

中国科学院中国孢子植物志编辑委员会 编辑

中 国 真 菌 志

第三十二卷

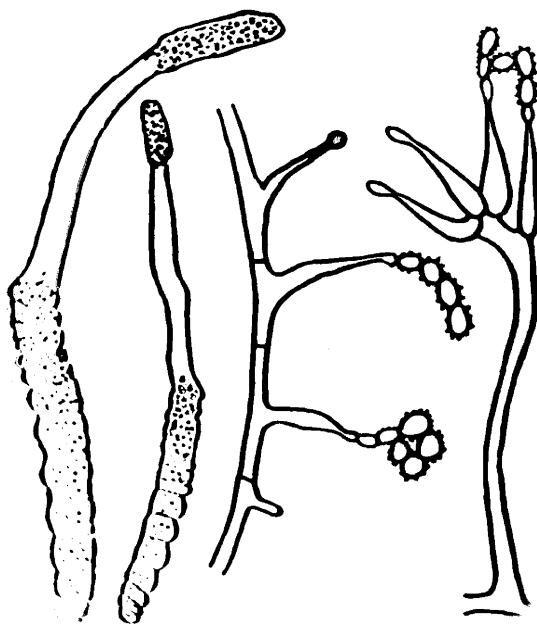
虫 草 属

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

本卷记载了我国虫草属真菌 71 种,提供了详细的形态描述和图解,以及无性型的特征和培养特性。对未观察标本的 40 种,提供了相关的参考文献并作扼要介绍。概述了虫草属真菌在有害生物的控制、功能食品、药物以及其他生化制品开发方面的应用前景。

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,以及进行虫草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 32 卷,虫草属/梁宗琦主编.—北京:科学出版社,2007

(中国孢子植物志)

ISBN 978-7-03-017035-4

I. 中… II. 梁… III. ①真菌志-中国②虫草属-真菌志-中国
IV. ①Q949.32②Q949.327.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 022450 号

责任编辑:韩学哲 范淑琴/责任校对:张小霞

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>

中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号

邮政编码:230026

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 4 月第一次印刷 印张:13 1/2 插页:2

印数:1—1 000 字数:312 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

CONSILIO FLORARUM CRYPTOGAMARUM SINICARUM
ACADEMIAE SINICAE EDITA

FLORA FUNGORUM SINICORUM

VOL.32

CORDYCEPS

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

虫 草 属

本 卷 著 者

梁宗琦 刘爱英 刘作易

(贵州大学真菌资源研究所)

CORDYCEPS

AUCTORES

Liang Zongqi Liu Aiying Liu Zuoyi
(Institute of Fungus Resources, Guizhou University)

中国孢子植物志第四届编委名单

(1998年4月)

(右上角有*者为常委)

主 编 曾呈奎*

常务副主编 魏江春*

副 主 编 余永年* 吴鹏程* 毕列爵*

编 委 (以姓氏笔画为序)

王全喜 白金铠 田金秀* 刘 波 庄文颖*

庄剑云* 齐雨藻 齐祖同* 朱浩然 应建浙*

吴继农 邵力平 陈灼华 陈健斌* 陆保仁

林永水 郑柏林 郑儒永* 姜广正 赵震宇

施之新 胡人亮 胡征宇 胡鸿钧 高 谦

夏邦美 谢树莲 臧 穆 黎兴江

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，分别归隶于原生动生物界和管毛生物界。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. Giraldii, 1890）、奥地利的汉德尔-马泽蒂（H. Handel-Maz-

zetti, 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》 (刘锡琰、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 pharmacopocia, *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. Giraldii 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 post-graduate 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、国家教育部、国家科技部、中国科学院真菌地衣系统学重点实验室、贵州省科技厅、贵州省教育厅和原贵州农学院的经费支持，在此一并表示谢意。

由于受到时间和空间的限制，大量虫草标本的采集，仅靠我们课题组的努力是十分困难的。在完成本卷研编的时候，对下列单位和个人在虫草标本、图书资料及照片借阅、引用或馈赠等各方面所给予的支持，我们表示衷心的感谢：

中国科学院微生物研究所标本馆、广东微生物研究所标本馆，英国 Kew 皇家植物园真菌标本馆；中国科学院昆明植物研究所臧穆教授、中国科学院昆明动物研究所杨大荣研究员、福建三明真菌研究所黄年来研究员、福建厦门大学黄跃坚教授、贵州省安顺地区防疫站刘美华研究员、贵州科学院吴兴亮研究员、广东农业科学院蚕业研究所方定坚研究员、四川农业科学院王波研究员、西北师范大学张开义教授、台湾大学曾显雄教授、台湾糖业研究所王次男研究员，日本国立科学博物馆 Yosio Kobayasi (小林义雄) 教授和韩国的成载模 (Jae-Mo Sung) 教授。

对河南大学李大卫教授馈赠的一种虫草照片、安徽农业大学樊美珍教授馈赠的细虫草标本、李增智教授馈赠的一个采自腐木中的虫草标本、李春如博士馈赠的论文抽印本、中国科学院微生物研究所郭英兰研究员馈赠标本和菌种也一并表示谢意。

我校曹蕾、谭艾娟和康冀川老师先后参加标本采集、虫草分子系统学研究和古尼虫草与蝉花等虫草的开发应用研究，本卷著者向他（她）们表示感谢。

本卷作者要特别感激我所的历届研究生张克勤、周建、刘杰麟、龚跃武、谌斌、黄建忠、焦彦朝、郝玉友、常胜军、步岚、朱振元、迟胜起、吴颖运、雷邦星、周礼红、肖建辉、熊庆、李祝、李忠、郭旭辉、朱国胜、韩燕峰、孙伟、王琪、刘永霞、郭永贻、田雪莲、初华丽、高永晶、邹晓和刘永翔等。他们在历年的标本采集中都付出了不同程度的艰苦劳动，在对虫草资源的开发研究与导师一起也作出了贡献。此外，我们还要特别感谢韩燕峰在本卷书稿的版图制作、文字录入、校对和索引编制等方面所做的大量工作。应该说，本卷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

通论	1
一、经济重要性	1
(一) 虫草与害虫的自然控制	2
(二) 虫草用作害虫的生物防治剂	2
(三) 虫草的生物活性物质及应用价值	4
1. 核苷	4
2. 多糖	5
3. 生物碱	6
4. 环状缩羧肽	6
5. 甾醇类	6
6. 其他	7
(四) 虫草开发应用的发展趋势	7
二、虫草的生物学	8
(一) 虫草的形态特征	8
1. 内菌核	8
2. 菌丝体	9
3. 子座	10
4. 子囊壳	11
5. 可孕部分	11
6. 子囊	13
7. 子囊孢子	13
(二) 真菌的多型现象	15
(三) 真菌孢子的微循环产孢	15
三、虫草的无性型及其确证	17
(一) 虫草的无性型	17
1. 帚束霉属	18
2. 头孢霉属	18
3. 虫束梗孢属	18
4. 棒束孢属	18
5. 穗霉属	19

6. 枝束梗孢属	19
7. 其他	19
(二) 虫草无性型的确定	23
1. 与虫草有性型子实体的相关性确定	23
2. 分离培养确定	24
3. 子囊孢子的微循环产孢	25
4. 在特定条件下人工诱发虫草有性子实体	25
5. DNA 多态性测定分析	26
四、虫草的人工培养	30
(一) 冬虫夏草 <i>Cordyceps sinensis</i> (Berk.) Sacc.	31
1. 无性型菌种的分离	32
2. 子实体人工培养	33
3. 菌丝体的人工培养	35
4. 产品及产品质量标准	35
(二) 蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i> (Fr.) Link.	36
1. 菌丝体培养及分生孢子形成	37
2. 有性子实体的人工培养	38
3. 虫草菌素 (cordycepin) 的检测	42
(三) 粉被虫草 <i>Cordyceps pruinosa</i> Petch	42
1. 子实体的人工培养	43
2. 无性型孢梗束人工培养	43
3. N ⁶ - (2-羟乙基) 腺嘌呤核苷 (HEA) 的形成及分离	44
(四) 古尼虫草 <i>Cordyceps gunnii</i> (Berk.) Berk.	44
1. 培养技术	45
2. 古尼虫草人工培养菌丝体的营养成分及药理作用	46
(五) 蝉花 <i>Cordyceps cicadae</i> X. Q. Shing	47
1. 菌种培养	48
2. 蝉花子实体的人工培养	48
3. 液体振荡培养和静置培养	48
4. 固体培养	48
(六) 戴氏虫草 <i>Cordyceps taii</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	49
1. 人工培养	49
2. 苦马豆素的培养生产和分离	50
(七) 布氏虫草 <i>Cordyceps brongniartii</i> Shimazu	51
1. 固体载体培养	51
2. 菌丝颗粒剂生产	52
3. 子实体人工培养	52
(八) 巴西虫草 <i>Cordyceps brasiliensis</i> P. Henn.	52
(九) 细虫草 <i>Cordyceps gracilis</i> (Grev.) Dur. & Mont.	53
(十) 高雄山虫草 <i>Cordyceps takaomontana</i> Yakushiji & Kumazawa	53
(十一) 勿忘虫草 <i>Cordyceps memorabilis</i> Cesati	55

(十二) 尖头虫草 <i>Cordyceps oxycephala</i> Penz. & Sacc.	56
五、分类简史	56
1. 虫壳菌亚属 <i>Torrubiella</i>	57
2. 虫草亚属 <i>Eucordyceps</i>	57
3. 线形虫草亚属 <i>Ophiocordyceps</i>	57
各论	61
属的名称及描述	61
中国虫草属的分种描述	67
1. 针孢虫草 <i>Cordyceps acicularis</i> Ravenel	67
2. 绿核虫草 <i>Cordyceps aeruginosclerota</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	68
3. 金针虫草 <i>Cordyceps agriota</i> Kawam.	68
4. 暗绿虫草 <i>Cordyceps atrovirens</i> Kobayasi & Shimizu	69
5. 巴恩虫草 <i>Cordyceps barnesii</i> Thwaites	70
6. 双梭孢虫草 <i>Cordyceps bifusispora</i> Eriksson	71
无性型: 双梭隔梭孢 <i>Septofusidium bifusispora</i> Z. Y. Liu, Z. Q. Liang & A. Y. Liu	
.....	71
7. 巴西虫草 <i>Cordyceps brasiliensis</i> P. Henn.	72
8. 拟布里特班克虫草 <i>Cordyceps brittlebankisoides</i> Z. Y. Liu, Z. Q. Liang, A. J. S.	
Whally, Yao Y. J. & A. Y. Liu.	73
无性型: 大孢绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>majus</i> (J. R. Johnst.) M. C.	
Tulloch	74
9. 布氏虫草 <i>Cordyceps brongniartii</i> Shimazu	75
无性型: 布氏白僵菌 <i>Beauveria brongniartii</i> (Sacc.) Petch	76
10. 赤水虫草 <i>Cordyceps chishuiensis</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	76
11. 大蝉草 <i>Cordyceps cicadae</i> Shing	77
无性型: 蝉拟青霉 <i>Paecilomyces cicadae</i> (Miq.) Samson	78
12. 阔孢虫草 <i>Cordyceps crassispora</i> M. Zang, D. R. Yang & C. D. Li	79
13. 毛虫草 (发丝虫草) <i>Cordyceps crinalis</i> Ellis	80
14. 柱座虫草 <i>Cordyceps cylindristromata</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu & M. H. Liu	81
15. 大邑虫草 <i>Cordyceps dayiensis</i> Z. Q. Liang & B. Wang	81
16. 柔柄虫草 <i>Cordyceps delicatostipitata</i> Kobayasi & Shimizu	82
17. 革翅目虫草 <i>Cordyceps dermatigerigena</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu & M. H. Liu	83
18. 伸长虫草 <i>Cordyceps elongata</i> Petch	84
无性型: 巨大被毛孢 <i>Hirsutella gigantea</i> Petch	84
19. 峨眉山虫草 <i>Cordyceps emeiensis</i> A. Y. Liu & Z. Q. Liang	85
20. 丝虫草 <i>Cordyceps filiformis</i> Moureau	86
21. 蚁虫草 <i>Cordyceps formicarum</i> Kobayasi	87
无性型: 蚁被毛孢 <i>Hirsutella formicarum</i> Petch	88
22. 叉尾虫草 <i>Cordyceps furcataocadata</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu & M. H. Liu	88
23. 蛻螂虫草 <i>Cordyceps geotrupis</i> Teng	89
无性型: 玫瑰色拟青霉 <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> (Wize) A. H. S. Br. & G. Sm.	
.....	89

24. 细虫草 <i>Cordyceps gracilis</i> (Grev.) Dur. & Mont.	89
无性型: 羽束梗孢 <i>Paraisaria dubia</i> (Delacr.) Samson & Brady	90
25. 贵州虫草 <i>Cordyceps guizhouensis</i> Z. Y. Liu, Z. Q. Liang & A. Y. Liu	91
26. 古尼虫草 <i>Cordyceps gunnii</i> (Berk.) Berk.	92
无性型: 古尼拟青霉 <i>Paecilomyces gunnii</i> Z. Q. Liang	92
27. 亨利虫草 <i>Cordyceps henleyae</i> Massee	93
28. 稻子山虫草 <i>Cordyceps inegoensis</i> Kobayasi	93
29. 日本虫草 <i>Cordyceps japonica</i> Lloyd	94
30. 江西虫草 (草木王) <i>Cordyceps jiangxiensis</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu & Y. Ch. Jiang	94
无性型: 江西青霉 <i>Penicillium jiangxiensis</i> H. Z. Kong & Z. Q. Liang	95
31. 井冈山虫草 <i>Cordyceps jinggangshanensis</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	96
32. 九州虫草 <i>Cordyceps kyushuensis</i> Kawamura	96
33. 幼虫虫草 <i>Cordyceps larvarum</i> (Westwood) Olliff	97
34. 凉山虫草 <i>Cordyceps liangshanensis</i> M. Zang, D. Q. Liu & R. Y. Fu	98
35. 龙洞虫草 <i>Cordyceps longdongensis</i> A. Y. Liu & Z. Q. Liang	98
36. 娄山虫草 <i>Cordyceps loushanensis</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	99
无性型: 娄山拟青霉 <i>Paecilomyces loushanensis</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	100
37. 螳螂虫草 <i>Cordyceps mantidaecola</i> Kobayasi & Shimizu	101
38. 茂兰虫草 <i>Cordyceps maolanensis</i> Z. Y. Liu & Z. Q. Liang	101
39. 拟茂兰虫草 <i>Cordyceps maolanooides</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu & J. Z. Huang	103
40. 勿忘虫草 <i>Cordyceps memorabilis</i> (Cesati) Sacc.	103
无性型: 粉质拟青霉 <i>Paecilomyces farinosus</i> (Holmsk.) A. H. S. Br. & G. Sm.	103
41. 蛹虫草球头变型 <i>Cordyceps militaris</i> f. <i>sphaerocephala</i> f. <i>sphaerocephala</i> (Schw.) Fr.	104
42. 蛹虫草 <i>Cordyceps militaris</i> (Vuill.) Fr.	105
无性型: 蛹草拟青霉 <i>Paecilomyces militaris</i> Z. Q. Liang	106
43. 鼠尾虫草 <i>Cordyceps musicaudata</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	108
44. 蚁生虫草 <i>Cordyceps myrmecophila</i> Ces.	109
45. 下垂虫草 <i>Cordyceps nutans</i> Pat.	110
46. 蜻蜓虫草 <i>Cordyceps odonatae</i> Kobayasi	111
无性型: 蜻蜓层束梗孢 <i>Hymenostilbe odonatae</i> Kobayasi	112
47. 大团囊虫草 <i>Cordyceps ophioglossoides</i> (Ehrh.) Fr.	113
无性型: 一种轮枝孢 <i>Verticillium</i> sp.	113
48. 尖头虫草 (亚黄蜂草) <i>Cordyceps oxycephala</i> Penz. & Sacc.	113
无性型: 一种拟青霉 <i>Paecilomyces</i> sp.	113
49. 泽地虫草 <i>Cordyceps paludosa</i> Mains	114
50. 蛾蛹虫草 <i>Cordyceps polyarthra</i> Moll.	115
51. 多壳虫草 <i>Cordyceps polycarpica</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	116
52. 粉被虫草 (茧草) <i>Cordyceps pruinosa</i> Petch	117
无性型: 粉被马利亚霉 <i>Mariannaea pruinosa</i> Z. Q. Liang	117
53. 拟暗绿虫草 <i>Cordyceps pseudoatrovirens</i> Kobayasi & Shimizu	119
54. 分枝虫草 (大团囊梗) <i>Cordyceps ramosa</i> Teng	120

55. 罗伯茨虫草 <i>Cordyceps robertsii</i> (Hook.) Gray	120
56. 喙壳虫草 <i>Cordyceps rostrata</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu, M. H. Liu	122
57. 金龟子虫草 <i>Cordyceps scarabaeicola</i> Kobayasi	122
无性型: 爪哇拟青霉 <i>Paecilomyces javanicus</i> (Friedrichs & Bally) A. H. S. Br. & G. Sm.	123
58. 四川虫草 <i>Cordyceps sichuanensis</i> Z. Q. Liang & B. Wang	124
59. 冬虫夏草 <i>Cordyceps sinensis</i> (Berk.) Sacc.	125
无性型: 中华被毛孢 <i>Hirsutella sinensis</i> X. J. Liu, Y. L. Guo, Y. X. Yu & W. Zeng	126
60. 小蝉草 <i>Cordyceps sobolifera</i> (Hill.) Berk. & Br.	127
无性型: 小蝉绿僵菌 <i>Beauveria sobolifera</i> Z. Y. Liu, Z. Q. Liang, A. J. S. Whally, Y. J. Yao & A. Y. Liu	128
61. 球头虫草 <i>Cordyceps sphaecocephala</i> (Kl.) Sacc.	129
62. 柄壳虫草 <i>Cordyceps stipitata</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	130
63. 塔顶虫草 (柱座虫草) <i>Cordyceps stylophora</i> Berk. & Br.	130
64. 杪楞虫草 <i>Cordyceps suoluensis</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	130
65. 表生虫草 <i>Cordyceps superficialis</i> (Peck) Sacc.	132
66. 戴氏虫草 <i>Cordyceps taii</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	133
无性型: 戴氏绿僵菌 <i>Metarhizium taii</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	134
67. 高雄山虫草 (淡黄鳞蛹虫草) <i>Cordyceps takaomontana</i> Yakushiji & Kumazawa	135
无性型: 细脚拟青霉 <i>Paecilomyces tenuipes</i> (Peck.) Samson	135
68. 沫蝉虫草 <i>Cordyceps tracentri</i> Yasuda & Lloyd	136
69. 变形虫草 <i>Cordyceps variabilis</i> Petch	137
70. 武夷山虫草 <i>Cordyceps wuyishanensis</i> Z. Q. Liang, A. Y. Liu, J. Z. Huang	137
无性型: 一种拟青霉 <i>Paecilomyces</i> sp.	138
71. 张家界虫草 <i>Cordyceps zhangjiajiensis</i> Z. Q. Liang & A. Y. Liu	138
无性型: 一种被毛孢 <i>Hirsutella</i> sp.	139
标本已遗失和作者未进行研究的虫草种	139
1. 瓶状虫草 <i>Cordyceps ampullacea</i> Kobayasi & Shimizu	139
2. 多枝虫草 <i>Cordyceps arbuscula</i> S. Q. Teng	139
3. 粗糙虫草 <i>Cordyceps aspera</i> Pat.	140
4. 橙黄虫草 <i>Cordyceps aurantia</i> Kobayasi & Shimizu	141
5. 球孢虫草 <i>Cordyceps bassiana</i> Z. Z. Li, C. R. Li, B. Huang & M. Z. Fan	141
无性型: 球孢白僵菌 <i>Beauveria bassiana</i> (Balsamo) Vuillemin	142
6. 望乡虫草 <i>Cordyceps bokyoensis</i> Kobayasi	142
7. 加拿大虫草 <i>Cordyceps canadensis</i> Ellis & Everh.	142
8. 头状虫草 <i>Cordyceps capitata</i> (Fr.) Link	143
9. 步甲虫草 <i>Cordyceps carabidicola</i> Kobayasi & Shimizu	143
10. 长白山虫草 <i>Cordyceps changpaishanensis</i> Kobayasi	144
11. 蝉生虫草 (蝉花、蝉草) <i>Cordyceps cicadicola</i> Teng	144
12. 双翅目虫草 <i>Cordyceps dipterigena</i> Berk. & Br.	145
无性型: 双翅目层束梗孢 <i>Hymenostilbe dipterigena</i> Petch	145
13. 叩头虫虫草 <i>Cordyceps elateridicola</i> Kobayasi & Shimizu	145

14. 镰状虫草 <i>Cordyceps falcata</i> Berk.	146
15. 锈色虫草 <i>Cordyceps ferruginosa</i> Kobayasi & Shimizu	146
16. 台湾虫草 <i>Cordyceps formosana</i> Kobayasi & Shimizu	146
17. 拟细虫草 (拟黑锤虫草) <i>Cordyceps gracilioides</i> Kobayasi	147
无性型: 拟细棒束孢 <i>Isaria gracilioides</i> Kobayasi	147
18. 蟋蟀虫草 (蟋蟀草) <i>Cordyceps grylli</i> S. Q. Teng	148
19. 螻蛄虫草 <i>Cordyceps gryllotalpae</i> Ellis & Seaver	148
20. 古尼虫草小孢变种 <i>Cordyceps gunnii</i> (Berk) Berk var. <i>minor</i> Z. Z. Li, C. R. Li, B. Huang, M. Z. Fan & M. W. Lee	149
21. 异足虫草 <i>Cordyceps heteropoda</i> Kobayasi	149
22. 成虫虫草 <i>Cordyceps imagamiana</i> Kobayasi & Shimizu	149
23. 伊兰基虫草 <i>Cordyceps irangiensis</i> Moureau	150
24. 朝鲜虫草 <i>Cordyceps koreana</i> Kobayasi & Shimizu	150
25. 长座虫草 <i>Cordyceps longissima</i> Kobayasi	150
无性型: 长座被毛孢 <i>Hirsutella longissima</i> C. R. Li, M. Z. Fan, B. Huang & Z. Z. Li	150
26. 珊瑚虫草 <i>Cordyceps martialis</i> Spegazzini	151
27. 鳃金龟虫草 <i>Cordyceps melolonthae</i> (Tul.) Sacc.	151
28. 嗜蚁虫草 <i>Cordyceps termitophila</i> Kobayasi & Shimizu	151
29. 莲状虫草 <i>Cordyceps nelumboides</i> Kobayasi & Shimizu	152
30. 瘤孢虫草 <i>Cordyceps phymatospora</i> C. R. Li, M. Z. Fan & Z. Z. Li	152
31. 拟罗伊德虫草 <i>Cordyceps pseudolloydii</i> Evans & Samson	153
32. 锈壳虫草 <i>Cordyceps rubiginosoperitheciata</i> Kobayasi & Shimizu	154
33. 红座虫草 <i>Cordyceps roseostromata</i> Kobayasi & Shimizu	154
34. 山西虫草 <i>Cordyceps shanxiensis</i> B. Liu, F. X. Rong & H. Jin	154
35. 辛克莱虫草 <i>Cordyceps sinclairii</i> Kobayasi	155
无性型: 辛克莱棒束孢 <i>Isaria sinclairii</i> (Berk.) Lloyd	155
36. 球头状虫草 <i>Cordyceps sphaerocapitata</i> Kobayasi	156
37. 泰山虫草 <i>Cordyceps taishanensis</i> B. Liu, P. G. Yuan & J. Z. Cao	156
38. 单侧生虫草 <i>Cordyceps unilateralis</i> (Tul.) Sacc.	156
39. 蛾草 (瘤座虫草、细座虫草) <i>Cordyceps tuberculata</i> (Lebert) Maire	157
40. 屋久岛虫草 <i>Cordyceps yakusimeensis</i> Kobayasi	157
参考文献	158
索引	167
真菌汉名索引	167
真菌学名索引	170
附录 全世界已发表的虫草菌名录 (~2003)	175
图版	

通 论

一、经济重要性

虫草属 *Cordyceps* (Fr.) Link 隶属于真菌界 (Fungi)、子囊菌门 Ascomycota、子囊菌纲 Ascomycetes、粪壳菌亚纲 Sordariomycetidae、肉座菌目 Hypocreales、麦角菌科 Clavicipitaceae (Kirk et al. 2001)。这些真菌主要寄生于昆虫、蜘蛛和某些大团囊菌属 *Elaphomyces* Nees & Fr. 的某些地下种类的子实体上。据小林义雄和清水大典 (1983) 的统计, 全世界报道虫草有 350 种以上。随后, 臧穆等 (1982)、Liu 等 (1984)、刘波等 (1985)、Zang 等 (1990, 1998)、Hywel-Jones (1994, 1995c)、Li 等 (2002) 和本志的研编者又报道了不少我国和东南亚地区的虫草。国际真菌名录数据库 (<http://www.indexfungorum.org/Names/NAMES.ASP>) 2003 年列出的种名已达到 485 种以上, 加上国内外近年发表的新种和其他资料, 全世界已报道的虫草多达 500 种以上 (见附录)。除去同物异名或不合法的废弃名及移至其他属的种外, 现有虫草应有 400 种左右。

我国现已报道虫草约 120 种, 仅作者所在实验室近年从全国各地就采集到 50 余种, 其中不少是新种和新记录种 (图 1)。我国大量的虫草资源还有待发现和研究开发。



图 1 贵州大学真菌资源研究所的部分虫草标本

(一) 虫草与害虫的自然控制

虫草对调节森林节肢动物的数量、维持森林系统的平衡起着明显的作用。Evans 等 (1974, 1982, 1984) 先后对加纳和巴西等地的热带雨林进行调查, 观察到这些森林的昆虫病原真菌中虫草是最常见的类群, 而在温带地区则以虫霉目 Entomophthorales 种类占优势。如在加纳 3 种类型的原始森林和次生林中, 分属猛蚁亚科 Ponerinae、行军蚁亚科 Dorylinae 和蚁亚科 Formicinae 的至少 16 种蚁都可被澳洲虫草 *Cordyceps australis* (Speg.) Sacc. 和单侧生虫草 *Cordyceps unilateralis* (Tul.) Sacc. 寄生。后一种虫草寄主范围较广, 至少有 14 种蚁能被其侵染, 有时还可引起流行性疾病。这两种虫草和其他一些与虫草无性型密切相关的一些昆虫病原真菌, 如细束梗孢 *Akanthomyces gracilis* Samson & Evans、玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) A. H. S. Br. & G. Sm.、利比亚被毛孢 *Hirsutella liberiana* Main 和层束梗孢 *Hymenostilbe* spp. 等, 对该地区蚁的种群数量起着十分重要的调节作用。Evans 和 Samson (1982) 在亚马逊热带雨林中发现的两个虫草新种: *Cordyceps kniphofioides* Evans & Samson 和 *Cordyceps cucumispora* Evans & Samson 及它们的被毛孢无性型也可引起多种蚁的流行性病。

除寄生蚁的一些虫草外, 疣座虫草 *Cordyceps tuberculata* (Lebert) Maire 及其无性型杵细束梗孢 *Akanthomyces pistilliaiformis* (Pat.) Samson & Evans, 是寄生在热带森林中鳞翅目蛾类成虫最常见的昆虫病原真菌。这个目昆虫的幼虫和蛹则对其他一些虫草更敏感, 特别是高雄山虫草 *Cordyceps takaomontana* Yakushiji & Kumazawa 的无性型细脚拟青霉 *Paecilomyces tenuipes* (Peck) Samson, 不论是在热带或温带森林中都是寄生它们的最主要病原菌。

在亚马逊森林中, 一种子座红色的小型虫草, 常寄生于土壤中某些直翅目昆虫的卵囊 (Samson et al. 1982), 这在虫草属中尚不多见。寄生螽斯最常见的虫草是亚马逊虫草 *Cordyceps amazonica* Hennings。鞘翅目的幼虫和成虫也可被一些虫草感染。拟蛹虫草 *Cordyceps submilitaris* Henn. 是热带雨林中金针虫科 Elateridae 幼虫最常见的病原。而在我国, 地处温带的贵州省的一些森林中, 寄生金针虫的虫草则主要是金针虫虫草 *Cordyceps agriota* Kawam. 和针孢虫草 *Cordyceps acicularis* Ravenel。一些栖居腐木中的鞘翅目昆虫, 常能被虫草寄生, 死亡率高并可引起局部性的流行病 (Samson et al. 1982)。

(二) 虫草用作害虫的生物防治剂

虫草在害虫的生物防治中也可作为一种生物制剂使用。早在 20 世纪 50 年代, 前苏联的生物学家就曾用棒形虫草 *Cordyceps clavulata* (Schw.) Ellis & Evans 的无性型, 蜡蚧被毛孢 *Hirsutella lecanicola* (Jaap) Petch 人工培养防治核桃介壳虫获得成功 (耶夫拉霍娃 1982)。1976 年 Hnytzky 等人报道了在加拿大北温哥华岛, 用蛹虫草 *Cordyceps militaris* (Fr.) Link. 的菌丝体和分生孢子制剂室外防治 *Melanolopha*

imilata 幼虫获得成功。在这个试验中, 处理 4 周后大多数幼虫可成熟化蛹, 但随后相当一部分蛹感染死亡并长出蛹虫草子座。用蛹虫草、高雄山虫草和疣座虫草人工培养物田间防治夜蛾科的昆虫也获得了成功 (Weiser 1982)。

布氏白僵菌 *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch 是对金龟子幼虫致病力最强的病原菌之一。Shimazu 等 (1988) 确证了它是布氏虫草 *Cordyceps brongniartii* Shimazu 的无性型。日本在第二次世界大战前后, 都曾大量生产这种虫草无性型, 以防治森林苗圃地中的金龟子幼虫 (Shimizu et al. 1988)。当用 5×10^5 孢子/ml 与低剂量的一种化学农药混合处理鳃角金龟, 20°C , 3 个月后幼虫的染病死亡率达 55%; 在同样条件下若只用布氏白僵菌幼虫, 死亡率就只有 15% (Ferron 1981)。山东省农业科学院林莲欣等 (1988) 将布氏白僵菌制剂与 2% 甲基异硫磷粉混用防治大豆暗黑鳃金龟 *Hilotrachia parallela* 和大黑鳃金龟 *H. oblita*, 达到染病死亡率为 87.37% 的防治效果, 比单施菌剂或药剂的效果分别提高 27.16% 和 23.79%。在混施后 2~3 年仍有 36.16%~63.64% 的寄生率, 具有一定长效性。菌药混用的增效作用在胡继武等 (1991) 防治大葱田蛴螬的试验中也得到类似良好效果。西欧用这种真菌制剂 ($20 \times 10^9 \sim 10 \times 10^9$ 孢子/ m^2) 防治牧草地的鳃角金龟 *Melolontha melolontha*, 施药后两个月幼虫被快速感染而死亡。在条件适宜的情况下, 真菌病原可在虫群中定殖, 疾病的后续控制作用可长达 4 年 (McCoy et al. 1988)。法国用从马达加斯加的蛴螬 *Hoplochelis marginalis* 上分离到的一个布氏白僵菌高毒力菌株 Bb 96, 在米饭培养基上生产商品名为 Engerlingspilz-Andermatt 和 Betel-NPP 的微粒剂 (Copping 1998)。这种制剂的主要防治对象是危害甘蔗和大麦的两种金龟子 *Hoplochelis marginalis* Fairmire 和鳃角金龟。这种产品每克含活孢子为 0.2×10^8 个, 在 2°C 的条件下存储一年孢子仍存活。在甘蔗田施于种蔗的底部或沟边, 每公顷用量达 50kg 时, 虫口密度一般可降至每根甘蔗 3 头幼虫之下。对大麦金龟子幼虫的防治是在播种时拌种。

球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin 是昆虫病原微生物中最重要的一员。据不完全统计, 在全部昆虫疾病中, 由它引起的就占了 21% (蒲蛰龙 1994)。尽管对球孢白僵菌的有性型是球孢虫草 *Cordyceps bassiana* Z. Z. Li, C. R. Li, B. Huang & M. Z. Fan (Li et al. 2001) 还是隐翅虫草 *Cordyceps staphylinidaeicola* Kobayasi & Shimizu (Sung & Humber 2002) 尚有分歧, 但已证明球孢白僵菌是虫草的无性型。从 1954 年开始, 我国主要用固体发酵法生产的白僵菌制剂, 用于 30 余种农、林、果和茶等类害虫的防治。其中, 大面积防治大豆食心虫 *Grapholitha glycinivorella*、马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus*、玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 和水稻叶蝉等都取得重大的成果 (蒲蛰龙 1994)。目前, 法国和美国已用从玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 和一种象鼻虫 *Anthonomus grandis* 上分离到的球孢白僵菌 Bb 147、ATCC 74040-Troy 和 GHA 菌株, 在固体培养基上生产了不同的商品制剂。菌株 Bb 147 制剂主要用于欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 和亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的防治。用 GHA 菌株生产的制剂主要用于蔬菜和观赏植物的白粉虱、蓟马和蚜虫等的防治。而用 ATCC 74040 菌株生产的制剂则对草场、观赏植物、棉花和蔬菜的鞘翅目、同翅目和半翅目的软体幼虫有明显的防治效果。普通作物叶面液体喷雾的剂量是每公顷 750~1000ml。观赏植物是每 10L 加入制剂 24~80ml; 草皮和草地每 100m^2 用制剂 32~96ml。液体制剂球孢白

僵菌的孢子含量为 $23 \times 10^7 / \text{ml}$ 。微粒剂的活孢子含量不小于 $5 \times 10^8 / \text{g}$ 。这些产品在低于 20°C 冷凉干燥的条件下，可保存一年 (Copping 1998)。

绿僵菌属中有几个十分知名的昆虫病原真菌 (Veen 1966; Tulloch 1976; Roberts 1981; 梁宗琦 1988, 1996)。我们已先后证明有两种绿僵菌是虫草的无性型 (梁宗琦等 1991f; Liu et al. 2001a)。金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* Sorok. 是一种广泛存在的昆虫病原真菌。国外生产的商品制剂多数用于防治各种作物的鞘翅目和鳞翅目的害虫；一个商品名为 BioBlast 的产品则用于白蚁的防治 (Copping 1998)，防治白蚁的方法是将制剂注入蚁巢和有白蚁泥管 (mud tube) 的地方，蚁群中只要有 $5\% \sim 10\%$ 被感染，两周后整个蚁群就会感染死亡。黄绿绿僵菌 *Metarhizium flavoviride* 用作蝗虫的生物防治剂也已商品化生产，市售的产品是一种超低容量 (ULV) 用的油剂。在高热和高湿地区，此制剂对蝗虫的毒力相当高，真菌孢子萌发侵入虫体 $2 \sim 3$ 天内，昆虫麻痹并停止取食， $7 \sim 10$ 天后则死亡 (Copping 1998)。

拟青霉属中的不少真菌是虫草的无性型，其中不少的种在控制森林害虫的猖獗中起着重要作用。但在国内外用作微生物杀虫剂生产的种类不多，玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumosoroseus* 则是其中最具代表性的一个成员。国际上现用于商品生产的 Apopka 97 (PFR97) 菌株，是 1986 年在美国佛罗里达一个温室中的粉虱 *Phenacoccus solani* Ferris 上分离得到的。这个菌株已被美国 Thermo Trilogly 公司注册生产。其产品 PreF-eRal 是一种每克含活孢子数 1×10^9 个的可湿性颗粒剂，主要用于防治温室作物的粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*、*Bemisia tabaci*，对蚜虫、蓟马和叶螨也有一定作用。一般采用高容量喷雾，使用剂量每升水加入产品 10g 即可。储存于 4°C 下孢子活力可保持半年以上 (Copping 1998)。

Wright 等人 (1990) 在澳大利亚的 Tasmania 岛发现了一种寄生蝙蝠蛾幼虫的虫草 *Cordyceps oncoperae* Wright，它的无性型是小脐霉 *Microhilum oncoperae* Wright (Yip & Rath 1989)。这种真菌对危害牧草的一些害虫 *Oncopera* spp. 在不同地区的自然感染率可从 3% 达到 87% 。Rath 等 (1990) 报道，将这种真菌制剂与牧草种子拌种条播，对害虫的防治效果可达到 $60\% \sim 80\%$ 。

(三) 虫草的生物活性物质及应用价值

虫草对害虫虫口数的自然调控无疑起着重要作用，但由于多数虫草对寄主昆虫有一定专一性，故在生产中用作理想杀虫剂的种类并不多。虫草对于人类生产和生活另一真正巨大潜值是由于它们有性型和无性型的物种多样性及它们所形成的各类代谢产物 (梁宗琦 1997)。迄今人们已从各种虫草及其无性型中检测或分离到多种生物活性物质，其中除各种氨基酸、嘌呤、无机盐和甾醇等之外，还有多种其他生物活性物质。这些物质的作用和研究现状，杨跃雄等 (1987)、张力和张士善 (1988)、焦彦朝等 (1990) 和常胜军等 (1995) 已作了很好的评述。

1. 核苷

(1) 虫草菌素 (cordycepin)。这是 Cunningham 等在 1951 年从蛹虫草的培养液中分

离出来的一种 3'-脱氧腺嘌呤核苷 (3'-deoxyadenosine)。它除了对鸟结核杆菌 *Mycobacterium avium* 和枯草杆菌 *Bacillus subtilis* 有拮抗作用外, 经多年研究发现它还具有多种生物活性 (Kuo et al. 1994): 抑制 DNA 和 RNA 的合成; 促进细胞分化; 改变细胞骨架分布; 抑制蛋白质激酶的活性; 对膀胱癌、结肠癌、肺癌和纤维肌瘤、艾氏腹水疣、人表皮样癌及子宫颈癌 HeLa 细胞均有抑制作用; 此外还抑制人免疫缺失 I 型病毒的感染和反转录酶的活性等。

虫草菌素对尖音库蚊 *Culex pipiens*、埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 及另一种伊蚊 *Aedes atropalpus* 的幼虫也有明显的致死效果 (Belloncik & Parent 1976)。用白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 的离体细胞试验表明, 虫草菌素的作用机制是引起细胞核变性及细胞整体崩解 (Belloncik & Gharbi-Said 1977)。

(2) N^6 -(2-羟乙基) 腺嘌呤核苷 [N^6 -(2-hydroxyethyl) adenosine]。这种核苷是 Furuya 等人 (1983) 从粉被虫草 *Cordyceps pruinosa* Petch 等几种虫草的菌丝体中发现的一个生物来源的钙离子拮抗剂。它对辐射伤害的保护效果也十分明显 (Furuya et al. 1983; 黄建忠等 1992)。

(3) 其他核苷。Ikumoto 等人 (1991) 用冬虫夏草 *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. 和 5 种其他虫草及 4 种棒束孢 *Isaria* spp. 人工培养菌丝体浸出物对豚鼠离体右心房、回肠及人血小板做试验观察到, 冬虫夏草、蛹虫草及猫棒束孢 *Isaria felina* 的浸出液对离体心房有负收缩效应。同时对电刺激回肠的收缩反应及人血小板的凝集有抑制作用。分离鉴定表明, 冬虫夏草 *Cordyceps sinensis* 含有多种与核酸相关的成分 (Ikumoto et al. 1991)。上述的药理作用是 5'-磷酸腺嘌呤核苷 (5'-AMP)、腺嘌呤核苷 (adenosine) 及其他几种相关核苷共同作用的结果。冬虫夏草子实体中腺苷的含量可达到 2.47mg/g (Shiao et al. 1994)。

2. 多糖

冬虫夏草及其菌丝体的水提取物对巨噬细胞和 B 淋巴细胞有免疫调节作用, 现已分离到了这种物质。冬虫夏草至少含有 2 种多糖。CS-I 是用热水从子座中提取获得, 这是一种水溶性的、高度分枝的胞外多糖: 半乳甘露聚糖 (Miyazaki et al. 1977); 另一多糖是 CT-N4, 这是一种含少量蛋白质的半乳甘露聚糖 (Kiho et al. 1986)。随后, Chen 等人 (1997) 又报道了从冬虫夏草子实体分离到了另一种对人白血病 (leukemia) 再生与分化有明显抑制作用的多糖。试验证明, 这种虫草多糖的抗癌作用主要是它显著地诱生了 γ -干扰素和 α -肿瘤坏死因子。二者的协同作用抑制了 U396 细胞的再生和诱发其分化, 冬虫夏草多糖在 10 μ g/ml 的浓度下, 其抑制作用效果与浓度成正相关, 高于此浓度, 生长抑制作用不再提高 (Chen et al. 1997)。

此外, 小蝉草 *Cordyceps sobolifera* (Hill.) Berk. & Br. 含有一种分子质量为 27kDa 的水溶性的半乳甘露聚糖。大团囊虫草 *Cordyceps ophioglossoides* (Ehrh.) Fr. 含一种不溶于水的胞外多糖, 其分子质量为 632kDa, 它是一种均一的葡聚糖。古尼虫草 *Cordyceps gunnii* (Berk.) Berk 含有一种分子质量为 200kDa 的葡聚糖。大量药理试验表明, 虫草的多糖具有多种作用: 抗肿瘤、增强单核巨噬细胞的吞噬能力、提高小鼠血清中 IgG 的含量、对体外淋巴细胞转化有促进作用和抗辐射等。韩国 Lee 和 Han 等

(1992) 从 75 种高等真菌的菌丝培养浸提物中筛选具有保肝作用的多糖时发现, 有 11 个被试虫草样品的多糖具有保肝作用。其中, *Cordyceps* sp. IY902 菌株的保肝效果特别明显, 它能使谷氨酸-丙酮酸转氨酶活性降低 20%。现已有不少虫草多糖作为功能食品进行了开发 (肖建辉等 2002)。

3. 生物碱

现已证明, 绿僵菌属中的某些种是虫草的无性型 (梁宗琦等 1991a)。著名的金龟子绿僵菌不仅在害虫生防中作用显著, 而且它所产生的一些代谢产物也具应用前景。

(1) 细胞分裂抑制素。这是一种对寄主昆虫有毒的代谢产物, 它能抑制细胞的活动、降低血淋巴中吞噬细胞的活性和被囊化。这些都有助于它侵染寄主昆虫后疾病的发展。此外, 这种物质还具有另一些生物学活性: 抑制哺乳动物离体细胞原生质的割裂, 进而形成多核细胞; 抑制细胞运动并挤出核。此物质可用作细胞生物学研究的一种工具, 也可用作高毒力昆虫病原真菌选择的一项指标。

(2) 苦马豆素 (swainsonine)。这种物质最初是从家畜误食会引起慢性中毒的苦马豆 *Swainsona canescens* 和疯草 (locoweed) 中分离得到的, 它是一种吲哚类的物质。实验表明这种物质具有免疫调节、抑制腹水瘤¹⁸⁰ 生长及减少黑色素疣向肺部转移等功能 (Hino et al. 1985; Kino et al. 1985)。

4. 环状缩羧肽

不少昆虫病原真菌都会产生对昆虫有毒的代谢产物。这些物质注入血腔时皆表现较强的毒性, 它们的化学成分多为环状缩羧肽 (cyclodepsipeptide)。一些从虫草上分离到的真菌 (包括非真正无性型的其他相关真菌) 也产生这类物质, 如李兆兰 (1988) 从冬虫夏草中分离到的一株中国弯颈霉 *Tolyocladium sinense* C. L. Li 就产生一种名为环孢菌素的环状缩羧肽, 这是一种有价值的免疫抑制剂及抗真菌抗生素, 它在人体器官移植、治疗风湿性关节炎、全身性红斑狼疮、慢性活动性肝炎等自身免疫性疾病以及在农业上防治苹果及水稻病害皆有很好的应用前景 (焦彦朝等 1990)。在弯颈霉属中, 如膨大弯颈霉 *Tolyocladium inflatus* W. Gams 也产生环孢菌素 (Bissett 1983; Hodge et al. 1996)。近年, Isaka 等 (2000) 从高雄山虫草 *Cordyceps takaomontana* 的无性型细脚拟青霉 *Paecilomyces tenuipes* BCC 1614 菌株中, 发现了能抗分枝杆菌和类菌质体的环肽类物质。

5. 甾醇类

1994 年 Kuo 等发现了来自虫草子实体甲醇萃取物的两个非虫草菌素和多糖的组分: Cs-36-39 和 Cs-48-51。这两个组分能明显地抑制 K562、Vero、Wish、Calu-1 和 Ran 肿瘤细胞系的生长。近年, Bok 等 (1999) 进一步研究报道, 从冬虫夏草的菌丝体甲醇溶液中经反复分离提纯, 获得了 2 个新的、具有抗多种恶性肿瘤活性的甾醇类物质, 其中一个为麦角甾醇衍生物的葡萄糖甙, 另一个为环氧甲胆甾核二烯醇。经恶性肿瘤细胞生长抑制实验表明, 前者在 10 μ g/ml 浓度下, 比后者对恶性肿瘤细胞 K562 (红白血病), Jurkat (T-成淋巴细胞)、HL-60 (骨髓细胞白血病)、WM1341 (恶性黑色素瘤) 和

RPMI8226 (多发性骨髓瘤) 的增生抑制率提高了 10%~40% (Bok et al. 1999)。

台湾 Lin 等 (1996), 用“体外活性肾小球膜细胞的抑制作用”为筛选模型, 获得了分离自冬虫夏草的一个甾体类活性组分“H1-A”(C28H42O2)。此物质能抑制人活化的肾小球膜细胞增殖, 缓解 IgA 肾病 (Berger 病) 和防治出现尿毒症及蛋白尿。此外, 最近的研究还表明, 冬虫夏草的提取物能提高巨噬细胞的吞噬能力, 刺激白细胞介素 1 (interleukin 1) 的分泌; 诱发脾 Thy-1 细胞的增殖和刺激 IgM 的合成与分泌; 刺激 T 淋巴细胞的增殖, 增加表达于 B 淋巴细胞上的白细胞介素 2 受体数量。其水提取物还能增加正常人和白血病患者天然杀伤细胞的活性。对心血管系统的作用是增加冠状动脉血流量、降血压、使血管舒张、刺激血小板形成和预防缺氧。

6. 其他

金城典子 (1999) 从四川、云南和青海采集的虫草中, 首次分离到类似于形成于动物脑松果体中的生物活性物质: N-乙酰-5-甲氧基色胺 (褪黑素)。经药理试验表明这种生物活性物质能增强心脏的收缩力、延长收缩时间, 调节胃酸和胃液分泌、保护胃黏膜及防治胃溃疡, 有强的支气管扩张作用, 防治阳痿和提高机体耐力等作用。

从子囊菌和担子菌中发现具生物活性的物质, 是当前生物科学中一个十分活跃的领域。最近在虫草中已发现了一些有趣的新物质, 如 Kittakoop 等 (1999) 从单侧生虫草 BBC 1869 菌株分离到了一些具生物活性的萘醌类物质 (naphthoquinones), 这类物质在 10^{-6} g/ml 的剂量下就有中等程度的抗疟疾活性。Isaka 等 (2000) 又从拟蛹虫草 *Cordyceps pseudomilitaris* Hywel-Jones BCC1620 菌株中分离到两种独特的虫草甙 (cordyanhydride)。随后, Jaturapat 等 (2001) 和 Isaka 等 (2000) 又从拟蛹虫草的同一菌株中发现了一种新的、具抗疟疾活性的类黄酮活性物质 (bioanthracenes)。他们已系统地研究了这种虫草的发酵条件、活性组分的分离及结构鉴定以及其抗疟活性。

最近的研究发现, 蛹虫草及古尼虫草的培养菌丝体中还富含超氧化物歧化酶 (SOD)。

(四) 虫草开发应用的发展趋势

在我国, 虫草基本都是直接作为药用, 传统上常用的种有: 冬虫夏草、蝉花 *Cordyceps cicadae* Shing 和大团囊虫草 *Cordyceps ophioglossoides* (Ehrh.) Fr. 3 种。近年, 对从冬虫夏草中分离到的中华头孢、中国拟青霉和中华被毛孢等真菌结合生产开发, 对它们的药理和药化进行了不少研究报道。与此同时, 对其他的一些虫草的应用价值也作了评估研究。这些研究工作的内容多集中于比较不同虫草与冬虫夏草在化学组成 (如氨基酸、甘露醇、甾醇、腺苷及微量元素等) 的相似性, 其目的是判明它们能否作为冬虫夏草代用品。一个有趣的结果是, 所测化学成分、药理作用与冬虫夏草基本相同。

特别值得一提的是, 近年来国外将冬虫夏草、蛹虫草和高雄山虫草 *Cordyceps takaomontana* 的无性型细脚拟青霉 *Paecilomyces tenuipes* 作为功能食品开发倍受人们青睐, 现已有大量产品投放市场。1997 年, Kondoh 等人又推出了用日本蚁草

Cordyceps japonensis Hara 培养生产的提高免疫力的功能食品（专利号：6603937）。从总体上看，虫草资源的开发应用，已形成了从层次上升和面的展开两个方向发展的新趋势（图 2）。

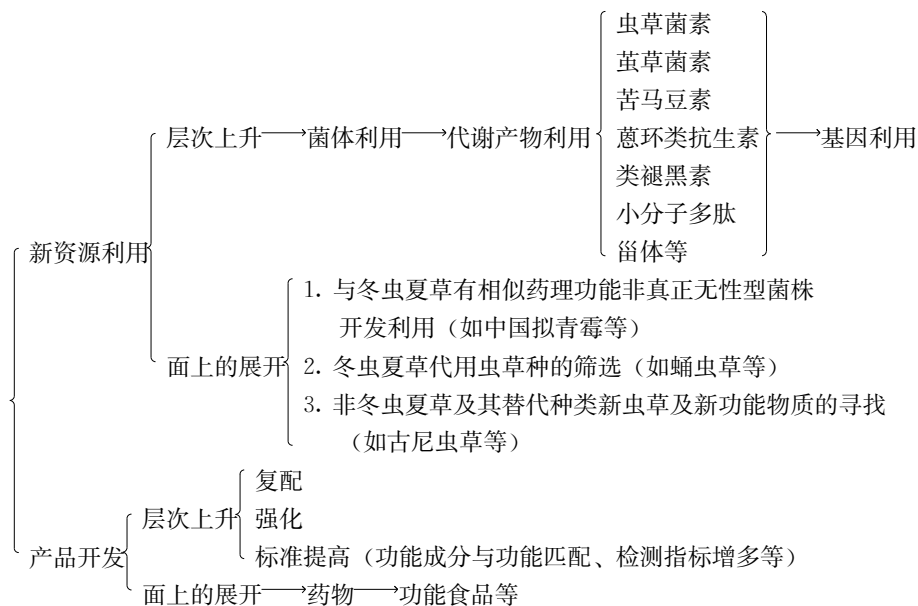


图 2 虫草资源及其开发利用发展趋势示意图

二、虫草的生物学

（一）虫草的形态特征

形态特征研究有两个基本内容，一是了解形态结构和它的功能意义，二是了解形态的发生、演化及其在分类中的价值。

在虫草属内，用于分类鉴定的主要形态结构特征有：

1. 内菌核（endosclerotium）

虫草的菌丝侵入昆虫寄主体后，大多形成肉质、白色、淡红黄色或褐色的致密菌核，个别的种如绿核虫草 *Cordyceps aeruginosclerota* Z. Q. Liang & A. Y. Liu 的菌核菌丝可呈绿色。组成菌核的菌丝致密不规则，分隔，可含有油滴，并常常产生间生、顶生或侧生薄壁或厚壁的孢芽（gemmae）（图 3）。在一些种中，孢囊具有一定的鉴别意义，如新富尔卡虫草 *Cordyceps neo-volkiana* Kobayasi 的孢囊棒状、厚壁，而另一种虫草的孢囊则是球形、拟椭圆形、棒形或柱状，串生，成熟时分隔。尖头虫草 *Cordyceps oxycephala* Penz. & Sacc. 的孢囊梭形，长 45 μ m；单侧生虫草的孢囊梭形或柱状，有 1~2 个分隔。

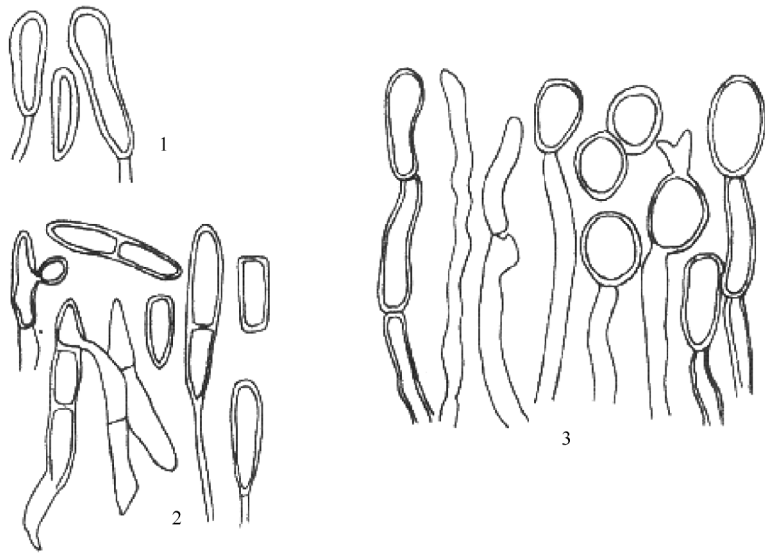


图3 几种虫草内菌核中的孢芽 (仿 Kobayasi 1941)

1. 蚁虫草 *Cordyceps formicarum*; 2. 单侧生虫草 *Cordyceps unilateralis*; 3. 下垂虫草 *Cordyceps nutans*

2. 菌丝体 (mycelium)

在寄主体表常被以各种菌丝体结构或菌套 (mycelial envelopes)。日本虫草 *Cordyceps nipponica* Lloyd 最先在寄主蝉若虫体上形成菌丝层, 但尔后会消失。新富尔卡虫草 *Cordyceps neo-volkina* Kobayasi 等一些种, 则以绒毛状 (tomentose) 菌丝体包被寄主。另一些种在寄主体表无菌丝体包被, 它们可从寄主昆虫的节间产生灰色、褐色或其他色的菌丝索, 将寄主昆虫附着于树皮、植物叶片等基物上。小蝉草 *Cordyceps sobolifera* 不仅在体表形成菌丝层, 而且在寄主头部产生白色、肉质垫状菌丝层, 子座

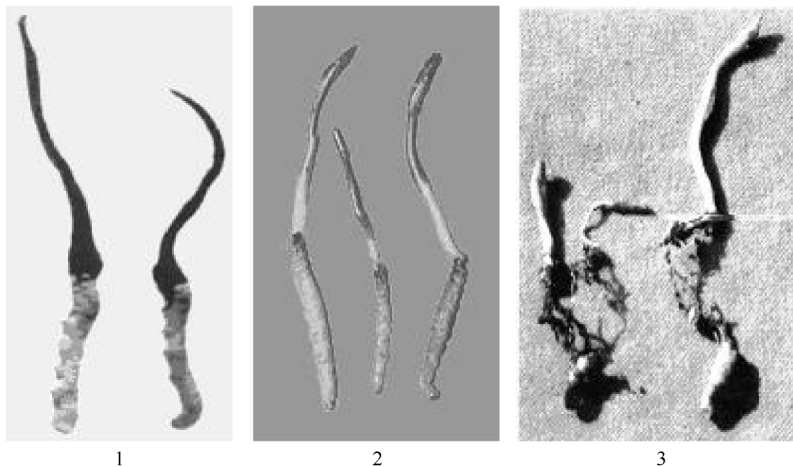


图4 虫草子座在寄主昆虫上的不同产生方式

1. 冬虫夏草 *Cordyceps sinensis*; 2. 古尼虫草 *Cordyceps gunnii* 3. 布氏虫草 *Cordyceps brongniartii*