

文章编号:1673-1689(2008)05-0021-06

药用真菌竹黄的研究进展

梁晓辉^{1,2}, 蔡宇杰^{1,2}, 廖祥儒^{*1,2} 魏兆媛^{1,2}

(1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 竹黄是我国特有的一种药用真菌,属于肉座菌科竹黄属,其主要药用成分为竹红菌素,是一种很有潜力的光疗药物。概述了竹黄菌的生物学特性、寄主植物、化学成分、生物活性物质(主要有竹红菌素、多糖、11,11'-二去氧沃替西林和蒽醌类色素等)及其功能的研究进展,为竹黄菌的保护与开发提供一定参考。

关键词: 竹黄;竹红菌素;化学成分;活性物质

中图分类号: R 915

文献标识码: A

The Progress of Research on Medicinal Fungus *Shiraia bambusicola*

LIANG Xiao-hui^{1,2}, CAI Yu-jie^{1,2}, LIAO Xiang-ru^{*1,2}, WEI Zhao-yuan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: *Shiraia bambusicola* is a kind of traditional Chinese medicine, and belongs to the *Shiraia* genus. The main medicinal ingredient of *S. bambusicola* is hypocrellins, a potential medicine for photodynamic therapy (PDT). In this review, the biological characteristics, main host plants, chemical constituents, biological active ingredients (including hypocrellines, 11,11'-dideoxyverticillin and anthraquinones pigments) and potential value for development of *S. bambusicola* are summarized and discussed. The review provides a reference for the protection and development of *S. bambusicola*.

Key words: *Shiraia bambusicola*; hypocrellin; chemical constituents; active matters

竹黄菌(*Shiraia bambusicola* P. Henn.)又名竹花、竹赤团子、竹三七、竹茧等,系一种特异寄生于某些竹子嫩枝上的真菌,其子座称竹黄,隶属于肉座菌科竹黄属。竹黄是一种民间药材,具有止咳祛痛、舒筋活络、祛风利湿、补中益气、活血补血、散瘀通经等功效,用于治疗虚寒胃痛、风湿性关节炎、

气管炎、百日咳、坐骨神经痛、跌打损伤、贫血头痛等病症^[1],竹黄菌主要分布于我国南部(主要有四川、江西、江苏、浙江、湖北、湖南、安徽、贵州、福建、云南等地区),国外日本和斯里兰卡也有报道^[2-5]。近年来,国内外学者对于竹黄的生物学特性、化学成分、功能性成分及其药理作用等方面进行了一系

收稿日期:2008-07-25.

基金项目:江南大学人才引进基金项目(066626);长江学者和创新团队发展计划(IRT0532).

作者简介:梁晓辉(1978-),男,河北无极人,发酵工程博士研究生。

*通讯作者:廖祥儒(1964-),江西南康人,理学博士,教授,博士生导师。主要从事生化与分子生物学研究。

Email:liaoxiangru@163.com

列深入的研究。其中研究得最为深入的活性成分是竹红菌素,该色素是目前已知的在可见光区内的优良光敏剂,具有良好的光敏杀伤肿瘤细胞、抗病毒、抑制糖尿病患者的视网膜病变等功能,并可以对 HIV-I 型病毒增殖产生抑制作用。临床上已经用于治疗皮肤病,如外阴白色病变和软化瘢痕疙瘩。此外,竹红菌素还可以制成新型的光敏杀虫剂和杀菌剂,并且是潜在的光电转换材料^[6,7]。除竹红菌素外,在竹黄子座中还发现了许多其他的活性成分。本文对竹黄菌的生物学特性、化学成分和生物活性物质等方面的研究进展作一综述,以期对竹黄菌资源的保护和综合开发利用提供参考和科学依据。

1 竹黄菌的生物学特性

1.1 竹黄菌的寄主植物

竹黄特异寄生在某些种类竹子的嫩枝上,其主要寄主一般认为是短穗竹属 (*Brachystachyum* sp. Keng),最重要的寄主是短穗竹 (*B. densiflorum* (Rendle) Keng) 及其变种毛环短穗竹 (*B. densiflorum* (Rendle) Keng var. *villosum* S. L.) 及白纹短穗竹 (*B. albostriatum* G. H. Lai)。此外,赖广辉等还发现 4 种次生寄主植物:宜兴唐竹 (*Sinobambusa yixingensis* C. S.) 以及其他 3 种未定名的唐竹。竹黄在不同种类竹子上的寄生率是不同的,其中以短穗竹和毛环短穗竹的寄生率为最高,产量也最大。竹黄在不同生境竹林中的寄生状况亦有很大差别:在山凹洼地或阴坡湿润阴凉生境中的竹林中寄生率最高,在纯竹林中的寄生率高于混交林中的寄生率^[8]。竹黄大量发生时常常引起竹林大面积枯死,故对竹林也要采取一定的保护措施。

1.2 竹黄的生长条件

竹黄菌可在 22~28 ℃ 生长,其菌丝发育最适温度为 22~25 ℃,湿度为 65%~75% 左右。子座发育适宜温度为 25~28 ℃,且需要 80% 以上的相对湿度,多于春季雨后发生。竹黄的生长需要散射光,阳光直射处子座发生较少。一般在每年 3 月下旬可见竹枝上有竹黄孢子萌发生成的白色菌丝,4 月份菌丝体在竹枝上逐步发育成粉红色细长纺锤形幼嫩子座。幼子座生长较快,常分泌出黄色粘稠液体,竹黄孢子的发生与传播和气温、降水和空气相对湿度密切相关。每年 5~6 月间,雨水充沛,气温适度,是竹黄适宜的生长发育期,在 5 月下旬至 6 月上旬,其孢子大量发生,故 5 月下旬至 6 月上旬为

竹黄的最佳生长发育期,子座在这个时期成熟,呈龟裂瘤状,此时即可采收。竹黄菌从孢子萌发到子座发育成熟大约需要 2 月余^[2,8]。

2 竹黄的化学成分

由于竹黄菌的人工培养还未获得重大突破,目前人们研究的重点是其天然子座的化学成分。竹黄子座中含有多种化合物,目前已经分离出并报道的有竹红菌素、甘露醇、硬脂酸、硬脂酸乙酯、麦角甾醇、过氧麦角甾醇、六孢素、hypomycin A, 1,8 二羟基蒽醌、1,5-二羟基-3-甲氧基-7-甲基蒽醌 (1,5-dihydroxy-3-methoxy-7-methylanthracene-9, 10-dione)、11, 11'-二去氧沃替西林 (11, 11'-dideoxyverticillin) 等^[9-13],此外竹黄还含有竹黄多糖^[14],其发酵液中也检测到有抗菌物质的存在^[15]。王凤芳等从营养学角度对市售竹黄干品的成分进行了研究,结果表明其含水为质量分数 9.29%,灰分质量分数 3.46%,脂肪质量分数 3.81%,蛋白质质量分数 14.40%,还原糖质量分数 1.77%,总糖质量分数 37.97%,甘露醇质量分数 6.68%,水溶性物质质量分数 51.98%,游离氨基酸质量分数 2.98%,总碳水化合物质量分数 69.04%^[16]。李聪等测得竹黄子座中甘露醇质量分数为 1.5%。这可能是竹黄产地不同所致。他们测定了竹黄子座中的主要氨基酸,其质量分别为每 100 g 含:天冬氨酸 4.62 mg,谷氨酸 8.77 mg,丝氨酸 14.71 mg,甘氨酸 21.02 mg,脯氨酸 31.17 mg,酪氨酸 295.28 mg^[17]。

3 竹黄中的生物活性物质研究

竹黄中含有多种生理活性成分,最引人瞩目的是竹红菌素,此外,竹黄菌多糖也有少量报道,11, 11'-二去氧沃替西林和蒽醌类衍生物也是新发现的具有药用价值化合物(见图 1),其发酵液也有一定的抗菌性能。下面对其主要活性成分进行介绍。

3.1 竹红菌素

3.1.1 竹红菌素的发现及种类 竹红菌素有 4 种:HA (hypocrellin A)、HB (Hypocrellin B)、HC (Hypocrellin C)、HD (Hypocrellin D)。HA 是由我国学者万象义等于 20 世纪 80 年代从我国云南省得竹寄生菌竹红菌 (*Hypocrella bambusae* (B. et Br.)) 子座中分离到的一种新型蒽醌类化合物^[18];之后,从真菌竹黄子座中又分离得到 HA, HB 和 HC 和 HD^[19,20]。竹黄中竹红菌素约占其干重质量的 0.4% 左右,较之竹红菌子座(3.9%)为低。除上述两种真菌外,菌寄生菌属 (*Hypomyces* (Fr.))

Tul. sp.)也可产生竹红菌素(0.2%)^[17]。上述3种真菌以竹黄菌分布最广。

3.1.2 竹红菌素的理化性质 竹红菌素都属于蒽醌类化合物,可溶于大多有机溶剂,如氯仿、丙酮、甲醇、乙醇、吡啶、二甲亚砜等,微溶于石油醚,不溶于水,与三氯化铁反应由红色变为紫黑色。竹红菌素在酸性和中性溶液中呈红色,在碱性溶液中为鲜

绿色,在紫外光照射下发出樱红色荧光。竹红菌素的乙醇或丙酮溶液在465nm附近有最大光吸收^[21]。故竹红菌素可以通过其颜色反应进行迅速鉴别,但对其结构的确认需要结合核磁共振、红外光谱、紫外光谱、质谱等多方面的数据。竹红菌素各组分之间因结构和相对分子质量都比较接近,故对其的分离提纯以及鉴定的难度较大。

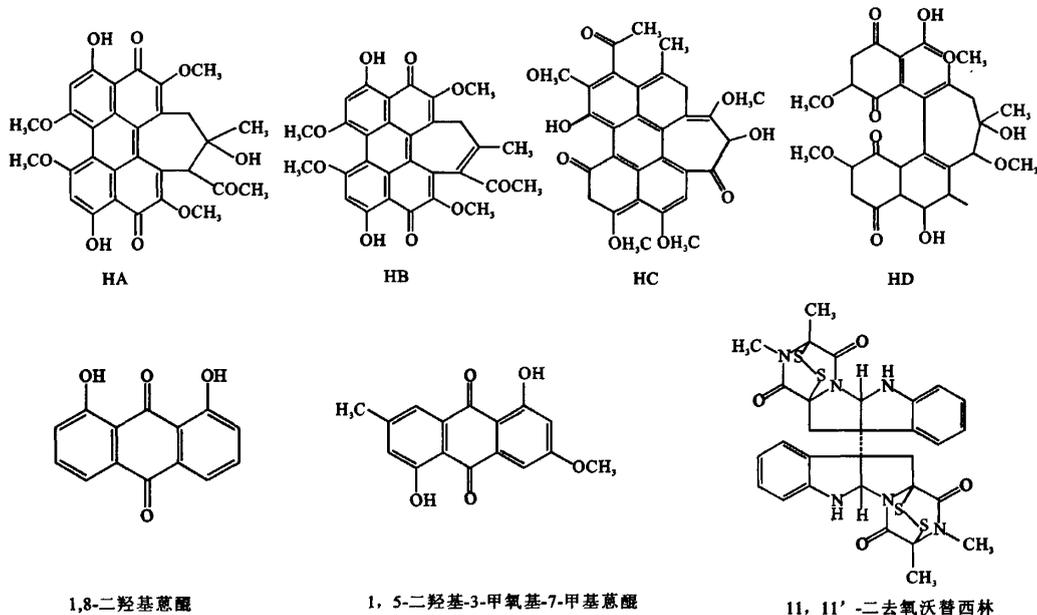


图1 竹黄子座中提取的6种活性成分结构

Fig. 1 Chemical structures of six biological active matters in the stromata of *Shiraia bambusicola*

3.1.3 竹红菌素的作用机理 竹红菌素属于光疗药物(PDQ),在一定波长的光照下(510nm左右)可以产生单线态氧(1O_2)和超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)和羟自由基($\cdot OH$),其中单线态氧在生物体中具有很强的细胞杀伤能力。竹红菌素光敏靶位点为肿瘤细胞的膜脂和膜蛋白,使得膜质的过氧化作用增强,膜蛋白巯基减少引发膜蛋白交联,从而破坏膜脂和膜蛋白的结构。竹红菌素的光敏反应还可以抑制蛋白酶C活力,以及造成 Na^+/K^+ ATP酶基因发生点突变,DNA分子损伤(包括DNA链的断裂、氢键的断裂以及碱基堆积力的破坏,HB的作用强于HA)、诱导肿瘤细胞凋亡等效果^[5,22-24]。

3.1.4 竹红菌素的化学改性研究 作为一种新型光疗药物,竹红菌素与临床应用的血卟啉衍生物相比具有三重态量子产率和单线态氧量子产率高、光毒性高、暗毒性低、容易排泄、对正常组织损伤小、不易聚集(聚集会降低光疗效果)等优点。但其光疗窗口吸收弱且水溶性差,严重限制了其在光动力疗法(photodynamic therapy, PDT)中的应用。采

用磺酸化和金属离子化等方法设计的竹红菌素衍生物可以大大提高其水溶性,但光动力学疗效降低;采用巯基化和胺基化方法设计的竹红菌素衍生物可以扩大其光响应范围,但水溶性未能改善^[25]。故化学改性研究的主要目的是设计具有一定脂水兼容性衍生物,以早日实现其在临床上的应用。

3.2 竹黄菌多糖

据报道,竹黄菌多糖具有保肝护肝,治疗慢性肝炎的功效^[26],竹黄菌经液态发酵后从发酵液中分离出两种白色粉末状杂多糖Sb1和Sb2。前者含有D-葡萄糖、D-半乳糖和L-阿拉伯糖,其摩尔比为0.37:1.00:0.07;后者含有D-葡萄糖、D-半乳糖、D-甘露糖和L-阿拉伯糖,其摩尔比为0.025:1.00:0.47:0.12。Sb1多糖的糖苷键为 β 型,还有少量 α 型糖苷键;Sb2糖苷键均为 β 型。属于杂多糖的大多数是葡萄糖、甘露糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和鼠李糖等其中几种单糖组成,而竹黄多糖SB2组分有葡萄糖、甘露糖、半乳糖和阿拉伯糖4种单糖构成,这是比较少见的^[14]。目前国外尚未见到竹

黄多糖的报道,竹黄菌胞内多糖亦无人提及。故有必要展开对其胞内多糖和胞外多糖的深入研究。

3.3 11,11'-二去氧沃替西林

陈奕等还在竹黄菌子座中发现了抗血管生成物质 1,11'-二去氧沃替西林,该物质在体内和体外研究中显示有潜在的抗癌作用。研究表明,该物质可抑制 HUVECs 增殖,对 VEGF 刺激细胞和血清刺激内皮细胞的 IC₅₀ 分别为 (0.17 ± 0.05) μmol/L、(0.39 ± 0.08) μmol,且可诱导细胞凋亡,抑制 HUVECs 迁移和类血管形成,阻止 Matrigel 大鼠动脉环“出芽”和小鼠体内的 Matrigel plug 模型血管生成。此外,11,11'-二去氧沃替西林还可以减少 MDA-MB-468 乳腺癌细胞分泌 VEGF 及其受体 Flt-1 以及 KDR/Flk-1 磷酸化,受体磷酸化抑制作用与其减少磷酸化细胞外信号调节激酶 (PERK) 和增加 p38 丝裂原活化蛋白激酶 (p38MAPK) 激活有关。上述研究表明 11,11'-二去氧沃替西林是一个有效的血管生成抑制剂^[12]。

3.4 蒽醌类化合物

蒽醌类化合物在自然界植物中分布很广,还存在于低等植物地衣和某些菌类的代谢产物中^[27]。蒽醌类的衍生物种类很多,很多均具有生物活性,可以用于制药和化学药物合成的中间体。目前从竹黄中发现的蒽醌类衍生物有 1,8-二羟基蒽醌和 1,5-二羟基-3-甲氧基-7-甲基蒽醌。后者曾在植物意大利番泻 (*Cassia italica*) 中报道,该物质对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌均有抑制作用,如 *Bacillus anthracis* 的最低抑菌浓度 (MIC) 为 130 μg/μL, *Corynebacterium pseudodiphthericum* MIC 为 190 μg/μL, *Pseudomonas aeruginosa* MIC 为 170 μg/μL。此外,1,5-二羟基-3-甲氧基-7-甲基蒽醌还具有抗肿瘤作用^[28]。

3.5 竹黄菌发酵液的抗菌能力

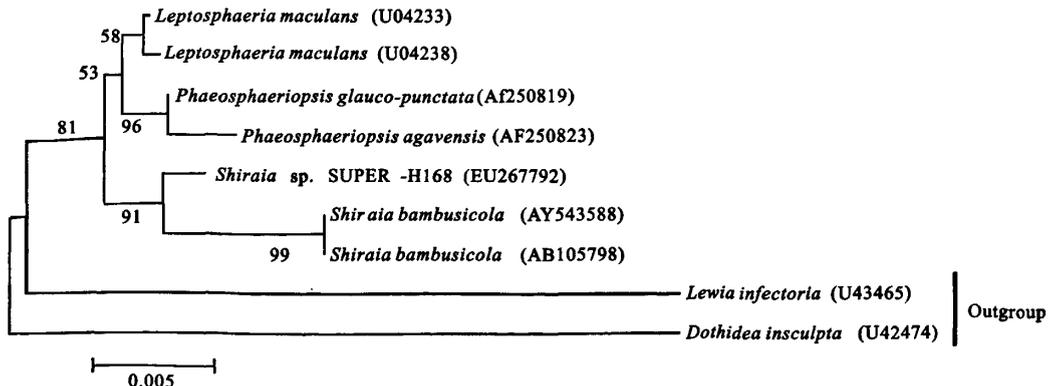


图 2 竹黄菌株 SUPER-H168 18S rDNA 系统发育分析 (neighbor-joining tree)

Fig. 2 A neighbor-joining analysis tree of the strain SUPER-H168 18S rDNA

竹黄菌发酵液具有广泛的抑菌能力,其乙酸乙酯提取物对于金黄色葡萄糖球菌和大肠杆菌的 (MIC) 为 0.4 mg/mL,最低杀菌浓度 (MBC) 为 3.19 mg/mL。对于白地霉和黑曲霉的 MIC 和 MBC 均为 0.024 mg/mL^[15]。但其作用成分不清楚,作用机理亦不明确。

4 结 语

综上所述,竹黄菌是一种值得开发和利用的药用资源。尤其是其有效成分蒽醌类色素作为新一代的光疗药物,已经在临床上治疗某些皮肤病、风湿性关节炎等症,且存在很大的药用潜力如治疗癌症、心血管疾病等。竹黄多糖的护肝作用亦逐渐引起人们的重视。时至今日,人们对竹红菌、竹黄菌以及竹红菌素的研究已经持续了近 30 年,但是竹红菌素大规模发酵生产仍然没有实现。故竹红菌素、竹黄菌多糖及其他活性成分的研究和生产都受到了极大的限制。由于采收期仅集中于每年 5、6 月份,地域分布不平衡,野生资源产量低,其应用亦受到了很大限制。目前市场上流通仅有竹红菌素软膏一种药品,且是从野生子座中提取的。其他诸如在光敏农药和光电转换材料等方面的应用仅停留在实验室研究,无法真正实现其大范围的应用。为了综合开发利用竹黄菌,有必要选育出一株稳定高产的菌株,并对其产色素条件和机理进行深入研究,以期完全实现工业化生产,这无疑将会大大加快竹红菌素及竹黄相关药品、产品的问世,同时也有利于对野生竹黄菌和竹红菌的资源保护。目前,本实验室已经筛选到一株稳定产竹红菌素的竹黄菌株 *Shiraia* sp. SUPER-H168,并对该菌株 18S-rDNA 序列进行了测定和系统发育分析 (图 2)。有关其产竹红菌素的种类以及发酵条件正在进一步研究中。

参考文献(References):

- [1] 钟树荣, 赵海, 李安明, 等. 一种尚待开发的中药——竹黄[J]. 中草药, 2002, 33(4): 372—374.
ZHONG Shu-rong, ZHAO Hai, LI An-ming, et al. Potential TCM—*Shiraia bambusicola* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2002, 33(4): 372—374. (in Chinese)
- [2] 贾小明, 徐晓红, 庄百川, 等. 药用竹黄菌的生物学研究进展[J]. 微生物学通报, 2006, 33(3): 147—150.
JIA Xiao-ming, XU Xiao-hong, ZHUANG Bai-chuan, et al. The progress of biological research of medicinal fungus *Shiraia bambusicola* [J]. *Microbiology*, 2006, 33(3): 147—150. (in Chinese)
- [3] Cheng T F, Jia X M, Ma X H, et al. Phylogenetic study on *Shiraia bambusicola* by rDNA sequence analyses [J]. *J Basic Microbiol*, 2004, 44(5): 339—350.
- [4] Morakotkarn D, Kawasaki H, Seki T. Molecular diversity of bamboo-associated fungi isolated from Japan [J]. *Fems Microbiol Lett*, 2007, 266: 10—19.
- [5] Ali S M, Olivo M. Efficacy of hypocrellin pharmacokinetics in phototherapy [J]. *Int J Oncol*, 2002, 21(6): 1229—1237.
- [6] 肖仔君, 陈惠音, 杨汝德. 竹红菌素 [J]. 中国食品添加剂, 2003(4): 74—76.
XIAO Zi-jun, CHEN Hui-yin, YANG Ru-de. Hypocrellin [J]. *China Food Additives*, 2003(4): 74—76. (in Chinese)
- [7] 张俭, 马岚. 竹红菌素研究的进展 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2003, 25(增): 184—188.
ZHANG Jian, MA Lan. Recent advances of hypocrellin research [J]. *Journal of Yunnan University (Natural Science Edition)*, 2003, 25 (supplement): 184—188. (in Chinese)
- [8] 赖广辉, 傅乐意. 竹黄主要寄主植物的研究 [J]. 中国野生植物资源, 2000, 19(1): 8—11.
LAI Guang-hui, FU Le-yi. Study on the main host plants of *Shiraia bambusicola* [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2000, 19(1): 8—11. (in Chinese)
- [9] 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.
SHEN Yun-xiu, RONG Xian-guo, GAO Zong-hua. Studies on the chemical constituents of *Shiraia bambusicola* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2002, 27(9): 674—676. (in Chinese)
- [10] 胡晓, 沈联德. 竹黄化学成分的分离和结构鉴定 [J]. 华西药杂志, 1992, 7(1): 1—4.
HU Xiao, SHEN Lian-de. The isolation and structure identification of chemical constituents of *Shiraia bambusicola* [J]. *West China Journal of Pharmaceutical Sciences*, 1992, 7(1): 1—4. (in Chinese)
- [11] 刘雅峰, 潘勤. 真菌竹黄中的过氧麦角甾醇的分离 [J]. 天津中医学院学报, 2004, 23(1): 15—16.
LIU Ya-feng, PAN Qin. Separation of peroxy-ergosterol in fungus *shuhuang* [J]. *Journal of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine*, 2004, 23(1): 15—16. (in Chinese)
- [12] Chen Y, Zhang Y X, Li M H, et al. Antiangiogenic activity of 11, 11'-dideoxyverticillin, a natural product isolated from the fungus *Shiraia bambusicola* [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2005, 329: 1334—1342.
- [13] Cai Y J, Ding Y R, Tao G J et al. Production of 1,5-dihydroxy-3-methoxy-7-methylanthracene-9,10-dione by submerged culture of *Shiraia bambusicola* [J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2007, 18: 322—327.
- [14] 方积年, 叶淳渠, 刘玉荣, 等. 竹黄多醣的研究——I. 分离纯化及其性质 [J]. 生物化学与生物物理学报, 1980, 12(4): 365—370.
FANG Ji-nian, YE Chun-qu, LIU Yu-rong, et al. *Shiraia Bambusicola*——I. Isolation and Identification of two polysaccharides, Sb1 and Sb2 from a species of ascomycetes [J]. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 1980, 12(4): 365—370. (in Chinese)
- [15] 李加友, 李兆兰, 焦庆才, 等. 竹黄菌发酵液萃取物的抗菌活性研究 [J]. 南京中医药大学学报, 2003, 19(3): 159—160.
LI Jia-you, LI Zhao-lan, JIAO Qing-cai, et al. A study on antibiotic activity of extract of fermented bamboo parasitic fungus [J]. *Journal of Nanjing TCM University*, 2003, 19(3): 159—160. (in Chinese)
- [16] 王凤芳. 药用真菌—竹黄成分的分析测定 [J]. 食品工业, 2007(3): 17—19.
WANF Feng-fang. Analysis and determination of components in the *Shiraia bambusicola* [J]. *The Food Industry*, 2007 (3): 17—19. (in Chinese)
- [17] 李聪, 汪汉卿, 谢金伦, 等. 肉座菌科三种药用真菌的化学成分分析比较. 中草药, 2000, 31(4): 250—251.
LI Cong, WANG Han-qing, XIE Jin-lun, et al. A comparative study of chemical components in three kind of fungi of hypocreaceae [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2000, 31(4): 250—251.

- [18] 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, 25(24): 1148—1149.
WAN Xiang-yi, CHEN Yuan-teng. Hypocrellin A, a new drug for photochemotherapy[J]. *Chin Sci Bull*, 1980, 25(24): 1148—1149. (in Chinese)
- [19] Kishi T, Tahara S, Taniguchi N, et al. New perylenequinones from *Shiraiia bambusicola* [J]. *Planta Med*, 1991, 57: 376—379.
- [20] Fang L Z, Qing C, Shao H J, et al. Hypocrellin D, a cytotoxic fungal pigment from fruiting bodies of the ascomycete *Shiraiia bambusicola* [J]. *J Antibiot*, 2006, 59(6): 351—354.
- [21] 刘为忠, 李聪, 陈远腾, 等. 菲醌类化合物总量的测定[J]. 云南化工, 2000, 27(2): 35—37.
LIU Wei-zhong, LI Cong, CHEN Yuan-teng, et al. Determination of the total quantity of perylene quinonoids[J]. *Yunnan Chemical Technology*, 2000, 27(2): 35—37. (in Chinese)
- [22] Diwu Z J, Zhang C, Lown J W. Photosensitization with anticancer agents. 18. Perylenequinonoid pigments as potential photodynamic therapeutic agents; preparation and photodynamic properties of amino-substituted hypocrellin derivatives [J]. *Anticancer Drug Des*, 1993, 8(2): 129—143. .
- [23] Diwu Z J, Zimmermann J, Meyer T, et al. Design, synthesis and investigation of mechanisms of action of novel protein kinase C inhibitors; perylenequinonoid pigments[J]. *Biochem Pharmacol*, 1994, 47 (2): 373—385.
- [24] Ali S M, Olivo M. Mechanisms of action of phenanthroperylenequinones in photodynamic therapy (review)[J]. *Int J Oncol*, 2003, 22 (6): 1181—1191.
- [25] 徐尚杰, 张晓星, 陈申, 等. 新型光动力学药物—竹红菌素衍生物的研究与进展[J]. 科学通报, 2003, 48(10): 1005—1015.
XU Shang-jie, ZHANG Xiao-xing, CHEN Shen, et al. A new drug for photochemotherapy—the progress of hypocrellin derivatives[J]. *Chin Sci Bull*, 2003, 48(10): 1005—1015. (in Chinese)
- [26] 林海萍, 陈声明, 陈超龙. 一种值得开发利用的药用真菌—竹黄[J]. 浙江林业科技, 2002, 22(1): 77—80.
LIN Hai-ping, CHEN Sheng-ming, CHEN Chao-long. *Shiraiia bambusicola*, a medicinal fungi needed to be developed[J]. *Jour of Zhejiang For Sci & Tech*, 2002, 22(1): 77—80. (in Chinese)
- [27] 段淑娥, 李敏. 中草药中蒽醌化合物的研究进展[J]. 西安文理学院学报, 2005, 8(1): 24—28.
DUAN Shu-e, LI Min. Advance in anthraquinone of Chinese herbal medicine[J]. *Journal of Xi'an University of Arts & Science*, 2005, 8(1): 24—28. (in Chinese)
- [28] Kazmi M H, Malik A, Hameed S, et al. An anthraquinone derivative from *Cassia italica*[J]. *Phytochemistry*, 1994, 36 (3): 761—763.

(责任编辑:杨萌)