Armillariella mellea*，既有寄生性，可导致梨、苹果和桑树的根腐病和根朽病，其根状菌索在被害根部及土壤中过冬；该菌也有腐生的能力，在林下的倒木上，不难找到该菌的菌索，其菌索又可与兰科的一种药用植物天麻有共生的关系。除了莎草科(Cyperaceae)和灯心草科(Juncaceae)等水生植物和十字花科

(Brassicaceae)等少数陆生植物外,几乎所有的植物都可与它们各自的菌根真菌共生,这种共生体称为菌根(mycorrhiza)。

菌根是高等植物和真菌之间互利共生的活体营养现象,即植物通过根系为真菌提供有利的生长环境和严格限制异养生物生长的碳水化合物,而菌根真菌可为植物提供其不能通过根系直接从土壤中吸收到的养分,并促进水分吸收。其中,有些是外生菌根(ectomycorrhiza),有些则形成内生菌根(endomycorrhiza)或内外生菌根(ectendomycorrhiza)。松属、云杉属、冷杉属和落叶松属等属的植物在无菌根条件下是不能存活的。从这个意义上讲,没有菌根就没有森林,失去菌根真菌就等于失去森林。

资料表明,我国云南松 *Pinus yunnanensis* 林下野生食用菌有 27 科 43 属 211 种(含变种、变型)。而云南松共计有外生菌根真菌 27 科 39 属 211 种(含变种、变型),红菇属、牛肝菌属、乳菇属、乳牛肝菌属、口蘑属、鸡油菌属和革菌属等为云南松林下的主要外生菌根菌类群。也就是说,云南松林下野生食用菌几乎全部是外生菌根真菌。

内生菌根真菌能在植物根细胞内产生“泡囊”(vesicles)和“丛枝”(arbuscles)两大典型结构,名为泡囊丛枝菌根(vesicular arbuscular, VA)。由于部分真菌不在根内产生泡囊,而形成丛枝,故简称丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)。菌根真菌中最常见的一种类型是 AM,研究表明地球上 2/3 的植物物种有这种共生关系。与大部分的真菌不同,AM 真菌从糖中获得能量给养,并在它们的共生体上生长,而不是在有机体的分解物上。不过,令人惊奇的是,研究人员发现 AM 还能够在腐烂的有机物上生长,并从中获得大量的氮。分析结果表明,在根部真菌数量庞大,因此植物根部也存在着同样多的氮。另外,真菌寿命比根的生命短暂得多,因此这项发现表明了生态系统中氮循环的速度。丛枝菌根分类上属于接合菌纲的球囊霉目(Glomales)。由于它们具有与植物共生的高度专一性,迄今尚未分离获得纯培养体。内外生菌根是内生和外生菌根的在过渡类型,并具有两者的一些共同特征。对与其共生的真菌总体知之较少,主要分布于森林土壤中。

植物与真菌之间建立的共生关系是二者在自然界长期协同进化的结果。这种相互关系影响着植物之间的竞争,因而影响着植物群落的组成、结构、演替和植被的分布。

④内生真菌多样性 过去学术界关于内生菌(endophyte)的概念范畴还存在着一些争议。Petrini(1991)将内生菌定义为那些在其生活史中的某一段时期生活在植物组织内对植物组织没有引起明显病害症状的菌。这个定义包括那些在其生活史中的某一阶段营表面生的腐生菌,对宿主暂时没有伤害的潜伏性病原菌(latent pathogens)和菌根菌。因此,Petrini 提出的内生菌概念目前被广泛地接受。

从植物组织中分离出大量的内生真菌类群。但是通过对内生真菌与宿主专一性分析,平均每种宿主有 4~5 种专性内生真菌。按地球目前已知 25 万种植物计算,内生真菌总数可以超过 100 万种。内生真菌长期生活在植物体内的特殊环境中并与宿主协同进化,在演化过程中二者形成了互利共生关系。一方面,内生真菌可从宿主中吸收营养供自己生长需要;另一方面,内生真菌在宿主的生长发育和系统演化过程中起重要的作用。虽然内生真菌的研究得到重视,并在内生真菌的入侵机理系统学、生态学和资源开发方面开展了一系列研究工作,但是对很多问题还不是很清楚,缺乏全面系统