



中国科学院中国孢子植物志编辑委员会 编辑

中国真菌志

第四十三卷

拟青霉属 棒束孢属 戴氏霉属

梁宗琦 主编



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
中国科学院中国孢子植物志编辑委员会 编辑

中 国 真 菌 志

第 四 十 三 卷

拟青霉属 棒束孢属 戴氏霉属

梁宗琦 主编

中国科学院知识创新工程重大项目
国家自然科学基金重大项目
(国家自然科学基金委员会 中国科学院 国家科学技术部 资助)



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本卷记载了我国拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属真菌 49 种以及它们的有性型 6 种, 提供了详细的形态描述和图解及培养特性。对未观察的一些种, 提供了相关的参考文献并作扼要介绍。概述了上述三属真菌在有害生物的控制以及功能食品、药物和其他生物活性物质的开发应用中的前景。

本书可供大专院校生物学、菌物学、中药学、植物保护和生物制药等有关专业师生, 以及进行拟青霉及其相关真菌资源研究和开发的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国真菌志. 第 43 卷, 拟青霉属、棒束孢属、戴氏霉属/梁宗琦主编.
—北京: 科学出版社, 2013

(中国孢子植物志)

ISBN 978-7-03-035735-9

I. ①中… II. ①梁… III. ①真菌门—植物志—中国 IV. ①Q949.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 239010 号

责任编辑: 韩学哲 刘 晶/责任校对: 朱光兰

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 槐寿明

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

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张: 11 1/4 插页: 2

字数: 260 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

CONSILIO FLORARUM CRYPTOGRAMARUM SINICARUM

ACADEMIAE SINICAE EDITA

FLORA FUNGORUM SINICORUM

VOL. 43

PAECILOMYCES ISARIA TAIFANGLANIA

REDACTOR PRINCIPALIS

Liang Zongqi

**A Major Project of the Knowledge Innovation Program
of the Chinese Academy of Sciences**

A Major Project of the National Natural Science Foundation of China

(Supported by the National Natural Science Foundation of China,
the Chinese Academy of Sciences, and the Ministry of Science and Technology of China)

Science Press

Beijing

拟青霉属 棒束孢属 戴氏霉属

本 卷 著 者

梁宗琦 韩燕峰 初华丽

(贵州大学真菌资源研究所)

PAECILOMYCES ISARIA TAIFANGLANIA

AUCTORES

Liang Zongqi Han Yanfeng Chu Huali

(Institute of Fungus Resources, Guizhou University)

中国孢子植物志第五届编委名单

(2007年5月)

主 编 魏江春

副 主 编 夏邦美 胡征宇 庄文颖 吴鹏程

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁兰平 王全喜 王幼芳 田金秀 吕国忠

刘杏忠 刘国祥 庄剑云 李增智 李仁辉

杨祝良 陈健斌 张天宇 郑儒永 胡鸿钧

施之新 姚一建 贾 渝 郭 林 高亚辉

谢树莲 戴玉成 魏印心

序

中国孢子植物志是非维管束孢子植物志，分《中国海藻志》、《中国淡水藻志》、《中国真菌志》、《中国地衣志》及《中国苔藓志》五部分。中国孢子植物志是在系统生物学原理与方法的指导下对中国孢子植物进行考察、收集和分类的研究成果；是生物多样性研究的主要内容；是物种保护的重要依据，对人类活动与环境甚至全球变化都有不可分割的联系。

中国孢子植物志是我国孢子植物物种数量、形态特征、生理生化性状、地理分布及其与人类关系等方面的综合信息库；是我国生物资源开发利用、科学研究与教学的重要参考文献。

我国气候条件复杂，山河纵横，湖泊星布，海域辽阔，陆生和水生孢子植物资源极其丰富。中国孢子植物分类工作的发展和《中国孢子植物志》的陆续出版，必将为我国开发利用孢子植物资源和促进学科发展发挥积极作用。

随着科学技术的进步，我国孢子植物分类工作在广度和深度方面将有更大的发展，对于这部著作也将不断补充、修订和提高。

中国科学院中国孢子植物志编辑委员会

1984年10月·北京

中国孢子植物志总序

中国孢子植物志是由《中国海藻志》、《中国淡水藻志》、《中国真菌志》、《中国地衣志》及《中国苔藓志》所组成。至于维管束孢子植物蕨类未被包括在中国孢子植物志之内，是因为它早先已被纳入《中国植物志》计划之内。为了将上述未被纳入《中国植物志》计划之内的藻类、真菌、地衣及苔藓植物纳入中国生物志计划之内，出席 1972 年中国科学院计划工作会议的孢子植物学工作者提出筹建“中国孢子植物志编辑委员会”的倡议。该倡议经中国科学院领导批准后，“中国孢子植物志编辑委员会”的筹建工作随之启动，并于 1973 年在广州召开的《中国植物志》、《中国动物志》和中国孢子植物志工作会议上正式成立。自那时起，中国孢子植物志一直在“中国孢子植物志编辑委员会”统一主持下编辑出版。

孢子植物在系统演化上虽然并非单一的自然类群，但是，这并不妨碍在全国统一组织和协调下进行孢子植物志的编写和出版。

随着科学技术的飞速发展，人们关于真菌的知识日益深入的今天，黏菌与卵菌已被从真菌界中分出，分别归隶于原生动物界和管毛生物界。但是，长期以来，由于它们一直被当作真菌由国内外真菌学家进行研究；而且，在“中国孢子植物志编辑委员会”成立时已将黏菌与卵菌纳入中国孢子植物志之一的《中国真菌志》计划之内并陆续出版，因此，沿用包括黏菌与卵菌在内的《中国真菌志》广义名称是必要的。

自“中国孢子植物志编辑委员会”于 1973 年成立以后，作为“三志”的组成部分，中国孢子植物志的编研工作由中国科学院资助；自 1982 年起，国家自然科学基金委员会参与部分资助；自 1993 年以来，作为国家自然科学基金委员会重大项目，在国家基金委资助下，中国科学院及科技部参与部分资助，中国孢子植物志的编辑出版工作不断取得重要进展。

中国孢子植物志是记述我国孢子植物物种的形态、解剖、生态、地理分布及其与人类关系等方面的大型系列著作，是我国孢子植物物种多样性的重要研究成果，是我国孢子植物资源的综合信息库，是我国生物资源开发利用、科学研究与教学的重要参考文献。

我国气候条件复杂，山河纵横，湖泊星布，海域辽阔，陆生与水生孢子植物物种多样性极其丰富。中国孢子植物志的陆续出版，必将为我国孢子植物资源的开发利用，为我国孢子植物科学的发展发挥积极作用。

中国科学院中国孢子植物志编辑委员会

主编 曾呈奎

2000 年 3 月 北京

Foreword of the Cryptogamic Flora of China

Cryptogamic Flora of China is composed of *Flora Algarum Marinarum Sinicarum*, *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*, *Flora Fungorum Sinicorum*, *Flora Lichenum Sinicorum*, and *Flora Bryophytorum Sinicorum*, edited and published under the direction of the Editorial Committee of the Cryptogamic Flora of China, Chinese Academy of Sciences (CAS). It also serves as a comprehensive information bank of Chinese cryptogamic resources.

Cryptogams are not a single natural group from a phylogenetic point of view which, however, does not present an obstacle to the editing and publication of the Cryptogamic Flora of China by a coordinated, nationwide organization. The Cryptogamic Flora of China is restricted to non-vascular cryptogams including the bryophytes, algae, fungi, and lichens. The ferns, a group of vascular cryptogams, were earlier included in the plan of *Flora of China*, and are not taken into consideration here. In order to bring the above groups into the plan of Fauna and Flora of China, some leading scientists on cryptogams, who were attending a working meeting of CAS in Beijing in July 1972, proposed to establish the Editorial Committee of the Cryptogamic Flora of China. The proposal was approved later by the CAS. The committee was formally established in the working conference of Fauna and Flora of China, including cryptogams, held by CAS in Guangzhou in March 1973.

Although myxomycetes and oomycetes do not belong to the Kingdom of Fungi in modern treatments, they have long been studied by mycologists. *Flora Fungorum Sinicorum* volumes including myxomycetes and oomycetes have been published, retaining for *Flora Fungorum Sinicorum* the traditional meaning of the term fungi.

Since the establishment of the editorial committee in 1973, compilation of Cryptogamic Flora of China and related studies have been supported financially by the CAS. The National Natural Science Foundation of China has taken an important part of the financial support since 1982. Under the direction of the committee, progress has been made in compilation and study of Cryptogamic Flora of China by organizing and coordinating the main research institutions and universities all over the country. Since 1993, study and compilation of the Chinese fauna, flora, and cryptogamic flora have become one of the key state projects of the National Natural Science Foundation with the combined support of the CAS and the National Science and Technology Ministry.

Cryptogamic Flora of China derives its results from the investigations, collections, and classification of Chinese cryptogams by using theories and methods of systematic and evolutionary biology as its guide. It is the summary of study on species diversity of cryptogams and provides important data for species protection. It is closely connected with human activities, environmental changes and even global changes. Cryptogamic Flora of China is a

comprehensive information bank concerning morphology, anatomy, physiology, biochemistry, ecology, and phytogeographical distribution. It includes a series of special monographs for using the biological resources in China, for scientific research, and for teaching.

China has complicated weather conditions, with a crisscross network of mountains and rivers, lakes of all sizes, and an extensive sea area. China is rich in terrestrial and aquatic cryptogamic resources. The development of taxonomic studies of cryptogams and the publication of *Cryptogamic Flora of China* in concert will play an active role in exploration and utilization of the cryptogamic resources of China and in promoting the development of cryptogamic studies in China.

C. K. Tseng

Editor-in-Chief

The Editorial Committee of the *Cryptogamic Flora of China*

Chinese Academy of Sciences

March, 2000 in Beijing

《中国真菌志》序

《中国真菌志》是在系统生物学原理和方法指导下，对中国真菌，即真菌界的子囊菌、担子菌、壶菌及接合菌四个门以及不属于真菌界的卵菌等三个门和黏菌及其类似的菌类生物进行搜集、考察和研究的成果。本志所谓“真菌”系广义概念，涵盖上述三大菌类生物(地衣型真菌除外)，即当今所称“菌物”。

中国先民认识并利用真菌作为生活、生产资料，历史悠久，经验丰富，诸如酒、醋、酱、红曲、豆豉、豆腐乳、豆瓣酱等的酿制，蘑菇、木耳、茭白作食用，茯苓、虫草、灵芝等作药用，在制革、纺织、造纸工业中应用真菌进行发酵，以及利用具有抗癌作用和促进碳素循环的真菌，充分显示其经济价值和生态效益。此外，真菌又是多种植物和人畜病害的病原菌，危害甚大。因此，对真菌物种的形态特征、多样性、生理生化、亲缘关系、区系组成、地理分布、生态环境以及经济价值等进行研究和描述，非常必要。这是一项重要的基础科学研究，也是利用益菌、控制害菌、化害为利、变废为宝的应用科学的源泉和先导。

中国是具有悠久历史的文明古国，从远古到明代的 4500 年间，科学技术一直处于世界前沿，真菌学也不例外。酒是真菌的代谢产物，中国酒文化博大精深、源远流长，有六七千年历史。约在公元 300 年的晋代，江统在其《酒诰》诗中说：“酒之所兴，肇自上皇。或云仪狄，又曰杜康。有饭不尽，委之空桑。郁结成味，久蓄气芳。本出于此，不由奇方。”作者精辟地总结了我国酿酒历史和自然发酵方法，比之意大利学者雷蒂(Radi, 1860)提出微生物自然发酵法的学说约早 1500 年。在仰韶文化时期(5000~3000 B. C.)，我国先民已懂得采食蘑菇。中国历代古籍中均有食用菇蕈的记载，如宋代陈仁玉在其《菌谱》(1245 年)中记述浙江台州产鹅膏菌、松蕈等 11 种，并对其形态、生态、品级和食用方法等作了论述和分类，是中国第一部地方性食用蕈菌志。先民用真菌作药材也是一大创造，中国最早的药典《神农本草经》(成书于 102~200 A. D.)所载 365 种药物中，有茯苓、雷丸、桑耳等 10 余种药用真菌的形态、色泽、性味和疗效的叙述。明代李时珍在《本草纲目》(1578)中，记载“三菌”、“五蕈”、“六芝”、“七耳”以及羊肚菜、桑黄、鸡枞、雪蚕等 30 多种药用真菌。李氏将菌、蕈、芝、耳集为一类论述，在当时尚无显微镜帮助的情况下，其认识颇为精深。该籍的真菌学知识，足可代表中国古代真菌学水平，堪与同时代欧洲人(如 C. Clusius, 1529~1609)的水平比拟而无逊色。

15 世纪以后，居世界领先地位的中国科学技术，逐渐落后。从 18 世纪中叶到 20 世纪 40 年代，外国传教士、旅行家、科学工作者、外交官、军官、教师以及负有特殊任务者，纷纷来华考察，搜集资料，采集标本，研究鉴定，发表论文或专辑。如法国传教士西博特(P. M. Cibot) 1759 年首先来到中国，一住就是 25 年，对中国的植物(含真菌)写过不少文章，1775 年他发表的五棱散尾菌(*Lysurus mokusin*)，是用现代科学方法研究发表的第一个中国真菌。继而，俄国的波塔宁(G. N. Potanin, 1876)、意大利的吉拉迪(P. Giraldu, 1890)、奥地利的汉德尔-马泽蒂(H. Handel Mazzetti, 1913)、美国的梅里尔(E. D. Merrill, 1916)、瑞典的史密斯(H. Smith, 1921)等共 27 人次来我国采集标本。研究

发表中国真菌论著 114 篇册，作者多达 60 余人次，报道中国真菌 2040 种，其中含 10 新属、361 新种。东邻日本自 1894 年以来，特别是 1937 年以后，大批人员涌到中国，调查真菌资源及植物病害，采集标本，鉴定发表。据初步统计，发表论著 172 篇册，作者 67 人次以上，共报道中国真菌约 6000 种(有重复)，其中含 17 新属、1130 新种。其代表人物在华北有三宅市郎(1908)，东北有三浦道哉(1918)，台湾有泽田兼吉(1912)；此外，还有斋藤贤道、伊藤诚哉、平冢直秀、山本和太郎、逸见武雄等数十人。

国人用现代科学方法研究中国真菌始于 20 世纪初，最初工作多侧重于植物病害和工业发酵，纯真菌学研究较少。在一二十年代便有不少研究报告和学术论文发表在中外各种刊物上，如胡先骕 1915 年的“菌类鉴别法”，章祖纯 1916 年的“北京附近发生最盛之植物病害调查表”以及钱穉孙(1918)、邹钟琳(1919)、戴芳澜(1920)、李寅恭(1921)、朱凤美(1924)、孙豫寿(1925)、俞大绂(1926)、魏岳寿(1928)等的论文。三四十年代有陈鸿康、邓叔群、魏景超、凌立、周宗璜、欧世璜、方心芳、王云章、裘维蕃等发表的论文，为数甚多。他们中有的人终生或大半生都从事中国真菌学的科教工作，如戴芳澜(1893~1973)著“江苏真菌名录”(1927)、“中国真菌杂记”(1932~1946)、《中国已知真菌名录》(1936, 1937)、《中国真菌总汇》(1979)和《真菌的形态和分类》(1987)等，他发表的“三角枫上白粉菌一新种”(1930)，是国人用现代科学方法研究、发表的第一个中国真菌新种。邓叔群(1902~1970)著“南京真菌记载”(1932~1933)、“中国真菌续志”(1936~1938)、《中国高等真菌志》(1939)和《中国的真菌》(1963, 1996)等，堪称《中国真菌志》的先导。上述学者以及其他许多真菌学工作者，为《中国真菌志》研编的起步奠定了基础。

在 20 世纪后半叶，特别是改革开放以来的 20 多年，中国真菌学有了迅猛的发展，如各类真菌学课程的开设，各级学位研究生的招收和培养，专业机构和学会的建立，专业刊物的创办和出版，地区真菌志的问世等，使真菌学人才辈出，为《中国真菌志》的研编输送了新鲜血液。1973 年中国科学院广州“三志”会议决定，《中国真菌志》的研编正式启动，1987 年由郑儒永、余永年等编辑出版了《中国真菌志》第 1 卷《白粉菌目》，至 2000 年已出版 14 卷。自第 2 卷开始实行主编负责制，2.《银耳目和花耳目》(刘波主编，1992)；3.《多孔菌科》(赵继鼎，1998)；4.《小煤炱目 I》(胡炎兴，1996)；5.《曲霉属及其相关有性型》(齐祖同，1997)；6.《霜霉目》(余永年，1998)；7.《层腹菌目》(刘波，1998)；8.《核盘菌科和地舌菌科》(庄文颖，1998)；9.《假尾孢属》(刘锡璠、郭英兰，1998)；10.《锈菌目 I》(王云章、庄剑云，1998)；11.《小煤炱目 II》(胡炎兴，1999)；12.《黑粉菌科》(郭林，2000)；13.《虫霉目》(李增智，2000)；14.《灵芝科》(赵继鼎、张小青，2000)。盛世出巨著，在国家“科教兴国”英明政策的指引下，《中国真菌志》的研编和出版，定将为中华灿烂文化做出新贡献。

余永年 谨识
庄文颖

中国科学院微生物研究所
中国·北京·中关村
公元 2002 年 09 月 15 日

Foreword of *Flora Fungorum Sinicorum*

Flora Fungorum Sinicorum summarizes the achievements of Chinese mycologists based on principles and methods of systematic biology in intensive studies on the organisms studied by mycologists, which include non-lichenized fungi of the Kingdom Fungi, some organisms of the Chromista, such as oomycetes etc., and some of the Protozoa, such as slime molds. In this series of volumes, results from extensive collections, field investigations, and taxonomic treatments reveal the fungal diversity of China.

Our Chinese ancestors were very experienced in the application of fungi in their daily life and production. Fungi have long been used in China as food, such as edible mushrooms, including jelly fungi, and the hypertrophic stems of water bamboo infected with *Ustilago esculenta*; as medicines, like *Cordyceps sinensis* (caterpillar fungus), *Poria cocos* (China root), and *Ganoderma* spp. (lingzhi); and in the fermentation industry, for example, manufacturing liquors, vinegar, soy-sauce, *Monascus*, fermented soya beans, fermented bean curd, and thick broad-bean sauce. Fungal fermentation is also applied in the tannery, papermaking, and textile industries. The anti-cancer compounds produced by fungi and functions of saprophytic fungi in accelerating the carbon-cycle in nature are of economic value and ecological benefits to human beings. On the other hand, fungal pathogens of plants, animals and human cause a huge amount of damage each year. In order to utilize the beneficial fungi and to control the harmful ones, to turn the harmfulness into advantage, and to convert wastes into valuables, it is necessary to understand the morphology, diversity, physiology, biochemistry, relationship, geographical distribution, ecological environment, and economic value of different groups of fungi. *Flora Fungorum Sinicorum* plays an important role from precursor to fountainhead for the applied sciences.

China is a country with an ancient civilization of long standing. In the 4500 years from remote antiquity to the Ming Dynasty, her science and technology as well as knowledge of fungi stood in the leading position of the world. Wine is a metabolite of fungi. The Wine Culture history in China goes back 6000 to 7000 years ago, which has a distant source and a long stream of extensive knowledge and profound scholarship. In the Jin Dynasty (ca. 300 A.D.), JIANG Tong, the famous writer, gave a vivid account of the Chinese fermentation history and methods of wine processing in one of his poems entitled *Drinking Games* (Jiu Gao), 1500 years earlier than the theory of microbial fermentation in natural conditions raised by the Italian scholar, RADI (1860). During the period of the Yangshao Culture (5000—3000 B. C.), our Chinese ancestors knew how to eat mushrooms. There were a great number of records of edible mushrooms in Chinese ancient books. For example, back to the Song Dynasty, CHEN Ren-Yu (1245) published the *Mushroom Menu* (Jun Pu) in which he listed 11 species

of edible fungi including *Amanita* sp. and *Tricholoma matsutake* from Taizhou, Zhejiang Province, and described in detail their morphology, habitats, taxonomy, taste, and way of cooking. This was the first local flora of the Chinese edible mushrooms. Fungi used as medicines originated in ancient China. The earliest Chinese pharmacopoeia, *Shen-Nong Materia Medica* (Shen Nong Ben Cao Jing), was published in 102—200 A. D. Among the 365 medicines recorded, more than 10 fungi, such as *Poria cocos* and *Polyporus mylittae*, were included. Their fruitbody shape, color, taste, and medical functions were provided. The great pharmacist of Ming Dynasty, LI Shi-Zhen (1578) published his eminent work *Compendium Materia Medica* (Ben Cao Gang Mu) in which more than thirty fungal species were accepted as medicines, including *Aecidium mori*, *Cordyceps sinensis*, *Morchella* spp., *Termitomyces* sp., etc. Before the invention of microscope, he managed to bring fungi of different classes together, which demonstrated his intelligence and profound knowledge of biology.

After the 15th century, development of science and technology in China slowed down. From middle of the 18th century to the 1940's, foreign missionaries, tourists, scientists, diplomats, officers, and other professional workers visited China. They collected specimens of plants and fungi, carried out taxonomic studies, and published papers, exsiccatae, and monographs based on Chinese materials. The French missionary, P. M. Cibot, came to China in 1759 and stayed for 25 years to investigate plants including fungi in different regions of China. Many papers were written by him. *Lysurus mokusin*, identified with modern techniques and published in 1775, was probably the first Chinese fungal record by these visitors. Subsequently, around 27 man-times of foreigners attended field excursions in China, such as G. N. Potanin from Russia in 1876, P. Giralducci from Italy in 1890, H. Handel-Mazzetti from Austria in 1913, E. D. Merrill from the United States in 1916, and H. Smith from Sweden in 1921. Based on examinations of the Chinese collections obtained, 2040 species including 10 new genera and 361 new species were reported or described in 114 papers and books. Since 1894, especially after 1937, many Japanese entered China. They investigated the fungal resources and plant diseases, collected specimens, and published their identification results. According to incomplete information, some 6000 fungal names (with synonyms) including 17 new genera and 1130 new species appeared in 172 publications. The main workers were I. Miyake in the Northern China, M. Miura in the Northeast, K. Sawada in Taiwan, as well as K. Saito, S. Ito, N. Hiratsuka, W. Yamamoto, T. Hemmi, etc.

Research by Chinese mycologists started at the turn of the 20th century when plant diseases and fungal fermentation were emphasized with very little systematic work. Scientific papers or experimental reports were published in domestic and international journals during the 1910's to 1920's. The best-known are "Identification of the fungi" by H. H. Hu in 1915, "Plant disease report from Peking and the adjacent regions" by C. S. Chang in 1916, and papers by S. S. Chian (1918), C. L. Chou (1919), F. L. Tai (1920), Y. G. Li (1921), V. M. Chu (1924), Y. S. Sun (1925), T. F. Yu (1926), and N. S. Wei (1928). Mycologists who were active at the 1930's to 1940's are H. K. Chen, S. C. Teng, C. T. Wei, L. Ling, C. H. Chow, S. H. Ou,

S. F. Fang, Y. C. Wang, W. F. Chiu, and others. Some of them dedicated their lifetime to research and teaching in mycology. Prof. F. L. Tai (1893—1973) is one of them, whose representative works were “List of fungi from Jiangsu”(1927), “Notes on Chinese fungi”(1932—1946), *A List of Fungi Hitherto Known from China* (1936, 1937), *Sylloge Fungorum Sinicorum* (1979), *Morphology and Taxonomy of the Fungi* (1987), etc. His paper entitled “A new species of *Uncinula* on *Acer trifidum* Hook. & Arn.” was the first new species described by a Chinese mycologist. Prof. S. C. Teng (1902—1970) is also an eminent teacher. He published “Notes on fungi from Nanking” in 1932—1933, “Notes on Chinese fungi” in 1936—1938, *A Contribution to Our Knowledge of the Higher Fungi of China* in 1939, and *Fungi of China* in 1963 and 1996. Work done by the above-mentioned scholars lays a foundation for our current project on *Flora Fungorum Sinicorum*.

In 1973, an important meeting organized by the Chinese Academy of Sciences was held in Guangzhou (Canton) and a decision was made, uniting the related scientists from all over China to initiate the long term project “Fauna, Flora, and Cryptogamic Flora of China”. Work on *Flora Fungorum Sinicorum* thus started. Significant progress has been made in development of Chinese mycology since 1978. Many mycological institutions were founded in different areas of the country. The Mycological Society of China was established, the journals *Acta Mycological Sinica* and *Mycosystema* were published as well as local floras of the economically important fungi. A young generation in field of mycology grew up through postgraduate training programs in the graduate schools. The first volume of Chinese Mycoflora on the Erysiphales (edited by R. Y. Zheng & Y. N. Yu, 1987) appeared. Up to now, 14 volumes have been published: Tremellales and Dacrymycetales edited by B. Liu (1992), Polyporaceae by J. D. Zhao (1998), Meliolales Part I (Y. X. Hu, 1996), *Aspergillus* and its related teleomorphs (Z. T. Qi, 1997), Peronosporales (Y. N. Yu, 1998), Sclerotiniaceae and Geoglossaceae (W. Y. Zhuang, 1998), *Pseudocercospora* (X. J. Liu & Y. L. Guo, 1998), Uredinales Part I (Y. C. Wang & J. Y. Zhuang, 1998), Meliolales Part II (Y. X. Hu, 1999), Ustilaginaceae (L. Guo, 2000), Entomophthorales (Z. Z. Li, 2000), and Ganodermataceae (J. D. Zhao & X. Q. Zhang, 2000). We eagerly await the coming volumes and expect the completion of *Flora Fungorum Sinicorum* which will reflect the flourishing of Chinese culture.

Y. N. Yu and W. Y. Zhuang
Institute of Microbiology, CAS, Beijing
September 15, 2002

致 谢

本卷研编工作先后得到国家自然科学基金委员会、中国科学院、贵州省科学技术厅和赤天化股份有限公司经费的支持，在此一并表示谢意。

在完成本卷研编的时候，我们对下列单位和个人在标本、图书资料及照片借阅、引用或馈赠，提供标本采集和实验条件方面所给予的支持，以及在论文评阅中所付出的辛劳表示衷心的感谢：

中国科学院魏江春院士、庄文颖院士、白逢彦教授、戴玉成教授，云南大学张克勤教授，福建师范大学黄建忠教授，安徽农业大学李增智教授、黄勃教授，吉林农业大学李玉教授、图力古尔教授，厦门大学黄跃坚教授，福建林业科学院何学友博士，河南信阳农业高等专科学校陈利军博士，英国 Reading 大学 Roland T.V. Fox 博士。

同时还要感谢贵州大学刘爱英教授和真菌资源研究所研究生刘杰麟、焦彦朝、谌斌、郝玉有、朱振元、步岚、周礼红、雷邦星、肖建辉、李祝、李忠、邹晓、田雪莲、高永晶、赵丹、梅德强、姚婷、赵杰宏、李丰伯、文庭池、梁建东、胡海燕和杜文等。他们在标本和土样采集中都付出了不同程度的艰苦劳动，在对拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属资源的开发利用研究中也作出了贡献。应该说，本书的完成是大家支持的结果，是师生共同劳动的结晶。

目 录

序	
中国孢子植物志总序	
《中国真菌志》序	
致谢	
总论	1
一、分类历史	1
(一) 属的建立及发展	1
(二) 基于形态学特征的分类系统	2
(三) 基于分子系统学的分类变化	4
二、生物学特性、生理及遗传变异	8
(一) 菌落	8
(二) 分生孢子梗	9
(三) 瓶梗	9
(四) 分生孢子	9
(五) 生境及寄主	9
(六) 生理及遗传变异性	10
(七) 拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属的相近属	16
三、研究方法	18
(一) 经典分类	18
(二) DELTA 专家分类系统	20
(三) 分子系统学	27
四、经济重要性	31
(一) 生物活性物质及其功能	32
(二) 功能食品研究开发	39
(三) 环境问题与环境保护	41
(四) 微生物农药	44
(五) 其他	47
五、常见种的人工培养	48
(一) 蛹草拟青霉	48
(二) 古尼拟青霉	54
(三) 细脚棒束孢	56
(四) 蝉棒束孢	60
(五) 玫烟色棒束孢	61
(六) 叉戴氏霉	63

各论	67
一、拟青霉属	67
(一) 概述	67
(二) 种的描述	69
暗绿拟青霉 <i>Paecilomyces atrovirens</i> Z.Q. Liang & A.Y. Liu	69
肉色拟青霉 <i>Paecilomyces carneus</i> (Duché & R. Heim) A.H.S. Br. & G. Sm.	70
棒孢拟青霉 <i>Paecilomyces clavisporus</i> Hammill	71
柱孢拟青霉 <i>Paecilomyces cylindricosporus</i> Z.Q. Liang & Y.F. Han	72
灰绿拟青霉 <i>Paecilomyces griseoviridis</i> M.X. Dai	73
古尼拟青霉 <i>Paecilomyces gunnii</i> Z.Q. Liang	74
有性型：古尼虫草 <i>Cordyceps gunnii</i> (Berk.) Berk.	75
花溪拟青霉 <i>Paecilomyces huaxiensis</i> Z.Q. Liang & Y.F. Han	75
淡紫拟青霉 <i>Paecilomyces lilacinus</i> (Thom) Samson	76
娄山拟青霉 <i>Paecilomyces loushanensis</i> Z.Q. Liang & A.Y. Liu	78
有性型：娄山虫草 <i>Cordyceps loushanensis</i> Z.Q. Liang & A.Y. Liu	78
马昆德拟青霉 <i>Paecilomyces marquandii</i> (Masse) S. Hughes	79
蛹草拟青霉 <i>Paecilomyces militaris</i> Z.Q. Liang	80
有性型：蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i> (L.) Link	81
雪白拟青霉 <i>Paecilomyces niveus</i> Stolk & Samson	83
念珠藻状拟青霉 <i>Paecilomyces nostocoides</i> M.T. Dunn	84
蜻蜓拟青霉 <i>Paecilomyces odonatae</i> Z. Y. Liu, Z.Q. Liang & A.Y. Liu	85
小孢拟青霉 <i>Paecilomyces parvosporus</i> Y.F. Han & Z.Q. Liang	86
彭氏拟青霉 <i>Paecilomyces puntonii</i> (Vuill.) Nann.	87
紫拟青霉 <i>Paecilomyces purpureus</i> Z.Q. Liang & Y.F. Han	88
少枝拟青霉 <i>Paecilomyces rariramus</i> Z.Q. Liang & B. Wang	91
具柄拟青霉 <i>Paecilomyces stipitatus</i> Z.Q. Liang & Y.F. Han	91
撑拟青霉 <i>Paecilomyces suffultus</i> (Petch) Samson	93
纤姿拟青霉 <i>Paecilomyces tenuis</i> Y.F. Han & Z.Q. Liang	94
宛氏拟青霉 <i>Paecilomyces variotii</i> Bainier	95
轮生拟青霉 <i>Paecilomyces verticillatus</i> Z.Q. Liang, Z. Li & Y.F. Han	96
酒红拟青霉 <i>Paecilomyces vinaceus</i> Y.F. Han & Z.Q. Liang	97
(三) 未观察的种	98
依丝霉拟青霉 <i>Paecilomyces byssochlamydioides</i> Stolk & Samson	98
古尼拟青霉小孢变种 <i>Paecilomyces gunnii</i> var. <i>minor</i> Z.Z. Li, C.R. Li, B. Huang, M.Z. Fan & M.W. Lee	99
中国拟青霉 <i>Paecilomyces sinensis</i> Q.T. Chen, S.R. Xiao & Z.Y. Shi	100
蝙蝠蛾拟青霉 <i>Paecilomyces hepiali</i> Q.T. Chen & R.Q. Dai	101
(四) 近缘属种的描述	101
丽马利亚霉鲜红变种 <i>Mariannaea elegans</i> var. <i>punicea</i> Samson	101
高山弯颈霉 <i>Tolypocladium nubicola</i> Bissett	102

二、棒束孢属	103
(一) 概述	103
(二) 种的描述	105
鲜红棒束孢 <i>Isaria amoene-rosea</i> Henn	105
环链棒束孢 <i>Isaria cateniannulata</i> (Z. Q. Liang) Samson & Hywel-Jones	106
斜链棒束孢 <i>Isaria cateniobliqua</i> (Z. Q. Liang) Samson & Hywel-Jones	107
蝉棒束孢 <i>Isaria cicadae</i> Miq.	108
有性型：大蝉草 <i>Cordyceps cicadae</i> Shing	109
粉质棒束孢 <i>Isaria farinosa</i> (Holmsk.) Fr.	110
玫烟色棒束孢 <i>Isaria fumosorosea</i> Wize	111
玫烟色棒束孢北京变种 <i>Isaria fumosorosea</i> var. <i>beijingensis</i> (Q.X. Fang & Q.T. Chen) Z.Q. Liang & Y.F. Han	112
爪哇棒束孢 <i>Isaria javanica</i> (Frieder. & Bally) Samson & Hywel-Jones	113
有性型：金龟子虫草 <i>Cordyceps scarabaeicola</i> Kobayasi	114
蝗生棒束孢 <i>Isaria locusticola</i> Z.Q. Liang, X.Y. He & Y.F. Han	114
细脚棒束孢 <i>Isaria tenuipes</i> Peck	116
有性型：高雄山虫草 <i>Cordyceps takaomontana</i> Yakush. & Kumaz.	117
炭角棒束孢 <i>Isaria xylariiformis</i> Lloyd	118
三、戴氏霉属	119
(一) 概述	119
(二) 种的描述	122
小槃戴氏霉 <i>Taifanglania berberis</i> Y.F. Han & Z.Q. Liang	122
双型戴氏霉 <i>Taifanglania biformis</i> (Z. Q. Liang, H. L. Chu & Y. F. Han) Z.Q. Liang, Y.F. Han & H.L. Chu	122
灰戴氏霉 <i>Taifanglania cinerea</i> (Z. Q. Liang, H. L. Chu & Y. F. Han) Z.Q. Liang, Y.F. Han & H.L. Chu	124
短链戴氏霉 <i>Taifanglania curticatenata</i> (Z. Q. Liang, & Y. F. Han) Z.Q. Liang, Y.F. Han & H.L. Chu	125
叉戴氏霉 <i>Taifanglania furcata</i> (Z. Q. Liang, H. L. Chu & Y. F. Han) Z.Q. Liang, Y.F. Han & H.L. Chu	126
合川戴氏霉 <i>Taifanglania hechuanensis</i> Z.Q. Liang, Y.F. Han, H.L. Chu & R.T.V. Fox	127
江苏戴氏霉 <i>Taifanglania jiangsuensis</i> Y.F. Han & Z.Q. Liang	128
大孢戴氏霉 <i>Taifanglania major</i> (Z. Q. Liang, H. L. Chu & Y. F. Han) Z.Q. Liang, Y.F. Han & H.L. Chu	129
参考文献	131
菌物汉名索引	146
菌物学名索引	149
后记	152
图版	

总 论

一、分类历史

(一) 属的建立及发展

按现代分类学的观点, 拟青霉属 *Paecilomyces* Bainier 是一类有丝分裂产孢真菌 (mitosporic fungi) 或无性型真菌 (anamorphic fungi) 的形式属 (Kirk et al., 2001)。Obornik 等 (2001) 和 Luangsa-ard 等 (2004; 2005) 对拟青霉的分子系统学研究揭示, 拟青霉交叉地多源发生于粪壳菌亚纲 Sordariomycetidae 和散囊菌亚纲 Eurotiomycetidae。传统意义上的拟青霉, 实际上是一个广义的拟青霉属 *Paecilomyces sensu lato*。在科学研究和生产实践中, 基于产孢结构等形态特征而进行拟青霉的分类鉴定仍然有十分重要的意义; 和其他无性型真菌一样, 广义拟青霉属成员的名称和文献资料也仍被国际上广泛使用。

拟青霉属是 Bainier 于 1907 年, 以宛氏拟青霉 *Paecilomyces variotii* Bainier 为模式种而建立。他的主要描述是: 菌落一般黄色至黄褐色, 分生孢子梗帚形。在原图上有典型的瓶梗形状, 但在描述时却忽略了这一很重要的鉴别特征。此属和曲霉属 *Aspergillus* Link、青霉属 *Penicillium* Fr.、帚霉属 *Scopulariopsis* Bainier 以及粘帚霉属 *Gliocladium* Corda 等相近。

随后, Thom (1930)、Petch (1933~1944 年)、Raper 和 Thom (1949)、Hughes (1951) 以及 Brown 和 Smith (1957) 等做了很多与此属相关的工作。

Brown 和 Smith (1957) 在他们的专著中提出不使用穗霉属 *Spicaria* Harting 这个概念含混的属名。他们将穗霉属、青霉属和棒束孢属 *Isaria* Pers. 中的很多种都移入了拟青霉属中, 并对其加以详细描述、讨论并承认了 23 个种。

Onions 和 Barron (1967) 把一些缺乏分生孢子梗, 瓶梗单个或 2~3 个着生于气生菌丝上的 10 个种, 归入了拟青霉属中, 作为一个单瓶梗组 (monophialidic series), 从而扩大了拟青霉属的概念。遗憾的是, 他们在将这些真菌转入拟青霉属时, 却忽视了拟青霉属的一个最基本的鉴别特征——瓶梗基部膨大, 向上突然变细成为细长的颈部, 把不少瓶梗仅呈锥形的种放在了这个组中。

Gams (1971a) 在深入研究顶头孢属 *Acremonium* Link 时, 将 Onions 和 Barron (1967) 提出的单瓶梗组中的绝大多数种都移入了顶头孢属中, 仅将其中一个瓶梗基部球形、拟椭圆形或柱状膨大, 同时具有简单分生孢子梗的膨大拟青霉 *Paecilomyces inflatus* (Burnside) J.W. Carmich. 留在拟青霉属中。

Subramanian (1972) 将拟青霉属中少数种移出, 和墙粘鞭霉 *Gliomastix murorum* (Corda) S. Hughes 一起建立了一个新属——*Sagrahamala* Subram.

Kish 等(1974)将与拟青霉关系密切的莱氏穗霉 *Spicaria rileyi* (Farl.) Charles 重新移入野村菌属 *Nomuraea* Maubl.。

Samson 和 Tariq(1970)将褐色、分生孢子梗具疣、瓶梗侧生再育和分生孢子梭形的梭孢拟青霉 *Paecilomyces fusisporus* S.B. Saksena 移入端梗孢属 *Acrophialophora* Edward。继后，他建立了后来被广泛使用的、基于形态学特征的拟青霉分类系统 (Samson, 1974)。

Obornik 等(2001)和 Luangsa-ard 等(2004; 2005)基于分子系统学的原理和方法，揭示了拟青霉属交叉地多源发生于粪壳菌亚纲 Sordariomycetidae 和散囊菌亚纲 Eurotiomycetidae，传统的拟青霉属的分类系统现已发生了较大的变化。

(二) 基于形态学特征的分类系统

Samson(1974)在系统观察研究了前人获得的标本、活体培养物和查阅了大量文献的基础上，对拟青霉属做了全面系统的研究并出版了专著——*Paecilomyces and Some Allied Hyphomycetes*。同时将丽拟青霉 *Paecilomyces elegans* (Corda) E.W. Mason & S. Hughes 转属至马利亚霉属 *Mariannaea* G. Arnaud ex Samson 中，命名为丽马利亚霉丽变种 *Mariannaea elegans* var. *elegans* (Corda) Samson。在这部专论中，对原先属于棒束孢属、穗霉属、轮枝孢属 *Verticillium* Nees & Wallr.、青霉属和枝梗柱孢霉属 *Cylindrodendrum* Bonord. 等属中的 9 个种进行了新组合；同时描述报道了 6 个新种并重新描述了 16 个已知种，共承认和详细描述了 31 种，并将它们分为两个组。

1A: 拟青霉组(Sect. *Paecilomyces*): 菌落黄褐色至褐色，常产生子囊孢子；嗜热或耐热种，可产生芳香气味。有性型：依丝霉 *Byssoschlamys* Westling、蓝状菌 *Talaromyces* C.R. Benj.和嗜热子囊菌 *Thermoascus* Miehe 等。

1B: 拟棒束霉组(Sect. *Isarioidiea*): 菌落白色或呈其他亮色调；不易形成子囊孢子；中温，大多虫生。有性型：一些种与虫草属 *Torrubiella* Boud.或虫草属 *Cordyceps* (Fr.) Link 有关。

拟青霉及其相关属的表型特征检索表(Samson, 1974)

- 1a 瓶梗锥形，大多单生，着生于未分化的菌丝上 *Acremonium*
- 1b 瓶梗着生于不规则分枝的分生孢子梗上或在孢子梗上形成轮生体 2
 - 2a 瓶梗锥形或纤细的瓶状 3
 - 2b 瓶梗基部膨大，瓶状或柱状 9
- 3a 分生孢子梗具有规则的轮状或帚状分枝和(或)瓶梗 4
- 3b 分生孢子梗的分枝不规则，常隔下着生，瓶梗单生或在匍匐菌丝上形成轮生体 6
 - 4a 分生孢子梗刷状，轮生体紧密，叠瓦状排列的孢子链聚集成柱状或头状 *Gliocladium*
 - 4b 分生孢子梗轮状分枝，瓶梗轮生体离散 5
- 5a 分生孢子形成叠瓦状排列的链或向下黏成团，瓶梗为纤细的瓶状 *Mariannaea*
- 5b 分生孢子黏成头状，瓶梗锥形 *Verticillium* s.str.
 - 6a 瓶梗单生，或于匍匐、简单的气生菌丝上形成轮生体 *Verticillium* s. *Prostrata*

6b	瓶梗着生于直立、隔下分枝的分生孢子梗	7
7a	瓶梗壁薄, 分生孢子梗分隔, 不规则分枝, 菌落白色, 生长快	<i>Gabarnandia</i>
7b	无上述特征	8
8a	瓶梗形成轮生体, 壁厚, 常粗糙或有纹饰, 菌落白色至淡褐色, 生长慢; 分生孢子形成链, 柱状或纺锤状	<i>Septofusidium</i>
8b	大多数瓶梗着生于不规则的分生孢子梗上, 菌落色调多样, 生长慢或快; 孢子形状多样, 黏结成头状	<i>Acremonium s. Nectrioidea</i>
9a	具侧生瓶梗	<i>Sesquicillium</i>
9b	无侧生瓶梗	10
10a	瓶梗基部或多或少膨大, 向上突然变细成一长颈	11
10b	瓶梗瓶状, 颈短或具有不同形状	13
11a	分生孢子链状	<i>Paecilomyces</i>
11b	分生孢子黏成头状	12
12a	分生孢子大多弯曲, 寄生线虫	<i>Harposporium</i>
12b	分生孢子球形或柱状, 腐生或虫生	<i>Tolypocladium</i>
13a	分生孢子梗形成分生孢子座或孢梗束	14
13b	分生孢子梗无上述特征, 若形成孢梗束, 瓶梗轮生, 不呈子实层状	17
14a	分生孢子链聚集成柱	15
14b	分生孢子链或多或少离散	16
15a	分生孢子椭圆至柱状, 腐生或虫生	<i>Metarrhizium</i>
15b	分生孢子非椭圆形, 具黏液层, 腐生	<i>Phialotubus</i>
16a	具分生孢子座, 非虫生	<i>Nalanthamala</i>
16b	具孢梗束, 瓶梗子实层状着生, 虫生	<i>Akanthomyces</i>
17a	分生孢子梗帚状分枝	<i>Penicillium</i>
17b	分生孢子梗非帚状, 而具轮状或不规则分枝	18
18a	菌丝具黑色瘤, 具有分生孢子梗	<i>Acrophialophora</i>
18b	菌丝黑色具瘤, 无分生孢子梗	19
19a	分生孢子梗较长, 分枝, 瓶梗于隔膜处呈密集轮生体, 颈部短	<i>Nomuraea</i>
19b	无上述特征	20
20a	分生孢子梗粗, 瓶梗直接着生于不规则的分枝上, 基部多少膨大或柱状	<i>Phialocladus</i>
20b	分生孢子梗细, 2~4 μ m 宽; 瓶梗着生于不规则或轮状分枝的孢子梗上, 较离散, 有时单生	<i>Paecilomyces</i>

从 20 世纪 80 年代至今, 国内外分别报道了一些新种。我们从 80 年代初开始, 先后在我国发现报道了一批虫生和土生拟青霉、棒束孢和戴氏霉新种(表 1)。这些资料充分表明我国真菌物种资源十分丰富。

表 1 贵州大学真菌资源研究所历年来发表报道的拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属新种

中文名称	拉丁学名	参考文献
1 环链棒束孢 = 环链拟青霉	<i>Isaria cateniannulata</i> = <i>P. cateniannulatus</i>	Luangsa-ard et al., 2005 梁宗琦, 1981a
2 斜链棒束孢 = 斜链拟青霉	<i>I. cateniobliqua</i> = <i>P. cateniobliquus</i>	Luangsa-ard et al., 2005 梁宗琦, 1981a
3 古尼拟青霉	<i>P. gunnii</i>	梁宗琦, 1985
4 暗绿拟青霉	<i>P. atrovirens</i>	梁宗琦等, 1993
5 蜻蜓拟青霉	<i>P. odonatae</i>	Liu et al., 1996
6 娄山拟青霉	<i>P. loushanensis</i>	梁宗琦等, 1997
7 少枝拟青霉	<i>P. rariramus</i>	Liang et al., 2003
8 大孢戴氏霉 = 膨大拟青霉大孢变种	<i>T. major</i> = <i>P. inflatus</i> var. <i>major</i>	Liang et al., 2009 初华丽等, 2004
9 柱孢拟青霉	<i>P. cylindricosporus</i>	Liang et al., 2005
10 花溪拟青霉	<i>P. huaxiensis</i>	Han et al., 2005a
11 具柄拟青霉	<i>P. stipitatus</i>	Han et al., 2005b
12 紫红拟青霉	<i>P. vinaceus</i>	Han et al., 2005b
13 叉戴氏霉 = 杈拟青霉	<i>T. furcata</i> = <i>P. furcatus</i>	Liang et al., 2009 Liang et al., 2006
14 灰戴氏霉 = 灰拟青霉	<i>T. cinerea</i> = <i>P. cinereus</i>	Liang et al., 2009 Liang et al., 2006
15 小孢拟青霉	<i>P. parvisporus</i>	Han et al., 2005c
16 轮生拟青霉	<i>P. verticillatus</i>	Li et al., 2006
17 短链戴氏霉 = 短链拟青霉	<i>T. curticatadata</i> = <i>P. curticatatenatus</i>	Liang et al., 2009 韩燕峰等, 2007b
18 紫拟青霉	<i>P. purpureus</i>	Liang et al., 2007a
19 双型戴氏霉 = 双型拟青霉	<i>T. biformis</i> = <i>P. biformis</i>	Liang et al., 2009 Liang et al., 2007b
20 纤姿拟青霉	<i>P. tenuis</i>	Han et al., 2007
21 蝗生棒束孢	<i>I. locusticola</i>	Liang et al., 2008
22 合川戴氏霉	<i>T. hechuanensis</i>	Liang et al., 2009

(三) 基于分子系统学的分类变化

分子生物学技术在真菌系统学和分类学中的使用增加, 使一些种属间的系统发育关系进一步地明确和接近自然。RAPD、RFLP、AFLP 以及 rDNA 序列测定用于绿僵菌属 *Metarhizium* Sorokín、白僵菌属 *Beauveria* Vuill.、球囊霉属 *Ascospaera* L.S. Olive & Spiltoir、虫草属 *Cordyceps* (Fr.) Link 和虫霉目 Entomophthorales 等虫生真菌的分子系统学研究已取得长足进展。其中对绿僵菌的分类学和系统学的研究不仅明确了一些疑难种的分类地位, 而且明确了该属的系统发育关系(Driver et al., 2000)。从 20 世纪 90 年代至 21 世纪, 分子生物学的理论和技术已用于拟青霉的遗传多样性分析(Tigano-Milani et al.,

1995b; Vidal et al., 1997; Kang et al., 2000; 黄勃等, 2001; 李美娜等, 2003; Gauthier et al., 2007)、种的分子鉴定和系统发育研究(Fukatsu et al., 1997; Hiroki and Hiroshi, 1997; Liu et al., 2001a; 2001b; 2001c; 2002; Obornik et al., 2001; 黄勃等, 2002a; Luangsa-ard et al., 2004; 2005; Han et al., 2005a; 2005b, 2005c; Inglis and Tigano, 2006; Liang et al., 2006)。其中, Luangsa-ard 等工作具有代表性, 他们通过 18S rDNA 的系统发育分析表明, 拟青霉属交叉地多源发生于粪壳菌亚纲 Sordariomycetidae 和散囊菌亚纲 Eurotiomycetidae。模式种宛氏拟青霉及其嗜热的近缘种属于散囊菌目 Eurotiales, 发菌科 Trichocomaceae, 而与粉质拟青霉 *Paecilomyces farinosus* (Holmsk.) A.H.S. Br. & G. Sm. 相关的嗜中温种则属于肉座菌目 Hypocreales, 麦角菌科 Clavicipitaceae 和肉座菌科 Hypocreaceae。膨大拟青霉 *Paecilomyces inflatus* (Burnside) J.W. Carmich. 与粪壳菌目 Sordariales 有亲缘关系 (Luangsa-ard et al., 2004)。在散囊菌目中的拟青霉是单源发生的(图 1)。继后, 他们用 β -微管蛋白基因和 ITS rDNA 序列做进一步研究表明, 肉座菌目中的种不是一个自然分类群, 也是多源发生的 (Luangsa-ard et al., 2005)。一些常见寄生昆虫的拟青霉, 如鲜红拟青霉 *Paecilomyces amoene-roseus* (Henn.) Samson、环链拟青霉 *Paecilomyces cateniannulatus* Z.Q. Liang、斜链拟青霉 *Paecilomyces cateniobliquus* Z.Q. Liang、蝉拟青霉 *Paecilomyces cicadae* (Miq.) Samson、甲虫拟青霉 *Paecilomyces coleopterorum* Samson & H.C. Evans、粉质拟青霉、玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) A.H.S. Br. & G. Sm.、加纳拟青霉 *Paecilomyces ghanensis* Samson & H.C. Evans、爪哇拟青霉 *Paecilomyces javanicus* (Friedrichs & Bally) A.H.S. Br. & G. Sm. 和细脚拟青霉 10 个种, 则单独聚集在一个进化分支中(图 2), 他们将这 10 个种移入了棒束孢属中, 分别更名为鲜红棒束孢 *Isaria amoene-rosea* P. Henn.、环链棒束孢 *Isaria cateniannulata* (Z.Q. Liang) Samson & Hywel-Jones、斜链棒束孢 *Isaria cateniobliqua* (Z.Q. Liang) Samson & Hywel-Jones、蝉棒束孢 *Isaria cicadae* Miq.、甲虫棒束孢 *Isaria coleopterora* (Samson & H. C. Evans) Samson & Hywel-Jones、粉质棒束孢 *Isaria farinosa* (Holmsk.) Fr.、玫烟色棒束孢 *Isaria fumosorosea* Wize、加纳棒束孢 *Isaria ghanensis* (Samson & H. C. Evans) Samson & Hywel-Jones、爪哇棒束孢 *Isaria javanica* (Frieder. & Bally) Samson & Hywel-Jones 和细脚棒束孢 *Isaria tenuipes* Peck。其中, 不少种的有性型为虫草。

用分离自我国的虫生和土生拟青霉做分子系统学分析, 也得到了和 Luangsa-ard 等类似的结果(图 2)。一些有性型为虫草的虫生拟青霉聚在进化分支 I 中, 而肉座菌目中的另一群(分支 II)则包含了淡紫拟青霉 *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson、念珠状拟青霉 *Paecilomyces nostocoides* M.T. Dunn、绿色拟青霉 *Paecilomyces viridis* Segretain, Fromentin, Destombes, Brygoo & Dodin、肉色拟青霉 *Paecilomyces carneus* (Duché & R. Heim) A.H.S. Br. & G. Sm.、马昆德拟青霉 *Paecilomyces marquandii* (Masse) S. Hughes、肾形拟青霉 *Paecilomyces reniformis* Samson & H.C. Evans、青霉状拟青霉 *Paecilomyces penicillatus* (Höhn.) Samson、*P. niphedodes* Samson 和轮生拟青霉 *Paecilomyces verticillatus* Z.Q. Liang, Zhu Li & Y.F. Han。同时还包含一个新从贵州发现分离的虫生拟青霉新种, 紫拟青霉 *Paecilomyces purpureus* Z.Q. Liang & Y.F. Han。通过系统树分析还可以看出, 中温(分支 I, II)和耐热或嗜热组(分支 III, IV)可明显区分开。虽然 Luangsa-ard 等(2004)基于 18S rRNA 序列的分析已观察到, 膨大拟青霉与粪壳菌目亲缘较近, 但由于只有一个种而无定论。

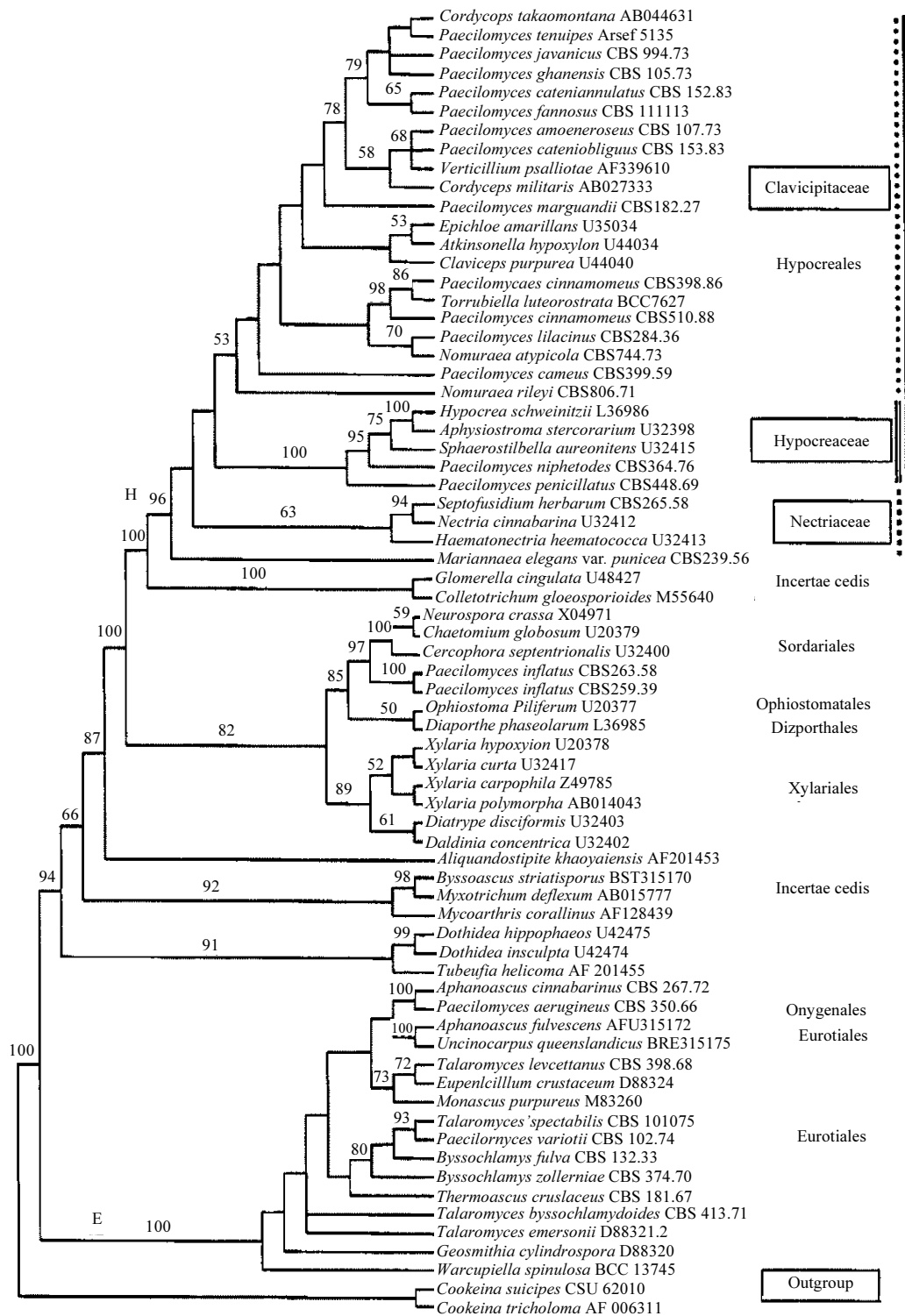


图 1 基于所选无性型和子囊菌有性型属 18S rDNA 序列的拟青霉种间系统发育关系

(引自 Luangsa-ard et al., 2004)

进化树用 PAUP* 4b10 构建, 自检数为 1000, 自检值小于 50 未显示

H: 肉座菌目 Hypocreales; E: 散囊菌目 Eurotiales

我们用新分离到的一批单瓶梗菌株参与分子系统分析，从系统发育树图上可以看出，这些单瓶梗种能较好地聚在一起，与粪壳菌目有密切亲缘关系。结合 DNA 序列分析和表型特征，我们将拟青霉属中的单瓶梗种在粪壳菌目中独立建立了一个新属。为纪念我国著名的真菌学家戴芳澜教授，我们命名它为戴氏霉 *Taifanglania* Z.Q. Liang, Y.F. Han, H.L. Chu & R.T.V. Fox(Liang et al., 2009)。

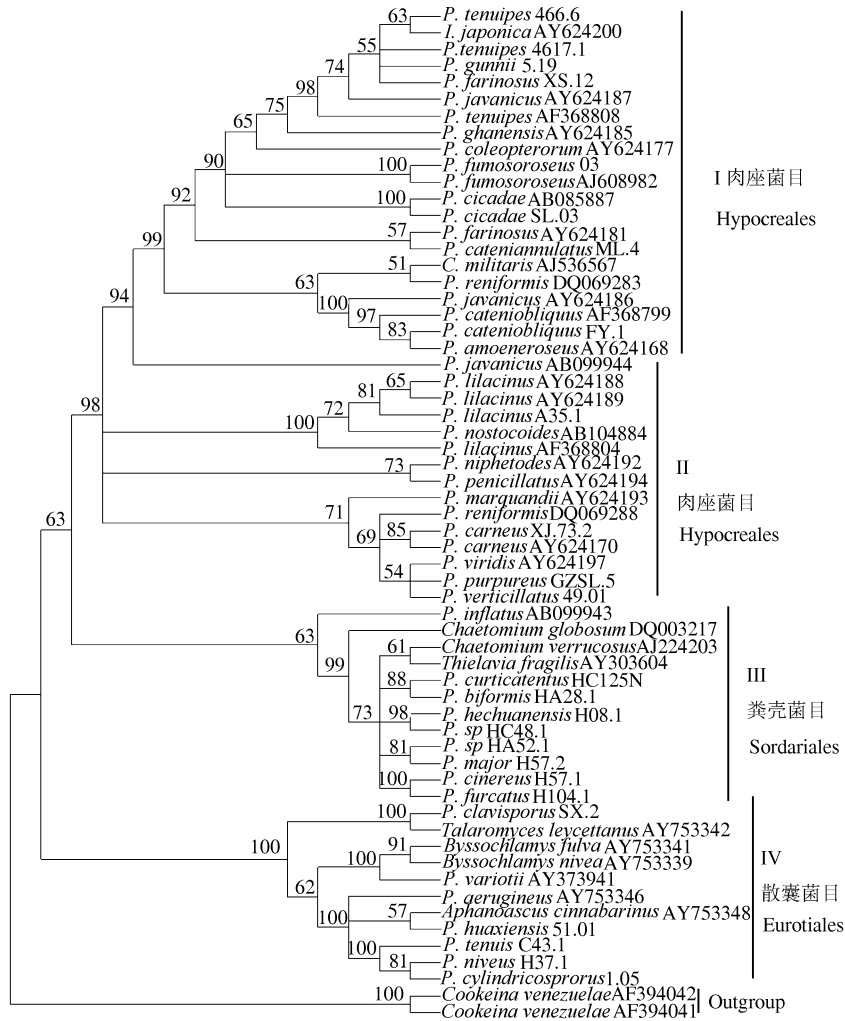


图 2 基于 61 株拟青霉(广义)和相关菌株的 ITS1-5.8S-ITS2rDNA 序列，采用 Mega3.1 软件邻接法构建的系统发育树。分支上的数据为自展支持率

正如 Luangsa-ard 等(2005)基于 β -微管蛋白基因和 ITS 序列分析表明的那样，在肉座菌目中的虫生拟青霉是多源发生的。但除属于棒束孢属的 10 个寄生昆虫的种之外，尚有一些虫生的拟青霉，如撑拟青霉 *Paecilomyces suffultus* (Petch) Samson、马昆德拟青霉、淡紫拟青霉、古尼拟青霉 *Paecilomyces gunnii* Z.Q. Liang (梁宗琦, 1985)、暗绿拟青霉 *Paecilomyces atrovirens* Z.Q. Liang & A.Y. Liu(梁宗琦等, 1993)、蜻蜓拟青霉 *Paecilomyces odonatae* Zuo Y. Liu, Z.Q. Liang & A.Y. Liu(刘作易等, 1996)、灰绿拟青霉 *Paecilomyces*

griseoviridis M.X. Dai (戴美学, 1998)、紫拟青霉(Liang et al., 2007a)和蛹草拟青霉 *Paecilomyces militaris* Z.Q. Liang (梁宗琦, 2001) 等不能归入棒束孢这个进化分支中。在 ITS 系统分析中, 蛹虫草虽聚在棒束孢分支组中, 表明它和棒束孢之间有相近的关系。但最近 Gams 和 Zare(2001)把蛹虫草的无性型放在了蚺霉属 *Lecanicillium* W. Gams & Zare 中, Luangsa-ard 等(2005)划定的棒束孢属中则未包含这个种。

这样, 在传统的拟青霉属中, 现在实际上就包含了属于散囊菌目的拟青霉属、肉座菌目中的棒束孢属和粪壳菌目中的戴氏霉属三个明确的属, 以及一些亲缘关系未定, 而仍属拟青霉属的其他分类单元。而现在保留的拟青霉属仍然是多源发生的, 广义的。

二、生物学特性、生理及遗传变异

此属的属征和包含的成员有较大变化, 不同的分类学者曾给予了不同的界定和描述。但从实用和方便出发, 以及棒束孢属和戴氏霉属在形态特征上与拟青霉属具有的较大相似性, 目前还会有一些研究和开发者采用 Brown 和 Smith(1957)及 Samson(1974)提出的表型特征标准对这些真菌进行描述和鉴定。

拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属它们共有的特征是: 在人工培养基上, 菌落生长良好, 白色、淡黄色、肉色、淡红色、紫色或褐色, 偶有绿色。菌丝透明至淡黄色, 分隔, 一般壁光滑。分生孢子梗散生或形成孢梗束, 大多由轮状或不规则的分枝组成, 其顶部着生由瓶梗组成的轮生体或直接单生于营养菌丝上。瓶梗由柱状或基部膨大和突然向上变细长的颈部组成, 少数也可呈逐渐变细的锥形。分生孢子干燥, 常形成离散或呈环状的链, 单孢(偶有双孢), 透明或淡色, 壁光滑或微粗糙, 形状多样, 一般椭圆形、柱形、拟卵形、梭形或近球形。厚垣孢子有或无, 通常壁厚, 单生或呈短链, 壁光滑或微粗糙。

(一) 菌 落

无论是在查氏、马铃薯葡萄糖培养基或沙氏培养基上, 大多数拟青霉都生长良好。一般为毡状、粉状、绒毛状、丛毛状、絮状或者蛛网状, 有时也产生绳索状的菌丝索, 一些虫生的种常形成真正的孢梗束。

拟青霉属真菌的颜色多种多样, 大多数种为白色、灰白色、浅黄色、黄色和淡紫色等明亮的色调; 但也有紫色、褐色和绿色。绿色的种比较少, 如暗绿拟青霉、灰绿拟青霉、菜色拟青霉 *Paecilomyces leycettanus* (H.C. Evans & Stolk) Stolk, Samson & H.C. Evans、肾形拟青霉、维多利亚拟青霉 *Paecilomyces victoriae* (Svilv.) A.H.S. Br. & G. Sm. 和绿色拟青霉等几个种。最常见紫色的拟青霉有淡紫拟青霉、马昆德拟青霉和念珠藻状拟青霉等。

菌落背面的颜色变化也很大, 一般是白色、浅黄色或褐色; 一些种则会形成特殊鲜明的色调, 这有一定鉴别意义。

在人工连续传代后, 菌株特有的颜色常会消失。

不同拟青霉种的菌落表面可有皱纹、辐射沟纹、同心环带等不同表面特征。

(二) 分生孢子梗

分生孢子梗一般都形成于气生菌丝或菌丝索上，有时也聚集成典型的孢梗束。孢梗束有无，一般不能作为分类的依据，因为随着环境及营养的改变，孢梗束的产生会受到影响。例如，虫生的种，一般会在虫体上产生孢梗束，但在实验室继代培养后，孢梗束的形成则会丧失。腐生的种一般不形成孢梗束。

分生孢子梗的长度变化很大，但一般很少超出 500 μm ，分隔。分生孢子梗一般光滑，少数种基部粗糙，如淡紫拟青霉。戴氏霉一般无分生孢子梗，瓶梗直接着生于菌丝上。

(三) 瓶 梗

瓶梗形状是本属分类鉴定的重要鉴别特征。它们一般基部柱状、椭圆形、梭形或近球形膨大，向上逐渐或突然地向上变成一细长管状，并常常偏离瓶梗的主轴。

在拟青霉属的一些种中，瓶梗可同时出现典型的类型，也可能出现少数基部无明显膨大，向上逐渐变细的锥形瓶梗。

(四) 分 生 孢 子

拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属的分生孢子都是瓶梗孢子，单胞，在光学显微镜下透明。大量孢子存在时，可呈灰白色、褐色或绿色。分生孢子一般表面光滑，少数微粗糙，如古尼拟青霉和肉色拟青霉。

分生孢子一般拟卵形、椭圆形或柱状，也有一些种近球形。分生孢子大多聚集成簇而离散、干燥、直的长链，也可形成叠瓦状环形的链，或者在分生孢子链顶端聚集成头，如蛹草拟青霉。

分生孢子的大小对一个种来说是相对稳定的，但在不同种中差别较大。

在拟青霉属的一些种中可形成顶生或侧生的、大的厚壁或薄壁大孢子(macrospore)，如宛氏拟青霉。大孢子一般为近球形至梨形。

在实际工作中，仅凭一个或两个特征难以正确鉴别一个种，一般都要用不同方法和多个特征进行综合鉴定。目前，分类学研究更多地已从传统的单一表型特征分类，进而改为采用表型、遗传型和系统发育的多种数据和信息进行综合的多相分类(polyphasic taxonomy)。分子系统学的原理及方法的使用，已成为多相分类鉴定中一个十分重要的方面(黄勃等, 2002a; Han et al., 2005a; 2005b; 2005c; Liang et al., 2006)。

(五) 生境及寄主

生境和寄主不仅在一定范围内可作为拟青霉及其相似属、种间的分类鉴定，而且它们对资源的收集有导向作用，对资源的开发利用也有重要参考价值。

根据目前研究报道，拟青霉属和棒束孢属中的不少种具有世界分布，其重要性在于引起多种有机物的败坏，是人类的机会致病菌，引起昆虫的流行性疾病，同时也能产生

多种备受关注的生物活性物质。目前尚未见引起植物病害的报道。

一些耐热或嗜热的拟青霉，如淡黄拟青霉 *Paecilomyces fulvus* Stolk & E.S. Salmon 和宛氏拟青霉在食品中常引起水果罐头、发酵饮料及果汁的败坏，宛氏拟青霉在奶油中也普遍存在。其他在坚果、鸡蛋面包和豆制品上也发现有拟青霉存在。

在木材、纸张、图书、纺织品原料(如棉纱和黄麻)以及皮革上皆可发现宛氏拟青霉。这种真菌是引起上述物品变色、变质的罪魁祸首。有人报道宛氏拟青霉也能在塑料上生长。此外，一些拟青霉和戴氏霉还可从蔬菜、枯枝落叶、烟草、马粪和土壤中分离到。Thom 和 Raper(1932)从一种作物生长的含砷沙土中分离到一株拟青霉。此菌能在含砷平板中生长并释放出有毒的含砷气体。有人提出可用此菌建立一个检测物品中是否含有微量砷化物的生物学方法。

有 30 种以上的拟青霉和棒束孢能寄生昆虫，其中最常见的是粉质棒束孢、细脚棒束孢、环链棒束孢和玫烟色棒束孢。它们主要都寄生一些鳞翅目的刺蛾、尺蛾、卷叶蛾和夜蛾等害虫。此外鞘翅目、双翅目和蜻蜓目的少数昆虫也能被寄生。几种菌落带紫色的拟青霉如淡紫拟青霉、马昆德拟青霉和念珠藻状拟青霉则主要寄生线虫。

拟青霉属中的宛氏拟青霉和淡紫拟青霉少数几个种对人畜有微弱致病性。

(六) 生理及遗传变异性

在拟青霉属、棒束孢属和戴氏霉属中，涉及生理及遗传变异研究的内容主要是一些与害虫生物防治和食用、药用密切相关的种。

温度、湿度对生长的影响。Vidal 等(1997)研究观察到，不同温度地区来源的玫烟色棒束孢其最适生长温度是不同的。大多数来源于欧洲的菌株(温带气候)，其生长温度为 8~30℃，最适温度为 20~25℃。来自美国南部(潮湿和干燥的亚热带气候)和西亚(潮湿的热带气候)的菌株，生长温度较广(8~35℃)，其最适温为 25~28℃。印度(季风气候)分离的株耐高温(32℃和 35℃)。Hallsworth 和 Magan(1999)研究评估了温度(5~50℃)，水有效性(0.998~0.88 a_w)和 a_w ×温度的相互关系(15~45℃)对球孢白僵菌、绿僵菌和粉质棒束孢生长的影响。结果显示：球孢白僵菌、绿僵菌和粉质棒束孢的生长温度范围分别为 5~30℃、5~40℃和 5~30℃；最适生长温度则分别为 25℃、30℃和 20℃。在最适生长范围内，3 种昆虫病原真菌具有相似的 a_w 范围(0.90~0.998)，但种间在生长范围内则有明显差异。绿僵菌和粉质棒束孢在用 KCl、甘油和 PEG 600 调整的培养基上，其最适生长 a_w 是 0.99 和 0.97；而白僵菌是 0.998。他们还第一次构建了 3 种真菌的 a_w ×温度相互关系的二维示意图(图 3)。外界环境湿度除能影响生长、孢子萌发、存活及真菌杀虫剂的防治效果外，也能影响真菌的生理代谢，如在聚乙二醇 6000(PEG-6000)胁迫下，蝉棒束孢 GZU-IFR.3L 菌株的蛋白质含量、SOD 活性和 SOD 比活力会有明显变化(胡海燕等，2008)。

温度和 pH 对子实体形成的影响。细脚棒束孢分别在 20℃、25℃和 30℃，初始 pH 4.6~8.0 下(25℃)的条件下，暗培养 21 天，然后培养物移至 20℃下继续培养，子实体开始形成；但是在 25℃或 30℃下培养，则无子实体形成。低温诱导是此菌子实体形成的重要条件。在液体培养基上子实体形成的初始 pH 较宽，为 4~8。在 pH 低于 4 时，即使菌丝生长受抑制，亦可分化形成子实体(Yamanaka et al., 1998)。

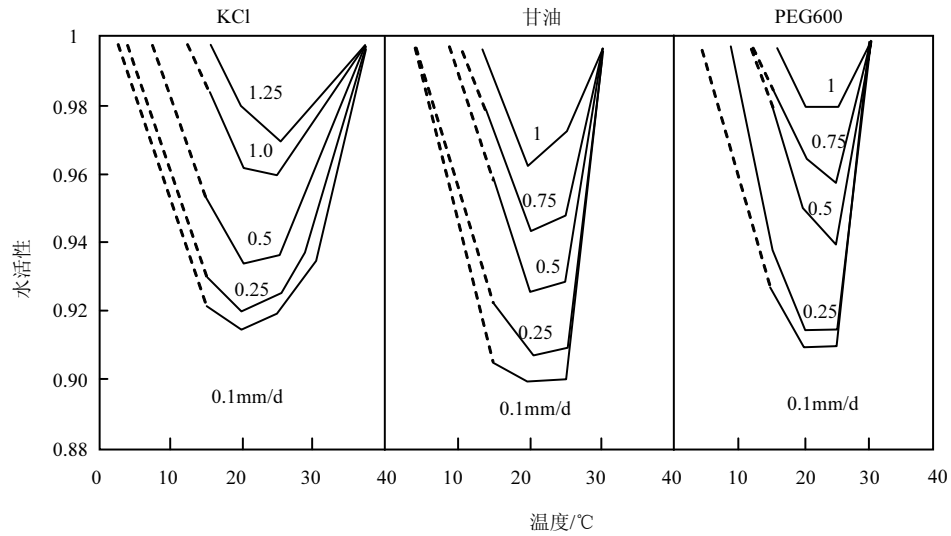


图3 在分别加有 KCl、甘油和 PEG600 培养基上，温度和水活性(a_w)对粉拟青霉生长的相互影响 (引自 Hallsworth and Magan, 1999)

CO₂ 浓度对细脚棒束孢子实体的形态特征有十分明显的影响。当浓度为 1000 μ L/L 时，子实体头部呈珊瑚状分枝；但在 9000 μ L/L 的高浓度时，头部很少分枝，孢梗束柄长 (图 4)。高浓度的 CO₂ 明显地抑制分生孢子梗在孢梗束头部形成。在不同条件下形成的孢梗束特征不同，可用于不同的目的。无分生孢子梗的长而大的孢梗束可用于功能食品和医药；而大量产生分生孢子梗的孢梗束用于生物防治十分有利。

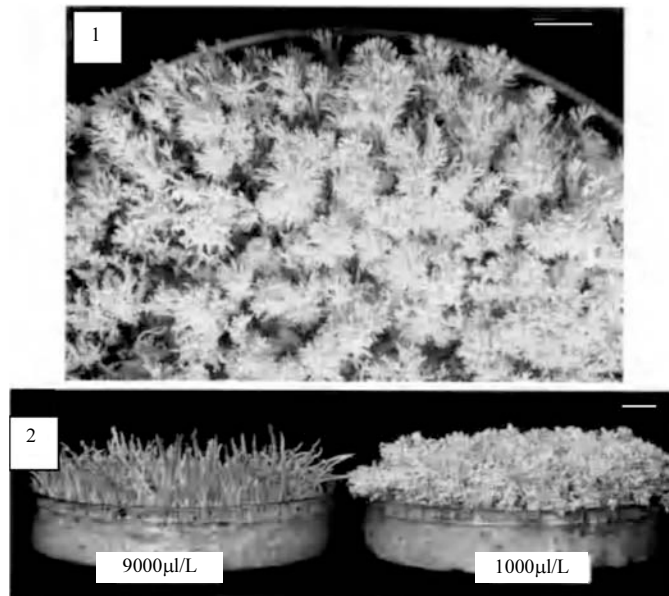


图4 在以粮食为基本成分的培养基上细脚棒束孢 *Isaria tenuipes* 形成的子实体 (引自 Yamanaka et al., 1998)

1. 在大麦粒-蚕蛹粉培养基上形成的大孢虫花子实体; 2. CO₂ 浓度对大孢虫花子实体形成的影响
标尺=1cm