

鸡油菌属真菌 2 个洲际间断分布种*

邵士成^{1 2}, 田霄飞^{1 2 3}, 刘培贵^{1 * *}

- (1. 中国科学院昆明植物研究所, 生物多样性与生物地理学重点实验室, 云南昆明 650204;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南昆明 650223)

摘要: 分别从云南省剑川县和香格里拉县采集到鸡油菌属 (*Cantharellus*) 真菌的东亚/北美/大洋洲间断分布种红鸡油菌 (*C. cinnabarinus*) 和东亚/北美间断分布种太平洋金色鸡油菌 (*C. formosus*)。对两者进行了形态学描述和基于核糖体大亚基 (LSU nrDNA) 的分子系统学分析。研究结果表明中国原被定为 *C. cinnabarinus* 的标本代表着一个尚未发表的新分类单元, 而本文报道的红鸡油菌为真正的 *C. cinnabarinus*; 太平洋金色鸡油菌为中国新纪录种, 以其暗褐色的子实体区别其近似种 *C. cibarius*。研究标本保存于中国科学院昆明植物研究所隐花植物标本馆。

关键词: 分类; 红鸡油菌; 太平洋金色鸡油菌; 中国西南; 新纪录

中图分类号: S 646.6.023 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X (2012) 02-0150-06

Two Species with Intercontinental Disjunct Distribution of the Genus *Cantharellus*

SHAO Shi-cheng^{1 2}, TIAN Xiao-fei^{1 2 3}, LIU Pei-gui¹

- (1. Key Laboratory of Biodiversity and Biogeography, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Kunming Branch, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: Based on materials obtained from Jianchuan and Shangri-La, Yunnan, China, two species with intercontinental disjunct distribution pattern of the genus *Cantharellus* were reported here: Eastern Asia-Australasia-North America disjunct *C. cinnabarinus* and Eastern Asia-North America *C. formosus*. Morphological description and phylogenetic analysis based on LSU nrDNA were made. The results showed that Chinese specimens formerly labeled as *C. cinnabarinus* turn out to be a taxon to be described and the material presented here represents the true *C. cinnabarinus*. *C. formosus* is a new record to China. It is distinguished from its closely related *C. cibarius* by the much duller Basidiomata. Specimens studied are deposited in Herbarium of Cryptogams, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (HKAS).

Key words: taxonomy; *Cantharellus cinnabarinus*; *Cantharellus formosus*; southwestern China; new record

收稿日期: 2011-05-14 修回日期: 2011-05-24 网络出版时间: 2012-3-16 17:43

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (30770007, 30800005)。

作者简介: 邵士成 (1980-), 男, 山东临沂人, 在读博士研究生, 主要从事真菌分类与系统学研究。

E-mail: shaoshicheng@mail.kib.c.cn

** 通讯作者 Corresponding author: 刘培贵 (1953-), 男, 山西人, 博士生导师, 主要从事高等真菌系统与资源研究。E-mail: pglu@mail.kib.ac.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20120316.1743.201202.150_002.html

鸡油菌属真菌 (*Cantharellus* Adans. ex Fr.) 广泛分布于除南极洲之外的欧洲、非洲、亚洲和北美洲世界各地, 深受各地人民的喜爱^[1-3], 有重要的经济和科研价值^[4]。作为同担子菌亚纲的八大分支之一^[5-7], 其分类和系统学的研究近来受到越来越多的关注^[8-12]。但是鸡油菌类真菌可用于物种鉴定的形态特征比较有限^[13], 故基于分子序列的物种鉴定在此类大型真菌分类学研究中显得相当重要^[8]。其中核糖体大亚基 (LSU nrD-NA) 是此类真菌物种鉴定较常用的片段^[7, 14-15]。

国内对鸡油菌系统分类学研究仅见于田雷飞^[16], 在此之前裘维蕃和臧穆分别于1973年和1980年发表过两个新种^[17-18], 其它仅见于区域性的一些专著中^[19-20]。云南省地跨热带亚热带地区, 极为丰富的植物多样性孕育了大型真菌的多样性。本文通过形态观察和系统发育关系分析报道了采自云南省剑川县和香格里拉县两个具有不同间断分部式样的鸡油菌类真菌物种红鸡油菌 (*C. cinnabarinus*) 和太平洋金色鸡油菌 (*C. formosus*)。研究标本保存于中国科学院昆明植物研究所隐花植物标本馆 (HKAS)。

1 材料与与方法

宏观特征描述基于子实体新鲜状态, 颜色比对参照 KÖRNERUP 和 WANSCHER^[21]。显微形态特征观察使用刀片从干标本切取相应部位的薄片, 放入加有5% KOH 溶液的载薄片上恢复组织结构, 在尼康 E400 显微镜下观察并测量。绘图使用尼康 E400 (Y-IDT) 绘图仪。每份标本测量20个孢子。数据的统计采用 (a -) b - c (- d) 格式, a 和 d 代表极值, b 和 c 代表数据种占90%的最小值。Q 值表示孢子的长宽比值, Q_m 表示 Q 的平均值 ± 标准差。

标本总 DNA 的提取采用改进的 CTAB 法^[22]。PCR 反应的目标片段为 5' 端核糖体大亚基部分片段, 使用引物为 ITS4R 和 LR5^[14]。PCR 扩增反应体系选用 50 μL 体系, 包括 10 × Reaction Buffer (含 Mg²⁺) 5 μL, 200 μmol/L dNTP 4 μL, 2.5 μu/μL Taq DNA polymerase 0.5 μL, 10 umol/L primer A 和 primer B 各 2 μL, 0.1% BSA solution 2 μL, 0.1 ~ 2 μL DNA templates (根据 DNA 稀释浓度的不同而异), ddH₂O 定容至 50 μL。每次 PCR 设空白对照, 即配好体系后不加入模板。PCR 扩增反应程

序热循环参数设置为 94℃ 变性 5 min, 35 个循环: 94℃ 30 s, 48 ~ 55℃ 退火 30 s (退火温度根据引物合成报告单进行设定), 72℃ 延伸 60 ~ 90 s, 循环结束 72℃ 延伸 10 min, 4℃ 条件下保存。测序后的序列保存于 GeneBank, 获取序列号分别为: JF906720-JF906727。

所测序列在 GeneBank 上比对并下载相关序列, 使用 BioEdit 比对序列。系统发育分析使用软件 PAUP 4.0 最大简约方法。

2 结果与分析

2.1 红鸡油菌 [*Cantharellus cinnabarinus* (Schwein.) Schwein., Trans. Am. phil. Soc., New Series 4 (2): 153 (1832)]

特征描述: 通体艳红色, 宽 0.6 ~ 1.3 cm。菌盖薄, 平凸或中央稍微凹陷, 脐状或漏斗状, 常不规则、光滑、朱红色, 边缘波状或浅裂。菌柄 (1.2 ~ 2.5) cm × (0.2 ~ 0.7) cm, 等粗或向下渐细, 光滑, 实心, 同色。子实层深延伸, 界限清晰。菌脉明显, 中等疏密, 有分枝, 1 ~ 2 mm 宽, 有横脉, 同色或颜色稍白 (见图 1)。菌肉薄, 实心, 白色靠近表面有红色调。水果味、桂花香味, 口感温和至略有辛辣味。

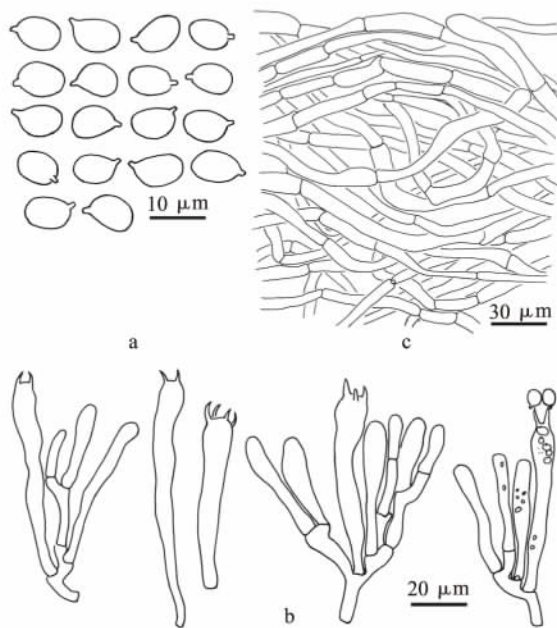


图 1 红鸡油菌 (*C. cinnabarinus*) 子实体 (HKAS 58243)
Fig. 1 Basidiomata of *C. cinnabarinus* (HKAS 58243)

孢子 [20/1/1] 大小为 [5.0 ~ 6.0 (- 6.5)] μm × [7.5 ~ 8.5 (- 9.0)] μm, 新鲜孢子有淡红色或淡黄色调, 光滑, 宽椭圆形 (见图 2a); 担子棒状大小为 (61 ~ 86) μm × (8 ~ 11) μm, 小梗 2 ~ 4 枚 (见图 2b); 盖表菌丝平伏型, 粗 3 ~ 16 μm, 多数小于 10 μm, 壁薄 (见图 2c);

菌肉菌丝 3~11 μm , 大部分 5.5~7 μm ; 菌髓菌丝 3~8 μm , 大部分 3.5~5 μm ; 锁状联合常见。生境与西南地区分布: 丛生或群生于林地开阔区域, 分布地区: 加拿大、美国、澳大利亚和中国西南地区。

研究标本: 云南省剑川县千狮山, 7-IX-2009, alt. 2491 m, Yu23 (HKAS 58243); Australia, NSW, 15-V-1999, OSU2449 (OSC 69584); America, Tennessee county, Blount Townsend, R. H. Petersen12104 (TENN 060033); America, Tennessee county, Sevier, E. B. Lickey12523 (TENN 060690)。



注: a. 担孢子; b. 担子; c. 盖表皮菌丝。
Note: a. spores; b. basidia; c. suprapellis of pileus.

图 2 红鸡油菌(*C. cinnabarinus*)显微特征(HKAS 58243)
Fig. 2 Micro-morphology of *C. cinnabarinus* (HKAS 58243)

2.2 太平洋金色鸡油菌 [*Cantharellus formosus* Corner, Monogr. Cantharelloid Fungi: 45 (1966)]

特征描述: 子实体中型, 伞形。菌盖平展或者中央略有凹陷, 橙黄色 (4A8-4A6), 潮湿环境下水浸状, 盖表具有金黄色的鳞片, 成熟后卷起, 菌盖直径 5~9 cm, 菌肉厚 0.4~0.5 cm; 菌柄实心, 近圆柱形, 上下等径, 大小 (4~7) cm × (0.7~1.0) cm, 颜色明显比子实层颜色加深; 菌肉暗白色或略有粉色调 (8A2)。子实层延伸至菌柄末端处有明显的黄色粉状鳞片 (2A7-2A8) 金黄色 (3A6-3A7), 脉纹明显, 高度 0.15~0.2 cm, 间距

0.2~0.3 cm, 较密, 近菌盖边缘处有明显分叉, 有横脉和网结 (见图 3); 具有清淡的桂花香味。

孢子 [100/5/5] 较大, 长椭圆形, 透明非淀粉质, 内含多个油滴, [(8.5 -) 9~11] μm × [5.5~6.5 (-7)] μm (见图 4a), $Q = (1.46 -) 1.5 \sim 1.75$, $Q_m = 1.62 \pm 0.09$; 担子细长, 棒状, (87~106) μm × (7.5~13) μm , 常具有 4~6 枚小梗 (见图 4b); 盖表皮菌丝平伏型 (见图 4d), 鳞片菌丝厚壁 (见图 4c), 直径 3~15 μm , 具有锁状联合, 次生分隔未见; 菌肉菌丝 4~18 μm ; 菌髓菌丝粗 3~6.5 μm , 偶见有厚壁菌丝 (见图 4e, 4f); 柄表皮菌丝平伏型, 粗 3~7.5 μm 。



图 3 太平洋金色鸡油菌(*C. formosus*)
子实体 (HKAS 55790)

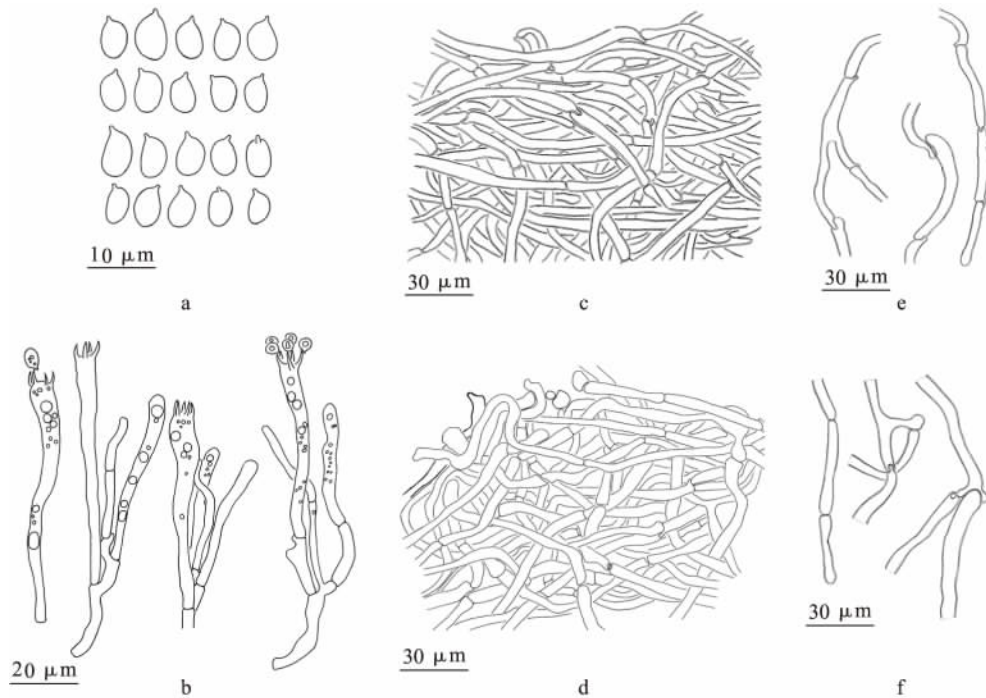
Fig. 3 Basidiomata of *C. formosus* (HKAS 55790)

生境与西南地区分布: 夏秋季生长在冷杉 (*Abies fabri*)、云杉 (*Picea asperata*)、黄背栎 (*Quercus pannosa*)、高山松 (*Pinus densata*) 和杜鹃 (*Rhododendron* spp.) 混交林下, 群生。分布于海拔 3 000 m 以上云南省迪庆藏族自治州。

研究标本: 云南省迪庆州香格里拉县千湖山, 海拔 3 280 m, 10-IX-2010, HBB2010-SH-19 (HKAS 58226); 云南省迪庆州香格里拉县天池, 海拔 3 600 m, 15-IX-2010, HBB2010-SH-37 (HKAS 58244); 云南省迪庆州香格里拉县碧塔海南线, 海拔 3 700 m, 16-IX-2010, HBB2010-SH-83 (HKAS 58245); 云南省迪庆州香格里拉县到碧塔海的路上, 海拔 3 200 m, 7-VIII-2005, 李艳春 351 (HKAS 58584); 迪庆州香格里拉县小中甸, 海拔 3 300 m, 25-VIII-2008, 田霄飞 344 (HKAS 55776); 迪庆州德钦县白马雪山自然保护区, 海拔 3 450 m, 6-IX-2008, 田霄飞 392 (HKAS 55784), 田霄飞 393 (HKAS

55785); 迪庆州碧塔海国家森林公园, 海拔 3 700 m, 9-IX-2008, 田霄飞 416 (HKAS 55790); 云南迪庆藏族自治州碧塔海国家森林公园, 海拔 3 600 m, 10-IX-2008, 田霄飞 426 (HKAS 55792); America Oregon, Lincoln, Siuslaw National Forest, cape perpetual

visitor center trail, 10-IX-1990, ODELL3818 (OSC 65691); America Oregon, Lane Co., Willamette NF, 27-IX-1999, Cazares 812 (OSC 75413); America Oregon, Columbia, 27-IX-1999, alt. 1 400 m, Odell 7655 (OSC 70365)。



注: a. 担孢子; b. 担子; c. 鳞片菌丝; d. 该表皮非鳞片菌丝; e, f. 子实层偶见厚壁菌丝。
Note: a. spores; b. basidia; c. structure of squamules on pileus; d. pileipellis from an area not covered by squamules; e, f. few thick-walled hyphae from trama.

图 4 太平洋金色鸡油菌(*C. formosus*)显微特征(HKAS 55790)

Fig. 4 Micromorphology of *C. formosus* (HKAS 55790)

2.3 系统发育分析

基于 ITS4R 和 LR5 引物的核糖体大亚基 PCR 扩增产物长度约 900 bp, 用于系统发育分析的序列长度为 866 bp, 其中 204 个为最大简约信息位点, 一致性指数 (consistency index, CI) 为 0.893, 保留指数 (retention index, RI) 为 0.946, 综合指数 (composite index, CI) 为 0.844。最大简约分析的结果表明: 红鸡油菌 (*C. cinnabarinus*), 小鸡油菌 (*C. minor*) 和阿巴拉契亚鸡油菌 (*C. appalachiensis*) 具有较近的亲缘关系 (图 5)。在 Clade I 中产自云南的红鸡油菌与产于美国的 AY041168 聚为一枝, 具有 99.4% 的相似性。

图 5 clade II 包含鸡油菌亚属 (*C. subgen*)。Cantharellus 中的白鸡油菌 (*C. subalbidus*), *C. cascadiensis*, 鸡油菌复合群 (*C. cibarius* complex), 太平洋金色鸡油菌 (*C. formosus*) 等一类

子实体具有明亮色彩、肉质化明显、菌柄实心为特征的种类。从系统树上可以看出采自云南香格里拉地区的标本与来自北美西太平洋沿岸的太平洋金色鸡油菌有最近的亲缘关系, 比对结果显示相似性达 98.6% ~ 99.1%。

3 讨论

与 TENN 标本比较, 采自云南的红鸡油菌标本较小, 干标本残留的红色调很重; 与红鸡油菌澳大利亚变种 *C. cinnabarinus* var. *australiensis*^[1] 相比本报道种类菌盖薄, 少呈橙红色或深橙红色, 菌柄细, 弱; 子实层比菌盖更白的橘黄色, 显微特征差别小。国内对 *C. cinnabarinus* 已有报道^[20 23-24], 但根据对标本的查阅 (HKAS 15793 和 HKAS 15668) 和文献的对比可知其描述的种类为一尚未描述的新的分类单元 (未发表)。

产于香格里拉县的太平洋金色鸡油菌 (*C. formosus*) 子实体中型肥厚, 盖表具金黄色鳞片, 菌脉近似褶片状以及子实层淡黄色, 脉纹近似褶片状, 横脉极多网结现象明显, 延伸至菌柄处的金黄色的鳞片等特征极似产于美国太平洋沿岸的 *C. fomosus*^[1 6]。比对核糖体大亚基的分子序列可知, 产于两地的标本序列相似性最大可达 99.1%, 支持其作为间断分布的种类处理。但需要强调的是产于云南西北部高山亚高山的种类盖表鳞片菌丝有厚壁现象, 而且在子实层菌丝中也

偶见有厚壁菌丝。同时还有一问题需要指出, 目前认为核糖体大亚基序列相似性在 99.0% 以上认为是同一种类, 但此片段较为保守, 对于解决鸡油菌亚属 (*C. subgen. Cantharellus*) 内的种类如鸡油菌复合群 (*C. cibarius* complex), 白鸡油菌 (*C. subalbidus*), 太平洋金色鸡油菌 (*C. formosus*) 和 *C. cascadenis* 分类学问题是有缺陷的^[25], 因此找到一条进化更快的编码基因片段如 *rpb1*, *rpb2* 和 *tef1* (R. H. Petersen 私人交流) 等是必要的。

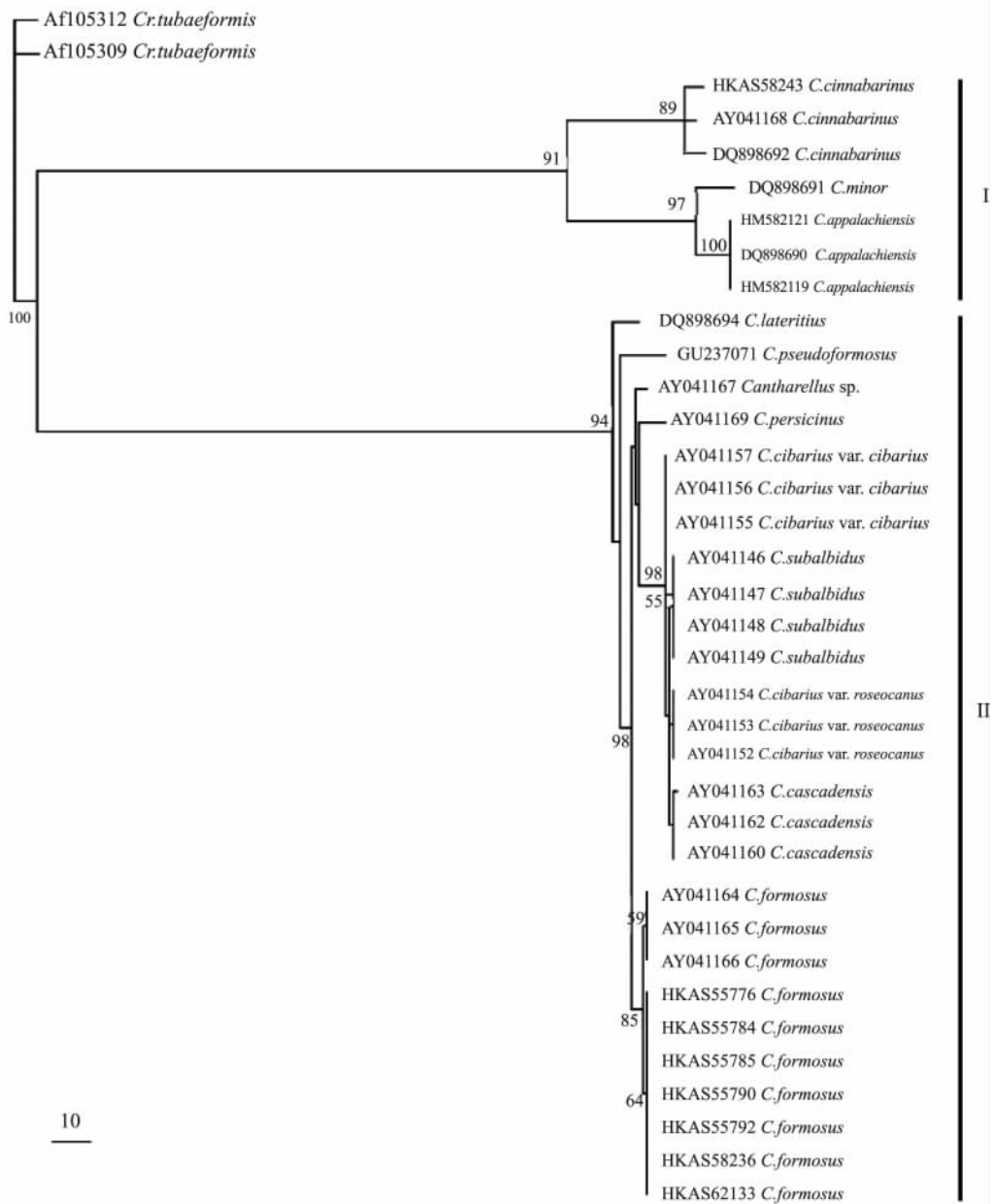


图 5 基于核糖体大亚基序列分析和最大简约法构建的最大简约树之一
 Fig. 5 A phylogram of one of the most parsimonious trees by the analysis of the nuclear large subunit LSU

4 结论

本文报道了采自于云南的两个具有不同洲际间断分布的鸡油菌属真菌物种, 同时纠正了以往对红色鸡油菌命名的误定 (另文发表)。其中红鸡油菌 (*C. cinnabarinus*) 属于东亚、北美和大洋洲的间断分布模式, 太平洋金色鸡油菌 (*C. formosus*) 为东亚和北美西部间断分布。间断分布种类报道对于理解全球鸡油菌的分布特点、物种多样性、扩散方式是十分有意义的, 同时为研究真菌区系地理学提供了良好的素材。

[参考文献]

- [1] CORNER E H. A monograph of cantharelloid fungi [M]. London: Oxford University Press, 1966.
- [2] CAIRNEY D E, CHAMBERS S M. Ectomycorrhizal fungi: key genera in profile [M]. Berlin: Springer, 1999: 253 - 267.
- [3] REDHEAD S A, NORVELL L L, DANELL E. *Cantharellus formosus* and the pacific golden chanterelle harvest in Western North America [J]. Mycotaxon, 1997, 65: 285 - 322.
- [4] WANG Y, HALL I R. Edible ectomycorrhizal mushrooms: Challenges and achievements [J]. Canadian Journal of Botany, 2004, 82 (8): 1063 - 1073.
- [5] HIBBETT D S, THORN R G. Basidiomycota: Homobasidiomycetes [M] // The Mycota, VII part B, Systematics and Evolution. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 121 - 168.
- [6] PILZ D, NORVELL L L, DANELL E, MOLINA R. Ecology and management of commercially harvested chanterelle mushrooms [M]. Portland: Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station, 2003: 1 - 83.
- [7] MONCALVO J M, NILSSON R H, KOSTER B, et al. The cantharelloid clade: dealing with incongruent gene trees and phylogenetic reconstruction methods [J]. Mycologia, 2006, 98 (6): 937 - 948.
- [8] ARORA D, DUNHAM S M. A new, commercially valuable chanterelle species, *Cantharellus californicus* sp. nov., associated with live Oak in California, USA [J]. Economic Botany, 2008, 62 (3): 376 - 391.
- [9] TIBUHWA D, BUYCK B, KIVAISI A, et al. *Cantharellus fistulosus* sp. nov. from Tanzania [J]. Cryptogamie Mycologie, 2008, 29 (2): 129 - 135.
- [10] CONTU M, VIZZINI A, CARBONE M, et al. Identity and neotypification of *Craterellus cinereus* and description of *Cantharellus atrofuscus* sp. nov. [J]. Mycotaxon, 2009, 110: 139 - 149.
- [11] EYSSARTIER G, STUBBE D, WALLEYN R, et al. New records of *Cantharellus* species (Basidiomycota, Cantharellaceae) from Malaysian dipterocarp rainforest [J]. Fungal Diversity, 2009, 36: 57 - 67.
- [12] BUYCK B, LEWIS D L, EYSSARTIER G, et al. *Cantharellus quercophilus* sp. nov. and its comparison to other small, yellow or brown American chanterelles [J]. Cryptogamie Mycologie, 2010, 31: 17 - 33.
- [13] THIERS H D. The Agaricales (Gilled Fungi) of California. 2. Cantharellaceae [M]. Eureka: Mad River Press, 1985: 1 - 34.
- [14] FEIBELMAN T P, DOUDRICK R L, CIBULA W G, et al. Phylogenetic relationships within the Cantharellaceae inferred from sequence analysis of the nuclear large subunit rDNA [J]. Mycological Research, 1997, 101 (12): 1423 - 1430.
- [15] DAHLMAN M, DANELL E, SPATAFORA J W. Molecular systematics of *Craterellus*: cladistic analysis of nuclear LSU rDNA sequence data [J]. Mycological Research, 2000, 104 (4): 388 - 394.
- [16] 田霄飞. 中国西南鸡油菌属真菌的分类学与分子系统学研究——兼论孢子尺寸的自相关分析 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
- [17] 裘维蕃. 云南伞菌的十个新种 [J]. 微生物学报, 1973, 13 (2): 129 - 135.
- [18] 臧穆. 我国西藏担子菌类数新种 [J]. 微生物学报, 1980, 20 (1): 29 - 34, 113.
- [19] 应建浙, 臧穆. 西南地区大型经济真菌 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 38 - 45.
- [20] 臧穆. 横断山区真菌 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 175 - 182.
- [21] KORNERUP A, WANSCHER J H. Farver i Farver [M]. København: Politikens Forlag, 1961.
- [22] DOYLE J J, DOYLE J L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue [J]. Phytochemical Bulletin, 1987, 19: 11 - 15.
- [23] 贺新生. 中国鸡油菌属记述 [J]. 食用菌, 1995 (1): 4 - 5.
- [24] 李荣春. 云南的鸡油菌资源 [J]. 中国食用菌, 1996, 15 (4): 18 - 20.
- [25] KUMARI D, UPADHYAY R C, REDDY M S. *Cantharellus pseudoformosus*, a new species associated with *Cedrus deodara* from India [J]. Mycoscience, 2011, 52 (2): 147 - 151.