

文章编号: 1001-1498(2009)02-0279-06

竹黄的系统学、生物学及活性成分的研究

李向敏¹, 高健², 岳永德^{2*}, 侯成林¹

(1. 首都师范大学生命科学学院, 北京 100037;

2. 国际竹藤网络中心, 国家林业局竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘要:竹黄菌是竹子上重要的真菌病原, 它隶属于子囊菌门、假球壳目、暗球壳科。它的系统学位置一直存在争议。竹黄同时也是我国重要的传统中药之一, 它的活性成分在抗肿瘤、食品色素及生物农药等方面有着重要应用价值, 其主要活性成分的分离、鉴定等成为近年的研究热点。本文结合作者近年的研究成果, 对一直存在争议的竹黄的系统分类学及其寄主研究作简要综述, 对近年来竹黄的活性成分竹红菌素、11, 11-二去氧沃替西林等研究热点作了简要介绍, 并对研究中存在的一些问题提出了解决的思路。

关键词:竹黄; 寄主; 活性物质

中图分类号: S789

文献标识码: A

Studies on Systematics, Biology and Bioactive Substance of *Shiraiabambusicola*

LIXiangmin, GAO Jian, YUE Yongde, HOU Chenglin

(1. College of Life Science, Capital Normal University, Beijing 100037, China;

2. International Center for Bamboo and Rattan, Key Laboratory on Bamboo and Rattan Science and Technology, SFA, Beijing 100102, China)

Abstract: *Shiraiabambusicola* was an ascomycetous fungus which was a parasite on the twigs of bamboos. It caused bamboo diseases and even destroys bamboo forest. The phylogenetic position and host range of *Shiraiabambusicola* were disputed for a long time. *Shiraiabambusicola* was one of the traditional Chinese medicines. The taxonomy, host, habitat, bioactive substance and utility of *Shiraiabambusicola* were discussed in this paper.

Key words: *Shiraiabambusicola*; host; bioactive substance

竹黄菌 (*Shiraiabambusicola* P. Henn), 俗名竹赤团子、竹赤斑菌、竹茧、竹参、竹花、淡竹黄和竹三七等^[1]。它是生长在短穗竹属等竹子的枝条上的寄生真菌, 能使竹子患赤团子病, 患病竹子生长缓慢, 严重时会导致成片的竹林叶色由绿变黄, 最后衰败死亡^[2]。但竹黄本身性味淡温, 具活血化淤、通经活络、镇惊、化痰止咳和补中益气的作用。民间常用于治疗虚寒胃痛、类风湿性关节炎、气管炎、百日咳、坐骨神经痛、跌打损伤、贫血头痛等症, 是我国一种重要的中药资源^[1]。

竹黄的主要活性成分是竹红菌素, 它是萜醌类

化合物, 具有很好的光敏特性, 具有良好的光敏杀伤肿瘤细胞和抑制艾滋病的作用^[3-7]。此外, 竹红菌素作为新兴的光电转换材料和分子探针以及光活化学农药有着重要的应用前景^[8-9]。随着对竹黄生物活性物质研究的深入, 竹黄多糖、抗肿瘤药物 11, 11-二去氧沃替西林等成分的开发利用^[10-11], 竹黄菌中各种活性成分在医药、食品色素及生物农药等方面越来越受到人们的关注; 但竹黄菌自然发生往往受到气候、寄主等多种因子的影响, 而且年年“采摘”会导致资源枯竭, 因此直接利用竹黄子实体提取活性成分往往受到多种限制, 很难大规模产业化加以

收稿日期: 2007-09-17

基金项目: 科技部“十一五”科技支撑项目(2006BAD19B08)和国家林业局“948”项目(2006-4-17)资助

作者简介: 李向敏(1980—), 女, 河南许昌人, 现为首都师范大学生命科学院在读硕士研究生, 研究方向: 微生物资源与开发。

* 通讯作者。

利用。为了更好地开发利用这一宝贵的自然资源,避免这一资源遭到耗竭,本文就竹黄菌的生物学、系统学、活性成分及应用前景等方面作简要综述,为竹黄菌的大规模开发利用提供理论基础。

1 分布

竹黄主要分布在江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、河南、四川等我国南方各省及亚洲的日本^[12-14],后发现贵州、云南等地也有分布^[2,15-16]。最近作者从广西产的毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie) 上分离到数株内生真菌,经过分子鉴定确定为竹黄菌,因此可以肯定在我国的广西也有竹黄菌分布。

2 症状

在短穗竹 (*B. rachystachyum densiflorum* (Rendle) Keng) 上,症状主要发生在小枝条上,春季到来的时候在小枝的叶鞘上形成灰白色、米粒状大小的子座,以后子座逐渐长大,颜色也有灰白色渐变为淡黄色到粉红色。5月中下旬形成成熟的、肉质的,近纺锤形、长椭圆形或不规则形瘤状子实体,5月底6月初子座开始龟裂萎缩,湿度大的时候常能挤出大量的孢子角或者流出液体并覆盖在子座表面,使子座形成鲜艳的桔红色。随后竹黄的子实体颜色逐渐变白,直至最后被虫子蛀蚀,干瘪发黑甚至脱落,被害小枝枝条常易折断。当竹黄大量发生或者年年发生时,竹叶发黄,竹子生长明显衰弱。

3 病原菌及其系统学地位

本病是由竹黄菌 (*Shiraia bambusicola* P. Henn) 侵染引起的。子座大小为 $1.5 \sim 4.0 \times 0.5 \sim 2.0$ cm。成熟的子座为粉红色,肉质,捏之有弹性,球形、纺锤形或者不规则形的瘤状。子囊壳为球形或者椭圆形,埋于子座的边缘,成熟时常有喙,直径 $480 \sim 580 \mu\text{m}$ 。子囊圆柱形,具有明显的双层壁, $260 \sim 350 \times 22 \sim 35 \mu\text{m}$,内含 6 个子囊孢子,偶有 8 个孢子的报道^[15],子囊孢子单行排列。子囊孢子常为纺锤形,两端稍尖,砖格状纵横分隔,幼时无色,成熟时常稍带橄榄色或者淡褐色, $42 \sim 92 \times 13 \sim 35 \mu\text{m}$ 。假侧丝线形,不分枝。子座、子囊及子囊孢子大小因产地、寄主或者不同的研究者观测而有所不同^[12-13,16]。分生孢子器未见,但一些研究者发现,分生孢子器在同一子座内侧形成,分生孢子为砖格

形,与子囊孢子近似,但稍大,无色或者淡褐色^[2,17-18]。

长期以来,竹黄的分类学一直比较混乱,其地位因不同的分类学家依据不同的标准而隶属不同的纲、目、科中。最早在 1900 年, Hennings^[19] 建立竹黄菌属 (*Shiraia* P. Henn), 将其归为子囊菌核菌纲 (Pyrenomycetes) 的赤壳科 (Nectriaceae) 中。1902 年, Saccardo 又根据竹黄菌有较大的肉质子座, 把它归到肉座菌目 (Hypocreales)、肉座菌科 (Hypocreace), 这一观点为后来的大部分菌物学家所接受^[20-22]。1980 年, 日本菌物学家 Amano^[23] 重新检查了保存在日本国家科学馆的竹黄菌模式标本, 指出 Hennings 所描述的竹黄菌是双囊壁而不是一直认为的单囊壁, 因而把竹黄菌归为子囊菌腔菌纲 (Loculobascomycetes)、假球壳目 (Pleosporales) 的假球壳科 (Pleosporaceae) 中。2001 年, Kirk 等^[24] 在第九版真菌学字典, 参考 Amano 的描述, 把竹黄菌归为座囊菌目 (Dothideales)、竹黄菌属, 但科的地位不确定。

国内的学者大都沿用 Saccardo 的分类系统将竹黄菌分别置于肉座菌目、肉座菌科^[18,25-27], 也有将其置于炭角菌目 (Xylariales)、肉座菌科^[2], 甚至置于球壳菌目 (Sphaeriales)、肉座菌科^[15,28]。徐梅卿等正确地接受了 Hawksworth 等^[24] 以及 Kirk 等^[29] 的对竹黄的系统学安排, 也即将竹黄置于座囊菌目、竹黄菌属, 但科的地位不确定。

几乎所有的传统分类学家, 都是以竹黄菌有性世代的子实体、子囊和子囊孢子的形态学特征为分类依据, 但分类性状侧重和方法不同, 将竹黄菌归于不同的目或科, 造成分类系统的分歧很大。近年来核糖体 DNA 序列分析被广泛的应用到真菌分子系统学研究。2004 年, 浙江大学的 Cheng Tian-Fan 等依据核糖体小亚基基因 (18S rDNA) 和内转录间隔区 (Internal transcribed space, ITS) 序列构建竹黄菌分子系统发育树, 并结合形态学特征重新界定竹黄菌的分类学地位。分子序列分析结果支持 Amano 的观点, 即竹黄菌属于假球壳目, 而不是肉座菌目或者座囊菌目; 但在科的归属上却与 Amano 的观点不一致。尽管竹黄菌的子囊和子囊孢子与假球壳科内的种有一定的相似性, 但分子序列分析显示竹黄菌和假球壳科成员分别位于不同的进化分支上并获得 100% 自举值支持。根据竹黄菌的薄壁包被以及分子数据, 研究者建议将其置于假球壳目的暗球壳科

(Phaeosphaeriaceae)中。最近 Ogawa 等在 GenBank 中,序列号为 AB105798 的竹黄菌株下非正式建立了一个新科,竹黄科 (Shiraiaceae)。目前,竹黄菌属中只有一个种,即竹黄菌。Cheng 等^[30]通过对来自我国东南部不同寄主上竹黄菌的 ITS 序列比对分析,不同寄主上竹黄菌的 ITS 差异性很小,认为不同寄主上的竹黄菌不存在明显的种内差异^[30]。2004 年,卢明锋等^[31]对采自云南西部山区的一株产花萼类化合物的菌寄生菌 (*Hymenocetes* sp.) 进行 ITS 序列分析,结果表明:此菌 ITS 序列与竹黄菌 ITS 序列相似性达到 92%,推测该菌株与竹黄菌亲缘关系较近;然而本文作者认为该寄生菌的系统学位置有待进一步研究,因为菌寄生菌属真菌隶属于粪壳纲 (Sordariomycetes)、肉座菌目、肉座菌科,而竹黄菌隶属于座囊菌纲 (Dothideomycetes)、假球壳目、暗球壳科,它们之间的亲缘甚远,ITS 序列如此的高相似性,暗示该菌株很可能是暗球壳科或者相近科的成员,而与肉座菌目的肉座菌可能毫无关系。2006 年,Doungpom 等^[32]从日本不同地方的竹子上分离培养得到相关的内生真菌,依据 18S rDNA 和 ITS 序列构建分子系统发育树分析他们之间的关系,他们分离到一株与竹黄菌类似的菌株和三株隶属竹黄菌属的真菌,在序列分析中显示这一菌株有可能是竹黄菌属一个新种。

4 寄主

据资料记载,竹黄菌有较广的寄主谱,包括了刚竹属 (*Phyllostachys* Sieb. et Zucc.)、苦竹属 (*Pleioblastus* Nakai)、箬竹属 (*Bambusa* Schreber)、箭竹属 (*Fargesia* Franch.) 和倭形竹 (*Indosasa shibataeoides* McClure)^[12-13, 16, 28];然而据赖广辉等^[33]对我国东南各省竹黄菌研究发现,竹黄菌只寄生在短穗竹属 (*Brachystachyum* Keng) 的一些成员上,主要是短穗竹 (*B. ensiflorum* (Pendle) Keng) 及其变种毛环短穗竹 (*B. ensiflorum* var. *villosum* S. L. Chen et C. Y. Yao) 和白纹短穗竹 (*B. albostratum* G. H. Lai), 此外还包括 4 种没有正式命名的次要寄主:宜兴短穗竹 (*B. yixingense*)、中间短穗竹 (*B.* sp.)、微耳短穗竹 (*B.* sp.) 及无耳短穗竹 (*B.* sp.)。

据作者最近在安徽省广德县竹种园以及旌德县的一些林场调查发现,竹黄菌在短穗竹上普遍发生,而与其相邻的其他各种竹种,包括刚竹属的成员却没有任何症状,这似乎印证了赖光辉等的结论;然

而,作者在研究我国广西毛竹内生真菌时发现,毛竹组织经过 75% 的酒精和次氯酸钠表面消毒后,培养所得多株不育的丝状真菌,经过分子鉴定和分析竟然是竹黄菌。因此,作者推断竹黄菌可能以内生菌的方式定殖在多种竹种上,但是由于营养、结构以及气候等多种因素影响使其无法发育形成子实体,即没有病症。

由于竹子一般不开花结实,使得竹亚科 (Bambusoideae) 到目前为止还没有形成完善的分类体系,这给森林病理学工作者对竹黄菌寄主上的鉴定带来困难。此外,在云南丽江一带的老百姓,对肉球菌 (*Engleromyces goetzii* P. Henn.) 和竹小肉座菌 (*Hypocrella bambusae* (Berk. et Broome) Sacc.) 以及竹黄通称为竹黄或者竹菌,因此我国西南地区的有关竹黄菌寄主分布需要进一步研究,除短穗竹属以外的竹黄菌寄主有待进一步证实。

5 竹黄菌的发生规律

一般认为竹黄菌多生于衰败或即将衰败的竹林中^[2, 15],但是据作者在安徽观察,看似健康以及长势很旺的竹林发生也比较普遍。一棵竹子上发生几个竹黄菌对竹子的生长几乎没有影响,但是大量的连年发生后竹子生长明显衰弱。不同生境对寄主发病的状况也颇有不同:竹黄菌在山凹洼地、河沟旁或阴坡湿润阴凉生境竹林中的致病率明显高于其他生境的竹林;在纯林中的致病率高于混交林;在同一片竹林中又以林缘部分致病率明显高于林内而不是传统认为的林内高于林缘。竹黄菌孢子的产生和传播与气温、降水和空气相对湿度密切相关,气温 22 ~ 26 °C,空气相对湿度 85% ~ 90%,光照强度 2 500 ~ 40 000 lx,对竹黄菌孢子的传播有利^[34]。竹黄菌子囊孢子的传播与物候期非常吻合,每当新竹开始展叶时也是竹黄成熟时期,此时,孢子大量的释放,侵染新的寄主。降水量及其时空分布对竹黄的发生影响特别明显,例如 2007 年安徽广德 4—5 月份降水量偏少,竹黄发病率较往年明显降低,甚至很难找到竹黄。一般来讲,在我国东南部 5 月下旬至 6 月上旬为竹黄菌的成熟期,同时也是最佳采收期。

6 分离培养及培养性状

在不同的培养基上,通过单孢、多孢或者组织分离法很容易获得竹黄的纯培养物^[26, 34-37];然而,不同研究者、不同的采集地甚至不同的分离方法所获

得的菌落特征差异很大。赵丹等^[15]将各研究者所获得的结果以表格的形式进行了总结,认为以组织分离法分离纯化获得的菌落形态较为一致,效果较好;但是无论何种方法获得的菌株在固体或者液体培养时,有的菌株产生竹红菌素,有的则根本不产生,出现这种现象可能的原因被认为是生态差异、菌株差异、培养条件和分离方法,甚至怀疑这些竹黄是否是同一种^[15]。作者通过组织分离法从同一个子座上分离出来数株竹黄菌,其形态特征差异也非常大,而通过孢子分离所得到的结果也十分相似,即有的产生少量的竹红菌素,有的不产生,有个别菌株产生明显的子座,有的菌落生长极其缓慢,从菌落形态上来看无法想象这些菌株都是竹黄菌。作者对来自我国安徽、江苏以及广西的十余株形态差异显著的竹黄菌株进行 ITS 序列分析,结果表明他们与日本以及来自我国四川和浙江的竹黄菌的 ITS 序列完全相同(待发表)。因此,我国大部分地区和日本的竹黄菌应该是同种的。

7 竹黄菌的化学成分

竹黄是重要的中药材,自 20 世纪 80 年代以来,许多研究者开始了竹黄化学成分的研究,结果显示:竹黄中含有多种生物活性物质,已分离鉴定得到十多种单体化合物^[38-39]。近年来,国内外的研究主要集中在具有多种药用价值的竹红菌素、抗肿瘤药物 11, 11 二去氧沃替西林等成分的开发利用。

7.1 竹红菌素

竹红菌甲素(hypocrellin A, HA)是从竹黄中分离提纯的主要活性物质,是我国学者万象义等^[40]首先从竹小肉座菌(*Hypocrella bambusae* (Berk et Br) Sacc)中分离鉴定到的一种新的萜类化合物,并命名。1981年,万象义等^[41]又从竹黄中分离得到竹红菌甲素,扩大竹红菌素作为光疗药用的来源。后来王景祥等^[38]从福建仙游县出产的竹黄中,经醇提、硅胶柱层析分离等技术,分离鉴定得到了竹红菌乙素(hypocrellin B, HB)。日本学者 Kishi T 等^[42]还从中分离出竹红菌丙素(hypocrellin C, HC)。2006年, Fang Li-Zhen 等^[43]又从中分离出竹红菌丁素(hypocrellin D, HD)。迄今为止,从竹黄中分离得到 4 种 hypocrellin A、B、C、D,统称竹红菌素,均属萜类化合物,是目前已知可见光区内优良的自然光敏色素。竹红菌素是我国自主开发的天然光敏药物,早已证明具有很好的抗菌、消炎及镇痛的功能,

近年的研究还发现,竹红菌素能通过光敏作用杀伤肿瘤细胞和抑制 HM。另外,竹红菌素无毒、无味、具有保健功能,且着色能力强,易溶于有机溶剂,色泽鲜红,可以考虑作为食用色素;另一方面,竹红菌素对细菌和真菌具有抑制作用,也可用作食物防腐剂等。

7.2 11, 11 二去氧沃替西林

中科院上海药物研究所赵维民等从竹黄中分离到药理性极强的化合物, 11, 11 二去氧沃替西林(11, 11 -dideoxyverticilin, ZH-4B), 分子式为 $C_{30}H_{28}N_6O_4S_4$ 。研究证实, 11, 11 二去氧沃替西林可以从多个步骤对抗血管内皮因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)、抑制新生血管的生成, 同时也在体外实验中证实它具较强的抑制肿瘤细胞增殖的能力, 引起细胞凋亡^[11]。

7.3 其他成分

早期分离到的主要有甘露醇、硬脂酸乙脂、硬脂酸、六孢素及通过对发酵液处理获得的竹黄多糖^[10, 38-39]。2002年,沈云修等^[44]采用硅胶柱色谱法从竹黄中还分离得到很强的生物活性的麦角甾醇、过氧化麦角甾醇、1, 8-二氢基萜醌和 hypomycin A, 但含量甚微。2006年,张梁等^[45]通过竹黄深层发酵,处理发酵液,从中分离提取得到 1, 5-二羟基-3-甲氧基-7-甲基萜醌(1, 5-dihydroxy-3-methoxy-7-methylanthracene-9, 10-dione), 此化合物是首次在微生物中获得,值得进一步的研究探讨。

8 问题和展望

世界上竹子多达 1 000 余种,目前仅仅报道一种竹黄菌,近年来分子生物学研究显示可能存在竹黄菌近似种或者新种,然而并没有获得有性态子实体证明,因此有必要对我国,特别是对我国西南地区竹黄菌资源进行详细的调查研究。

竹黄菌寄主的研究还没有获得统一的认识。在我国东南部竹黄菌是只寄生在短穗竹属一些种,还是有较广的寄主谱?我国西南各省有多种竹黄菌寄主的记载,甚至包括箭竹属(*Fargesia* Franch)的成员,这是否与云南丽江等地将肉球菌(*Engleromyces goetz* Henn)以及竹小肉座菌(*Hypocrella bambusae* (Berk et Br) Sacc)统称为竹黄或竹菌有关?尽管作者从来自广西的毛竹上分离到了多株竹黄菌,但是没有在林间观察到竹黄菌的子实体,而且广西尚无竹黄菌的报道,那么这些竹黄菌又是如何传播

到广西的?对于这一问题的解答需要我国菌物学家和竹子分类学家共同协作完成竹黄菌资源及其寄主系统分类学研究,特别是利用分子生物学手段重建竹黄菌及其寄主分子系统学。

竹黄菌具有极大的药用价值,在食品工业、光敏材料以及光活化农药有着重要的应用前景;但目前的来源仍然是野生竹黄菌资源,而野生自然资源是有限的,并且受地域、季节及寄主等多种因子的严格限制,易引起竹林衰败,破坏生态平衡。因此开展竹黄菌人工发酵研究显得十分必要。目前,虽然竹黄菌能够进行人工发酵培养,但具活性的次生代谢物质产量还非常低,以竹红菌素为例,目前液体发酵产量仅为 $7.62 \sim 45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[26,46]。作者最近筛选到一株高产菌株,竹红菌素的液体发酵产量大幅提高到 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,但是将其运用到生产还有一定的距离。因此有必要对竹黄菌开展常规育种及分子育种的研究,选育并筛选出适合生产的高产菌株;其次,通过优化竹红菌素的发酵工艺、弄清竹红菌素代谢途径等一系列手段,提高竹黄菌发酵产量并应用到实际生产中。

参考文献:

- [1] 刘波. 中国药用真菌 [M] 第 2 版. 太原:山西人民出版社, 1978
- [2] 西南林学院, 云南省林业厅. 云南森林病害 [M]. 云南科技出版社, 1992
- [3] Mohamed A S, Chee S K, Yuen G Y, *et al* Hypericin and hypocrelin induced apoptosis in human mucosal carcinoma cells [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2001, 65: 59 - 73
- [4] Chabupka R, Sureau F, Kocisova E, *et al* Hypocrelin A photosensitization involves an intracellular pH decrease in 3T3 cells [J]. Photochem Photobiol, 1998, 68: 44
- [5] Wang W H, Zhang Z. Relationship between photosensitizing activities and chemical structures of hypocrellins A and B [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1992, 14: 207
- [6] Diwu Z J, Lown J W. Hypocrellins and their uses in photosensitization [J]. Photochem. Photobiol, 1990, 52: 609 - 616
- [7] Hudson J B, Zhou J, Chen J, *et al* Hypocrelin, from *Hypocrella bambuseae*, is phototoxic human immunodeficiency virus [J]. Photochemistry and Photobiology, 1994, 60(3): 253 - 255
- [8] Li Leiming, Zhang Zhi-yi, Wang Da-hui, *et al* The photoinduced electron transfer between hypocrellins and colloidal semiconductors I. Kinetics of photosensitized reduction in a colloidal CdS system with Hypocrelin A as a sensitizer [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 1997, 102: 279 - 284
- [9] 丘勇, 宋心琦. 光活化农药 [J]. 化学通报, 1993(1): 21 - 24
- [10] 方积年, 叶淳渠, 刘玉荣. 竹黄多糖的研究 [J]. 化学学报, 1982(04): 325 - 329
- [11] 陈奕. 天然化合物 11, 11 二去氧沃替西林抗肿瘤机理研究——新生血管生成抑制及细胞 G₂/M 期阻滞 [D]. 中国科学院上海药物研究所, 博士学位论文, 2004
- [12] 邵力平, 沈瑞祥, 张素轩, 等. 真菌分类学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1983
- [13] 袁嗣令. 中国乔灌木病害 [M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [14] 上海农业科学院食用菌研究所. 中国食用菌志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1991
- [15] 赵丹, 梁宗琦. 竹黄的分离培养研究进展 [J]. 菌物研究, 2005, 3(1): 53 - 57
- [16] 徐梅卿, 戴玉成, 范少辉, 等. 中国竹类病害记述及其病原物分类地位 (下) [J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 45 - 52
- [17] 黄年来. 中国大型真菌原色图鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [18] 魏景超. 真菌鉴定手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979
- [19] Hennings P C. Fungi japonica [J]. Bot Jahrb Syst Pflanzengesch Pflanzengeogr, 1900, 28: 259 - 280
- [20] Saccardo P A. Sylloge Fungorum Omnium Hucusque Cognitorum [M]. Vol XVI Sumptibus auctoris, Typis seminarii, Patavii, 1902
- [21] Yamamoto M, Okada T. On *Shinia bambusicola* P. Henn [J]. Trans Mycol Soc Japan, 1966, 7: 188 - 192
- [22] M üler E, von Arx, J A. Pyrenomycetes: Meliolales, Coronophorales, Sphaeriales [M] // The Fungi: An Advanced Treatise, Vol N. A Taxonomic Review with Keys: Ascomycetes and Fungi Imperfecti Academic Press, New York and London 1973, 87 - 132
- [23] Amano N. Studies on the Japanese Loculascromycetes. Taxonomic position of the genus *Shinia* [J]. Bull Nat Sci Mus, Ser B (Bot), 1980, 6: 55-60
- [24] Kirk PM, Cannon P F, David J C, *et al* Dictionary of the Fungi [M] Ninth Edition CAB international, 2001
- [25] 戴芳澜. 中国真菌总汇 [M]. 北京: 科学出版社, 1979
- [26] 张灏, 邓丹, 石贵阳, 等. 竹红菌素产生菌的筛选与鉴定 [J]. 生物技术, 2002, 12(4): 19 - 21
- [27] 邓叔群. 中国的真菌 [M]. 北京: 科学出版社, 1963
- [28] 卯晓岚. 中国大型真菌 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000
- [29] Hawksworth D L, Kirk PM, Sutton B C, *et al* Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi [M] Eighth Edition UK. Cambridge, University Press, 1995
- [30] Cheng Tian-Fan, Jia Xiao-Ming, *et al* Phylogenetic study on *Shinia bambusicola* by rDNA sequence analyses [J]. J Basic Microbiol, 2004 (44): 339 - 350
- [31] 卢明锋, 黄玉碧, 张红雨, 等. 一株花醌类光敏剂产生菌 rRNA 基因 ITS 区的测序分析 [J]. 四川农业大学学报, 2004, 22(2): 138 - 141
- [32] Doungpom Morakotkam, Hiroko Kawasaki, Tatsuji Sek Molecular diversity of bamboo-associated fungi isolated from Japan [J]. FEMS Microbiology Letters, 2007, 266(1): 10 - 19
- [33] 赖广辉, 傅乐意. 竹黄主要寄生植物的研究 [J]. 中国野生植物资源, 2000, 19(1): 8 - 11
- [34] 林海萍. 竹黄菌 (*Shinia bambusicola*) 生物学性状及人工培养技

- 术研究 [D]. 浙江大学, 硕士学位论文, 2002
- [35] 吴锡鹏. 竹黄菌的栽培 [J]. 浙江食用菌, 1993 (5): 27 - 29
- [36] 李达旭, 赵建, 何颖, 等. 一种竹寄生真菌的分离鉴定及其有效成分发酵的初步研究 [J]. 四川大学学报, 2003, 40 (1): 140 - 143
- [37] 钟树荣. 从天然竹黄中分离的一株丝状真菌的研究 [D]. 成都: 中科院成都生物研究所, 硕士学位论文, 2003
- [38] 王景祥, 张黎明. 竹黄化学成分的研究 [J]. 中草药, 1990, 21 (7): 4 - 5
- [39] 胡晓, 沈联德. 竹黄化学成分的分离和结构鉴定 [J]. 华西药理学杂志, 1992, 7 (1): 1 - 4
- [40] 万象义, 陈远腾. 一种新的光化学疗法药物——竹红菌甲素 [J]. 科学通报, 1980, 24: 1148 - 1149
- [41] 陈远腾, 万象义. 竹黄 (*Shirata bambusicola* P. Henn.) 主要光敏有效成分的初步探讨 [J]. 云南大学学报, 1981 (2): 104 - 107
- [42] Kishi T, Tahara S, Taniguchi N, *et al*. New perylenequinones from *Shirata bambusicola* [J]. *Planta Med*, 1991, 57 (4): 376 - 379
- [43] Fang Li-Zhen, Qing Chen, Shao Hong-Jun, *et al*. Hypocrellin D, a cytotoxic fungal pigment from fruiting bodies of the ascomycete *Shirata bambusicola* [J]. *J Antibiot*, 2006, 9 (6): 351-354
- [44] 沈云修, 荣先国, 高宗华. 竹黄的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2002, 27 (9): 674-676
- [45] 张梁, 楼志华, 陶冠军, 等. 一种蒽醌类色素的体躯分离和结构分析 [J]. 中国中药杂志, 2006, 31 (19): 1 645-1 646
- [46] 石贵阳, 张大兵, 楼志华, 等. 竹黄菌液体培养条件下生成竹红菌素的研究 [J]. 药物生物技术, 2004, 11 (5): 299-301