

木耳属研究进展

吴芳¹ 员媛¹ 刘鸿高² 戴玉成^{1*}

¹北京林业大学微生物研究所 北京 100083

²云南农业大学农学与生物技术学院 云南 昆明 650201

摘要: 简要概述了木耳属真菌在物种资源、系统发育和主要栽培类群遗传多样性方面的研究现状及进展。目前木耳属研究存在的主要问题是该属物种资源缺乏系统研究, 不同种类间系统发育关系不清楚, 重要栽培种类黑木耳野生种群遗传多样性尚未分析。今后该属研究的主要方向是对上述问题的解决。

关键词: 木耳科, 资源, 系统发育分析, 遗传多样性

Auricularia (Auriculariales, Basidiomycota): a review of recent research progress

WU Fang¹ YUAN Yuan¹ LIU Hong-Gao² DAI Yu-Cheng^{1*}

¹Institute of Microbiology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

²College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China

Abstract: The paper briefly summarized the recent research progress of *Auricularia*, especially on species diversity, phylogeny and genetic diversity of cultivated species. Three issues are in desperate need of being solved in future studies: 1) lacks systematical investigation of *Auricularia*; 2) exploration of phylogenetic relationships among species of *Auricularia*; and 3) analysis of genetic diversity on the wild populations of *Auricularia auricula-judae*, an important cultivated species.

Key words: Auriculariaceae, resource, phylogenetic analysis, genetic diversity

木耳属 *Auricularia* Bull. ex Juss. 隶属于担子菌门 Basidiomycota, 伞菌纲 Agaricomycetes, 木耳目 Auriculariales, 木耳科 Auriculariaceae,

是高等担子菌的一个重要类群, 主要生长在阔叶树倒木和腐朽木上, 是森林生态系统的重要组成部分 (魏玉莲和戴玉成 2004; Baldrian &

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (No. 2014CB138301); 国家自然科学基金 (No. 31372115)

*Corresponding author. E-mail: daiyucheng2013@gmail.com

收稿日期: 2013-12-22, 接受日期: 2014-01-03

Lindahl 2011)。木耳属的种类具有重要的食药价值(戴玉成和杨祝良 2008; 戴玉成等 2010), 其中的黑木耳 *Auricularia auricula-judae* (Bull.) Quél. 和毛木耳 *Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc. 是我国目前主要的栽培品种, 2011 年全国黑木耳产量 346.1 万吨(鲜重)、毛木耳产量 143.5 万吨(鲜重), 产值可达 300 亿元。

由于黑木耳和毛木耳的重要性, 近年来诸多学者对黑木耳和毛木耳的极性(罗信昌 1988)、黑木耳的交配型(张红等 2002)及多态性(张永强和罗信昌 1999)、黑木耳亲本单核体及 F1 代单核体两种交配型的等基因池 PCR 分析(肖扬等 2006)、分子标记在黑木耳单核体遗传分析的应用(宋小亚等 2007)、黑木耳栽培菌株的酶谱多样性(边银丙等 2000)、应用分子标记鉴定黑木耳菌株(阎培生等 2000; 张介驰等 2007)、毛木耳和黑木耳漆酶性状(杨建明等 2005; 韩增华等 2012)、毛木耳和黑木耳多糖(清源等 2009; 宋广磊和杜琪珍 2010; 邓庆华等 2012; 赵超等 2013)、黑木耳菌丝老化(袁立和许修宏 2011; 许修宏等 2012)以及栽培黑木耳病害防治(孔祥辉等 2011)等方面进行了研究。以下主要从木耳属资源和分类学、系统发育和遗传多样性等 3 个方面论述其研究进展。

1 资源和分类学研究

尽管我国开发和应用木耳已经有 1 000 多年的历史, 但我国对木耳资源和分类学研究始于上个世纪 30 年代邓叔群教授对中国高等真菌的记载(Teng 1939), 后来邓叔群(1963)编著的《中国的真菌》介绍了木耳属的 6 个种, 即黑木耳 *Auricularia auricula-judae*, 毛木耳 *A. polytricha*, 皱木耳 *A. delicata* (Mont.) Henn.,

毡盖木耳 *A. mesenterica* (Dicks.) Pers., 黑皱木耳 *A. moelleri* Lloyd 和褐毡木耳 *A. rugosissima* (Lév.) Pat.。戴芳澜(1979)在《中国真菌总汇》中仍记载 6 种木耳。此后, 一直到上世纪 80 年代中国木耳属种类研究才有所进展。李丽嘉(1984, 1987)及李丽嘉和刘波(1985)分别报道了中国木耳属 4 个新种, 即网脉木耳 *Auricularia reticulata* L.J. Li, 西沙木耳 *A. xishaensis* L.J. Li, 海南木耳 *A. hainanensis* L.J. Li 和象牙白木耳 *A. eburnea* L.J. Li & B. Liu。赵大振和王朝江(1991)曾报道了毛木耳的白色变种, *Auricularia polytricha* var. *argentea* D.Z. Zhao & Chao J. Wang, 杨新美(1988)认为我国木耳有 11 种及 1 个变种。娄隆后等(1992)根据文献和标本研究认为我国木耳有 14 个种, 即:

1. 黑木耳 *Auricularia auricula-judae* [= *A. auricula* (L.) Underw.]
2. 角质木耳 *Auricularia cornea* Ehrenb.
3. 皱木耳 *Auricularia delicata*
4. 象牙白木耳 *Auricularia eburnea*
5. 褐黄木耳 *Auricularia fuscusuccinea* (Mont.) Henn.
6. 大毛木耳 *Auricularia hispida* Iwade
7. 毡盖木耳 *Auricularia mesenterica*
8. 华丽木耳 *Auricularia ornata* Pers.
9. 遁形木耳 *Auricularia peltata* Lloyd
10. 毛木耳 *Auricularia polytricha*
11. 网脉木耳 *Auricularia reticulata*
12. 褐毡木耳 *Auricularia rugosissima*
13. 薄肉木耳 *Auricularia tenuis* (Lév.) Farl.
14. 西沙木耳 *Auricularia xishaensis*

娄隆后等(1992)还将黑皱木耳 *Auricularia moelleri* 处理为皱木耳 *Auricularia delicata* 的同物异名, 并进行了合并。但卯晓岚(1998)在

中国经济真菌中列举的木耳属只包括 12 种和 1 变种（毛木耳银白变种 *A. polytricha* var. *argentea*），并将黑皱木耳 *Auricularia moellerii* 和皱木耳 *Auricularia delicata* 处理为不同的种。因此，对我国有多少种木耳还存在争议。

根据上述文献统计，到目前为止我国所报道的木耳名称包括 15 个种和一个变种，然而，根据本文作者的研究，我国所报道的 15 个种类中网脉木耳 *Auricularia reticulata* L.J. Li（李丽嘉 1984）为非法名称，因为 1838 年已经有一个名为 *Auricularia reticulata* Fr. 的名称存在；毛木耳银白变种 *Auricularia polytricha* var. *argentea* 是无效发表，因为发表时没有指定模式标本（赵大振和王朝江 1991）。此外，我国绝大多数文献中记载有褐毡木耳 *Auricularia rugosissima*，但该名称实际是革菌 *Punctularia strigosozonata* (Schwein.) P.H.B. Talbot 的异名。因此，有必要对我国的木耳种类进行澄清。

世界范围内对木耳属分类研究贡献比较突出的是 Lowy 和 Kobayasi，他们分别在上个世纪 50 年代和 80 年代对木耳属进行了比较深入的研究（Lowy 1951a, 1951b, 1952; Kobayasi 1981），Lowy（1952）提出木耳属分类应以子实体内部结构的 9 个分区为主要特征，并根据菌肉中是否有菌髓层（medulla layer）存在将木耳属种类分为 2 个组 10 种，且菌髓层的厚度也作为分种的性状。Kobayasi（1981）认为木耳表面的毛层、菌肉组织结构及层次、子实体新鲜时的颜色等是重要的分类依据，承认世界上木耳有 15 种，并对每个种的形态特征、分布地区和生长习性进行了论述。Bandoni（1984）曾建议依据担子和菌丝单倍体阶段分隔孔的特征对木耳目和银耳目进行分类，但这些性状没有应用到种间分类。Looney *et al.*

（2013）研究发现是否有菌髓层是木耳属分类的关键性状，提出菌髓层中 schizomedulla layer 的存在与否作为区分皱木耳 *A. delicata* 复合种的重要性状。

目前世界范围内涉及木耳属的名称有 163 个（Index Fungorum : www.indexfungorum.org/Names/names.asp），但很多是同物异名、无效名称或种下变形名称等，根据本文作者的核对，目前合法的木耳名称有 75 个。

虽然存在 75 种是合法的名称，但由于对世界范围的木耳缺少系统研究，故全世界真正有多少种木耳还是未知数。例如，Lowy（1952）认为木耳属有 10 种，Kobayasi（1981）认为有 15 种 5 变型，Kirk *et al.*（2001）在《真菌字典》第 9 版中也认为有 15 个种，但 Kirk *et al.*（2008）在《真菌字典》第 10 版中又认为木耳属只有 8 个种，因此对世界范围内木耳属到底有多少种存在较大争议。此外 Looney *et al.*（2013）在 2013 年又发表了 2 个新种。

2 系统发育研究

阎培生等（1999, 2002）曾分别应用 RFLP 和 RAPD 技术对中国木耳属的 8 个种类进行过聚类分析；温亚丽等（2005）应用 ERIC 技术对 3 种木耳进行了聚类分析；王晓娥等（2013）对我国木耳属 4 个常见种（*A. polytricha*、*A. auricula*、*A. fuscousuccinea*、*A. delicata*）的 22 个菌株进行 ITS 序列分析。Zhou & Dai（2013）研究了木耳目中子实层体为孔状、褶状及孔状至褶状种类（*Protomerulius* Möller, *Elmerina* Bres. 和 *Protodaedalea* Imazeki）与木耳属的关系。但总体上我国木耳属种类的系统发育研究还处于起步阶段。

国外近年来对木耳目在高等真菌中与其他

类群的系统发育关系进行了研究 (Weiß & Oberwinkler 2001; Oberwinkler 2012), 对木耳目中主要类群之间的系统发育关系也进行了研究 (Weiß *et al.* 2004; Hibbett & Binder 2002; Hibbett 2006; Matheny *et al.* 2007)。木耳属内种间的系统发育也有一些研究, Montoya-Alvarez *et al.* (2011) 基于 ITS 序列对木耳属内的 5 个种进行了系统发育研究, 发现木耳属是单系的。但是由于木耳属涉及的种类远多余 5 种, 因此木耳属的系统发育关系目前尚不明确, 且极有可能是多系。

皱木耳 *A. delicata* 与其他种的系统发育关系不能确定, 尽管黑木耳 *A. auricula-judae* 和毛木耳 *A. polytricha* 类群中不同样品在系统发育关系上具有相关性, 但这些样品只能代表广义范围的这 2 个种, 即目前的黑木耳和毛木耳是广义种, 这些广义种内是否存在隐形种有待进一步研究。Looney *et al.* (2013) 基于 ITS 和 *rpb2* 序列对美国东南部木耳属的 5 个常见种类 (*A. fuscusuccinea*, *A. auricula-judae*, *A. mesenterica*, *A. polytricha* 和 *A. delicata*) 进行了系统发育研究, 发现这些种类在系统发育分支 (clade) 中的多样性, 他们认为该区域中的 *A. auricula-judae* 实际上是 *Auricularia americana* Parmasto & I. Parmasto; 该区域的 *A. delicata* 其实是与其形态相近的一个新种 *Auricularia scissa* Looney, Birkebak & Matheny; 与此同时, 他们命名了哥斯达黎加另一个皱木耳 *A. delicata* 类群新种 *Auricularia subglabra* Looney, Birkebak & Matheny; 还建议用名称 *Auricularia nigricans* (Sw.) Birkebak, Looney & Sánchez-García 代替 *Auricularia polytricha*。

由于木耳属系统发育研究的滞后, 目前该属只有如下种类提交了部分基因序列。

Auricularia auricula-judae: ITS, LSU, *rpb2*

Auricularia delicata: ITS, LSU, 基因组测序已完成

Auricularia fuscusuccinea: ITS, LSU, *rpb2*

Auricularia mesenterica: ITS, LSU

Auricularia polytricha [= *Auricularia nigricans*]: ITS, LSU

Auricularia americana: ITS, *rpb2*

Auricularia cornea: ITS, *rpb2*

Auricularia peltata: LSU, IGS

Auricularia scissa: ITS, *rpb2*

Auricularia subglabra: ITS, *rpb2*

总之, 我国目前几乎尚未开展基于分子序列的木耳属系统发育研究, 国外也只是刚开始, 且选取的样品和用于系统发育分析的序列有限。

3 遗传多样性研究

应用分子标记技术研究木耳种类的遗传多样性主要集中在毛木耳 *A. polytricha* 和黑木耳 *A. auricula-judae* 这 2 个种。Yan *et al.* (2004) 对我国黑木耳和毛木耳栽培菌株进行了分子鉴定研究; 张丹等 (2006) 和 Yu *et al.* (2008) 分别应用 RAPD 和 ISSR 等分子标记技术对我国栽培毛木耳菌株的遗传多样性进行了分析。此外, 张丹等 (2007) 和贾定洪等 (2011) 分别对我国毛木耳 7 个菌株和 22 个菌株进行了 ITS 序列分析。Li *et al.* (2007)、唐利华等 (2008)、李黎等 (2010) 和 Tang *et al.* (2010) 对我国栽培黑木耳菌株进行了 RAPD、ISSR 和 SRAP 遗传多样性分析。唐利华等 (2008) 研究表明, 我国黑木耳栽培菌株遗传背景差异不大, 存在同物异名现象; 而 Tang *et al.* (2010) 的结果表明 ISSR 和 SRAP 两种方法均能很好的区别栽培的

黑木耳菌株。

杜萍 (2011) 对我国野生毛木耳进行了遗传多样性研究, Du *et al.* (2011a, 2011b, 2012, 2013) 采用 ISSR 和 SRAP 标记及 ISSR 和 SRAP 相结合的方法对我国 27 个自然居群的 145 个毛木耳菌株分别从个体和居群水平上进行了遗传多样性分析。结果表明个体水平上的遗传多样性高于居群水平, 热带亚热带居群的高于温带居群。野生毛木耳居群间存在高度的遗传分化 ($G_{st} = 0.4$), 大部分遗传变异发生在居群内部。主坐标分析 (PCoA) 与聚类分析结果均表明野生菌株具有特殊的群体地域性, 而居群间的遗传距离与地理距离相关性不明显。此外, 野生毛木耳 (来自海南、云南) 与栽培毛木耳菌株 (来自河南、四川) 的 ISSR、SRAP 分析表明野生菌株的遗传多样性高于栽培菌株, 生产上毛木耳菌种中存在亲缘关系较近, 遗传基础变窄的倾向。

目前, 对我国栽培最多的黑木耳 *A. auricula-judae* 野生种群遗传多样性的研究几乎是空白, 仅有对黑龙江省少部分野生黑木耳菌株的遗传多样性分析 (刘华晶等 2012), 国外尚未见到木耳属真菌遗传多样性的研究。

4 存在的问题与展望

现阶段, 无论国内还是国外, 木耳属研究相对比较滞后, 主要是因为该属真菌同种的子实体的形态、大小、颜色及子实层形态通常随温度、湿度、光线及着生部位的不同而变化 (Lowy 1951a; Kobayasi 1981)。虽然 Lowy (1952) 提出用木耳属真菌菌髓层的有无和菌髓层的宽度作为关键分类依据, 但是 Montoya-Alvarez *et al.* (2011) 和 Looney *et al.* (2013) 结合其形态和分子序列特征分析, 认为只有菌髓层存在与否是木耳属种类鉴定的重

要特征, 而菌髓层或其他各层的宽度在种内变化较大, 不能作为可靠分类依据。同时, 木耳属内存在的名称很多, 与实际存在的种类差别较大, 很多名称应用比较混乱 (包括一些非法名称的使用), 这些因素极大地阻碍了木耳属的研究。

木耳属研究主要集中在毛木耳 *A. polytricha* 和黑木耳 *A. auricula-judae*, 对木耳属的其他种类缺乏系统研究, 因此木耳属实际存在的种类还不清楚。对木耳属真菌系统发育研究都是基于少数种类、有限的标本和菌株及单基因片段。在木耳属真菌遗传多样性方面, 主要分析了毛木耳野生种群和部分黑木耳栽培菌株的遗传多样性, 但研究的广度和深度还不够, 而对黑木耳遗传多样性的研究基本是对栽培菌株的研究, 对野生种群的研究几乎还是空白。

因此, 今后木耳属真菌研究的主要方向是大量收集木耳属种类样品, 进而开展该属种类的系统分类研究, 确定可靠的分类依据, 重新评价过去无效发表的木耳名称, 论述木耳属种类的分布和多样性; 应用多基因序列对这些种类进行系统发育分析, 阐述木耳属不同种类之间的系统发育关系; 在大量分离野生黑木耳菌株的基础上, 开展该种在同一区域和不同区域遗传多样性的分析, 评价野生黑木耳的遗传结构, 揭示不同遗传背景下的遗传差异。

[REFERENCES]

- Baldrian P, Lindahl B, 2011. Decomposition in forest ecosystems: after decades of research still novel findings. *Fungal Ecology*, 4(6): 359-361
- Bandoni RJ, 1984. The Tremellales and Auriculariales: an alternative classification. *Transactions of the Mycological Society of Japan*, 25: 489-530

- Bian YB, Luo XC, Zhou Q, 2000. Esterase isozyme zymogram polymorphisms of cultivated strains in *Auricularia auricula*. *Mycosystema*, 19(1): 87-90 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27(6): 801-824 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29(1): 1-21 (in Chinese)
- Deng QH, Zhao ZY, Zhang ZZ, 2012. Extraction, physiochemical properties and antibacterial activities of polysaccharides from *Auricularia auricular*. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 40(12): 7380-7384 (in Chinese)
- Du P, 2011. Genetic diversity of wild *Auricularia polytricha* in China. PhD Dissertation, Beijing Forestry University. 1-77 (in Chinese)
- Du P, Cui BK, Dai YC, 2011a. Genetic diversity of wild *Auricularia polytricha* in Yunnan Province of south-western China revealed by sequence-related amplified polymorphism (SRAP) analysis. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(8): 1374-1381
- Du P, Cui BK, Dai YC, 2011b. High genetic diversity in wild culinary-medicinal wood ear mushroom, *Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc., in tropical China revealed by ISSR analysis. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 13(3): 289-298
- Du P, Cui BK, Dai YC, 2012. Assessment of genetic diversity among wild *Auricularia polytricha* populations in China using ISSR markers. *Cryptogamie Mycologie*, 33(2): 191-201
- Du P, Cui BK, Zhang CF, Dai YC, 2013. Genetic diversity of wild *Auricularia auricula-judae* revealed by ISSR analysis. *Biochemical Systematics and Ecology*, 48: 199-205
- Han ZH, Liu JN, Dang AL, Zhang PQ, Dai XD, Zhang JC, 2012. Purification and characterization of laccase from *Auricularia auricula*. *Journal of Fungal Research*, 10(4): 234-239 (in Chinese)
- Hibbett DS, 2006. A phylogenetic overview of the Agaricomycotina. *Mycologia*, 98(6): 917-925
- Hibbett DS, Binder M, 2002. Evolution of complex fruiting-body morphologies in homobasidiomycetes. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 269(1504): 1963-1969
- Jia DH, Wang B, Peng WH, Gan BC, Huang ZQ, Zheng LY, 2011. Analysis on 22 *Auricularia polytricha* strains using ITS sequencing. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 24(1): 181-184 (in Chinese)
- Kirk PM, Cannon PF, David JC, 2001. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 9th edition. CABI Publishing, Wallingford. 1-655
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA, 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10th edition. CAB International, Oxon. 1-771
- Kobayasi Y, 1981. The genus *Auricularia*. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo*, 7(2): 41-67
- Kong XH, Liu JN, Zhang PQ, Dai XD, Han ZH, Ma QF, Zhang JC, 2011. The pathogens of white mildew disease of cultivated *Auricularia auricula-judae* in Northeast China. *Mycosystema*, 30(4): 551-555 (in Chinese)
- Li L, Fan XZ, Xiao Y, Zhou Y, Bian YB, 2010. The physiological characteristics and genetic diversity analysis of *Auricularia auricula-judae* cultivated germplasm in China. *Mycosystema*, 29(5): 644-652 (in Chinese)
- Li L, Li J, Zou L, Bai SY, Niu LM, Ma YK, 2007. RAPD analysis of genetic diversity of nine strains of

- Auricularia auricula* cultivated in Heilongjiang Province. *Journal of Forestry Research*, 18(2): 136-138
- Li LJ, 1984. Two new species of the genus *Auricularia* from China. *Acta Mycologica Sinica*, 4(3): 149-154 (in Chinese)
- Li LJ, 1987. A study of the *Auricularia* from Hainan Island. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 5(1): 3-48 (in Chinese)
- Li LJ, Liu B, 1985. A new species of *Auricularia*. *Journal of Shanxi University*, 1: 56-58 (in Chinese)
- Liu HJ, Xu XH, Li CY, Huang XM, 2012. Application of ISSR and ITS molecular markers in genetic diversity of Heilongjiang Province wild *Auricularia auricula*. *Journal of Northeast Agricultural University*, 43(8): 94-100 (in Chinese)
- Looney B, Birkebak J, Matheny PB, 2013. Systematics of the genus *Auricularia* with an emphasis on species from the southeastern United States. *North American Fungi*, 8(6): 1-15
- Lou LH, Zhu HZ, Tang HG, Lou RJ, 1992. Preliminary study of the various species of *Auricularia*. *Edible Fungi of China*, 11(4): 30-32 (in Chinese)
- Lowy B, 1951a. A morphological basis for classifying the species of *Auricularia*. *Mycologia*, 43(3): 351-358
- Lowy B, 1951b. New evidence for typification of *Auricularia*. *Mycologia*, 43(4): 462-463
- Lowy B, 1952. The genus *Auricularia*. *Mycologia*, 44(5): 656-692
- Luo XC, 1988. Studies on the sexuality of *Auricularia auricula* and *A. polytricha*. *Acta Mycologica Sinica*, 7(1): 56-61 (in Chinese)
- Mao XL, 1998. Economic fungi of China. Science Press, Beijing. 1-762 (in Chinese)
- Matheny PB, Wang Z, Binder M, Curtis JM, Lim YM, Nilsson RH, Hughes KW, Hofstetter V, Ammirati JF, Schoch CL, Langer G, McLaughlin DJ, Wilson AW, Frøslev T, Ge ZW, Richard WK, Slot JC, Yang ZL, Baroni TJ, Fischer M, Hosaka K, Matsuura K, Seidl MT, Vauras J, Hibbett DS, 2007. Contributions of *rpb2* and *tef1* to the phylogeny of mushrooms and allies (Basidiomycota, Fungi). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43(2): 430-451
- Montoya-Alvarez AF, Hayakawa H, Minamya Y, Fukuda T, López-Quintero CA, Franco-Molano AE, 2011. Phylogenetic relationships and review of the species of *Auricularia* (Fungi: Basidiomycetes) in Colombia. *Caldasia*, 33(1): 55-66
- Oberwinkler F, 2012. Evolutionary trends in Basidiomycota. *Stapfia*, 96: 45-104
- Qing Y, Yu MY, Luo X, Jiang N, Zheng LY, Ge SR, 2009. Isolation, purification and structural characterization of bioactive polysaccharide APP II A from *Auricularia polytricha*. *Mycosystema*, 28(6): 813-818 (in Chinese)
- Song GL, Du QZ, 2010. Selenium polysaccharides from *Auricularia auricula-judae* and their effect on membrane mobility of ascite S₁₈₀ tumor cell. *Mycosystema*, 29(5): 713-718 (in Chinese)
- Song XY, Xiao Y, Bian YB, 2007. Application of ISSR marker in the genetics analysis of monokaryons from *Auricularia auricula*. *Mycosystema*, 26(4): 528-533 (in Chinese)
- Tai FL, 1979. Sylloge fungorum sinicorum. Science Press, Beijing. 1-1527 (in Chinese)
- Tang LH, Xiao Y, Bian YB, 2008. ISSR fingerprint analysis and SCAR marker of major cultivated strains of *Auricularia auricula* in China. *Mycosystema*, 27(2): 243-251 (in Chinese)
- Tang LH, Xiao Y, Li L, Guo Q, Bian YB, 2010. Analysis of

- genetic diversity among Chinese *Auricularia auricula* cultivars using combined ISSR and SRAP markers. *Current Microbiology*, 61(2): 132-140
- Teng SC, 1939. Higher fungi of China. National Institute of Zoological Botanical Academy, Beijing. 1-614
- Teng SC, 1963. Fungi of China. Science Press, Beijing. 1-808 (in Chinese)
- Wang XE, Yao FJ, Zhang YM, Fang M, Chen Y, 2013. Feasibility research on ITS sequence as DNA barcode of *Auricularia*. *Journal of Northeast Forestry University*, 41(7): 111-114 (in Chinese)
- Wei YL, Dai YC, 2004. Ecological function of wood-inhabiting fungi in forest ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(10): 1935-1938 (in Chinese)
- Weiß M, Oberwinkler F, 2001. Phylogenetic relationships in Auriculariales and related groups – hypotheses derived from nuclear ribosomal DNA sequences. *Mycological Research*, 105(4): 103-415
- Weiß M, Selosse MA, Rexer KH, Urban A, Oberwinkler F, 2004. Sebacinales: a hitherto overlooked cosm of heterobasidiomycetes with a broad mycorrhizal potential. *Mycological Research*, 108(9): 1003-1010
- Wen YL, Cao H, Pan YJ, 2005. Application of ERIC method to the affinity among *Auricularia* strains. *Mycosystema*, 24(1): 53-60 (in Chinese)
- Xiao Y, Tang LH, Bian YB, 2006. Preliminary application of degenerate primers in study on the mating factor of *Auricularia auricula*. *Mycosystema*, 25(4): 682-685 (in Chinese)
- Xu XH, Hao G, Yuan L, 2012. Effect of different inorganic salts on aging of *Auricularia auricular*. *Journal of Northeast Agricultural University*, 43(8): 119-122 (in Chinese)
- Yan PS, Jiang JH, Wang DC, Luo XC, Zhou Q, 2002. Molecular taxonomic relationships of *Auricularia* species inferred from RAPD markers. *Mycosystema*, 21(1): 47-52 (in Chinese)
- Yan PS, Luo XC, Zhou Q, 1999. RFLP analysis on amplified nuclear ribosomal DNA in the genus *Auricularia*. *Mycosystema*, 18(2): 206-213 (in Chinese)
- Yan PS, Luo XC, Zhou Q, 2000. Classification and identification of species and strains in *Auricularia* by using RAPD. *Mycosystema*, 19(1): 29-33 (in Chinese)
- Yan PS, Luo XC, Zhou Q, 2004. RAPD molecular differentiation of the cultivated strains of the jelly mushrooms, *Auricularia auricula* and *A. polytricha*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(8): 795-799
- Yang JM, Zhang XM, Xing ZT, Chen MJ, Cao H, Tan Q, Pan YJ, 2005. Purification and properties of laccase produced by *Auricularia polytricha*. *Mycosystema*, 24(1): 61-70 (in Chinese)
- Yang XM, 1988. Chinese mushroom cultivation. Agriculture Press, Beijing. 1-584 (in Chinese)
- Yu MY, Ma B, Luo X, Zheng LY, Xu XY, Yang ZR, 2008. Molecular diversity of *Auricularia polytricha* revealed by inter-simple sequence repeat and sequence-related amplified polymorphism markers. *Current Microbiology*, 56(3): 240-245
- Yuan L, Xu XH, 2011. Micromorphological studies on senescence process of hyphae in cultivated *Auricularia auricula-judae*. *Mycosystema*, 30(4): 566-571 (in Chinese)
- Zhang D, Zheng YL, Chen H, Gao TY, Wu W, 2007. ITS sequence comparison of germplasm of *Auricularia polytricha*. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 13(2): 166-171 (in Chinese)
- Zhang D, Zheng YL, Gao JW, Wu W, Chen H, 2006. Studies on germplasm resources of *Auricularia polytricha* by Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR). *Journal of*

- Mountain Science (Supplementary Issue)*, 24(10): 142-148 (in Chinese)
- Zhang H, Cao H, Pan YJ, Cao JY, 2002. Study on mating system of *Auricularia auricula*. *Mycosystema*, 21(4): 559-564 (in Chinese)
- Zhang JC, Ma QF, Zhang PQ, Dai XD, Han ZH, Kong XH, 2007. Identification of cultivated strains of *Auricularia auricula* from northeastern China by ISSR marker. *Mycosystema*, 26(4): 534-538 (in Chinese)
- Zhang YQ, Luo XC, 1999. Bulk segregant analysis to sexuality in *Auricularia auricula* using RAPD technique. *Mycosystema*, 18(2): 192-196 (in Chinese)
- Zhao C, Zeng F, Huang YF, Lin B, 2013. Optimum technique of extracting mycelium polysaccharide from *Auricularia auricular* using Box-Behnken design-response surface methodology. *Biotechnology Bulletin*, 6: 188-193 (in Chinese)
- Zhao DZ, Wang CJ, 1991. A new variety of *Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc. *Acta Mycologica Sinica*, 10(2): 108-112 (in Chinese)
- Zhou LW, Dai YC, 2013. Phylogeny and taxonomy of poroid and lamellate genera in the Auriculariales (Basidiomycota). *Mycologia*, 105(5): 1219-1230
- [附中文参考文献]
- 边银丙, 罗信昌, 周启, 2000. 木耳栽培菌株酯酶同工酶的酶谱多样性研究. 菌物系统, 19(1): 87-90
- 戴芳澜, 1979. 中国真菌总汇. 北京: 科学出版社. 1-1527
- 戴玉成, 杨祝良, 2008. 中国药用真菌名录及部分名称的修订. 菌物学报, 27(6): 801-824
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉, 2010. 中国食用菌名录. 菌物学报, 29(1): 1-21
- 邓叔群, 1963. 中国的真菌. 北京: 科学出版社. 1-808
- 邓庆华, 赵志宇, 张中振, 2012. 黑木耳多糖的提取及其理化特性与抑菌活性研究. 安徽农业科学, 40(12): 7380-7384
- 杜萍, 2011. 中国野生毛木耳遗传多样性研究. 北京林业大学博士论文. 1-77
- 韩增华, 刘佳宁, 党阿丽, 张丕奇, 戴肖东, 张介驰, 2012. 黑木耳漆酶纯化及部分漆酶特性的研究. 菌物研究, 10(4): 234-239
- 贾定洪, 王波, 彭卫红, 甘炳成, 黄衷乾, 郑林用, 2011. 22个毛木耳菌株 ITS 序列分析. 西南农业学报, 24(1): 181-184
- 孔祥辉, 刘佳宁, 张丕奇, 戴肖东, 韩增华, 马庆芳, 张介驰, 2011. 东北地区木耳“白毛菌病”的病原菌. 菌物学报, 30(4): 551-555
- 李黎, 范秀芝, 肖扬, 周雁, 边银丙, 2010. 中国木耳栽培种质生物学特性及遗传多样性分析. 菌物学报, 29(5): 644-652
- 李丽嘉, 1984. 木耳属二新种. 真菌学报, 4(3): 149-154
- 李丽嘉, 1987. 海南岛木耳属研究. 武汉植物学研究, 5(1): 3-48
- 李丽嘉, 刘波, 1985. 木耳属一新种. 山西大学学报, 1: 56-58
- 刘华晶, 许修宏, 李春艳, 黄晓梅, 2012. ISSR 和 ITS 分子标记在黑龙江省黑木耳遗传多样性上的应用. 东北农业大学学报, 43(8): 94-100
- 娄隆后, 朱慧真, 汤华光, 娄人杰, 1992. 木耳属种类的初步研究. 中国食用菌, 11(4): 30-32
- 罗信昌, 1988. 木耳和毛木耳的极性研究. 真菌学报, 7(1): 56-61
- 卯晓岚, 1998. 中国经济真菌. 北京: 科学出版社. 1-762
- 清源, 余梦瑶, 罗霞, 江南, 郑林用, 葛绍荣, 2009. 毛木耳子实体中活性多糖 APP II A 的分离纯化与结构初探. 菌物学报, 28(6): 813-818
- 宋广磊, 杜琪珍, 2010. 木耳多糖的分离纯化及对腹水型 S₁₈₀ 细胞膜流动性的影响. 菌物学报, 29(5): 713-718

- 宋小亚, 肖扬, 边银丙, 2007. ISSR 标记在黑木耳单核体遗传分析中的应用. 菌物学报, 26(4): 528-533
- 唐利华, 肖扬, 边银丙, 2008. 中国黑木耳主要栽培菌株 ISSR 指纹分析及 SCAR 标记. 菌物学报, 27(2): 243-251
- 王晓娥, 姚方杰, 张友民, 方明, 陈影, 2013. 木耳属菌株 ITS 序列作为 DNA 条形码的可行性. 东北林业大学学报, 41(7): 111-114
- 魏玉莲, 戴玉成, 2004. 木材腐朽菌在森林生态系统中的功能. 应用生态学报, 15(10): 1935-1938
- 温亚丽, 曹晖, 潘迎捷, 2005. ERIC 技术在紫木耳亲缘关系鉴定上的应用研究. 菌物学报, 24(1): 53-60
- 肖扬, 唐利华, 边银丙, 2006. 简并引物在黑木耳交配型因子研究中的应用初报. 菌物学报, 25(4): 682-685
- 许修宏, 浩钢, 袁立, 2012. 不同无机盐对木耳菌种老化的影响. 东北农业大学学报, 43(8): 119-122
- 阎培生, 蒋家慧, 王东昌, 罗信昌, 周启, 2002. 利用 RAPD 标记构建木耳属种间关系的研究. 菌物系统, 21(1): 47-52
- 阎培生, 罗信昌, 周启, 1999. 木耳属真菌 rDNA 特异性扩增片段的 RFLP 研究. 菌物系统, 18(2): 206-213
- 阎培生, 罗信昌, 周启, 2000. 利用 RAPD 技术对木耳属菌株进行分类鉴定的研究. 菌物系统, 19(1): 29-33
- 杨建明, 张小敏, 邢增涛, 陈明杰, 曹晖, 谭琦, 潘迎捷, 2005. 毛木耳漆酶纯化及其部分漆酶特性的研究. 菌物学报, 24(1): 61-70
- 杨新美, 1988. 中国食用菌栽培学. 北京: 农业出版社. 1-584
- 袁立, 许修宏, 2011. 木耳菌丝老化过程的微形态学研究. 菌物学报, 30(4): 566-571
- 张丹, 郑有良, 陈红, 高庭艳, 吴卫, 2007. 中国 7 个毛木耳 (*Auricularia polytricha*) 菌株 ITS 序列比较. 应用与环境生物学报, 13(2): 166-171
- 张丹, 郑有良, 高健伟, 吴卫, 陈红, 2006. 毛木耳 (*Auricularia polytricha*) 种质资源的 ISSR 分析. 山地学报 (增刊), 24(10): 142-148
- 张红, 曹晖, 潘迎捷, 曹娟云, 2002. 黑木耳交配型的研究. 菌物学报, 21(4): 559-564
- 张介驰, 马庆芳, 张丕奇, 戴肖东, 韩增华, 孔祥辉, 2007. 用 ISSR 分子标记鉴别东北地区黑木耳生产菌株的研究. 菌物学报, 26(4): 534-538
- 张永强, 罗信昌, 1999. 木耳交配型混合集群 RAPD 分析. 菌物系统, 18(2): 192-196
- 赵超, 曾峰, 黄一帆, 刘斌, 2013. Box-Behnken 响应面设计法优化黑木耳菌质多糖提取工艺. 生物技术通报, 6: 188-193
- 赵大振, 王朝江, 1991. 毛木耳一新变种. 真菌学报, 10(2): 108-112