

侧耳属真菌经济利用的研究进展

邹亚杰 张美敬 仇志恒 雷敏 张金霞*

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 农业部农业微生物资源收集与保藏重点实验室 北京 100081

摘要: 侧耳属真菌分布广泛、是大型真菌中生物多样性最为丰富的类群之一。其含有丰富的多糖、蛋白质、氨基酸、脂肪酸等生物活性物质, 在食品、保健和医药等方面具有广泛用途。侧耳属真菌通过产生木质素氧化酶、锰过氧化物酶和漆酶等酶类降解多环芳烃、染料、工农业废弃物等有害物, 并广泛应用于纺织厂、造纸厂、橄榄油厂废水及城市废水的处理。同时, 侧耳属是食用菌家族中利用基质最为广泛的真菌, 可以多种农业、林业、轻工业等废弃物为基质进行栽培生产, 且生物学效率较高, 具重要农业生产应用价值。

关键词: 侧耳属, 生物多样性, 生物活性物质, 降解, 栽培

Research advances in economic utilization of *Pleurotus* spp.

ZOU Ya-Jie ZHANG Mei-Jing QIU Zhi-Heng LEI Min ZHANG Jin-Xia*

Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Microbial Resources, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China

Abstract: *Pleurotus* (Pleurotaceae, Agaricomycetes) is considered as one of the most abundant biological diversity groups in the macrofungi. *Pleurotus* spp. have abundant bioactive substances, such as polysaccharides, proteins, amino acids and fatty acids, etc. These substances have been extensively used in the fields of food, health care, and pharmaceutical industry. The fungi secrete enzymes such as lignin peroxidases, Mn-peroxidase and laccase, etc., which may degrade PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons), dyes, agricultural and industrial wastes and thus can be used in treating waste water from industries like textile, paper-making, olive mill and city waste. Due to their strong ability of utilizing diverse substrates, *Pleurotus* spp. could be cultivated on substrates formulated from agriculture, forestry and light industry wastes. In most cases, their biological efficiency is higher than other edible fungi. *Pleurotus* spp. have important application value in agricultural production.

Key words: *Pleurotus* spp., biological diversity, bioactive substances, degrade, cultivation

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2014CB138303); 国家科技支撑计划 (2013BAD16B02)

*Corresponding author. E-mail: zhangjinxia@caas.cn

收稿日期: 2015-02-02, 接受日期: 2015-06-25

侧耳属真菌的利用已有悠久历史,我国人民采集其野生子实体作食物有几百年的历史,商业化栽培利用也有近 40 年历史。侧耳属种类丰富、分布广泛、基质利用多样,使得其成为人类广泛利用的大型真菌,不仅子实体作为人类的美味佳肴,同时含有的多种生物活性物质在维护人类健康中也发挥着重要作用。随着环境问题的加剧,环境的生物修复日益受到关注,侧耳的诸多生物修复潜能日益受到重视,其经济利用更加广泛,且经济利用的研究领域不断被拓宽,为其经济利用带来了更加广阔的前景。

1 侧耳属真菌的生物多样性

侧耳属 *Pleurotus* (Fr.) P. Kumm. 隶属于担子菌门 Basidiomycota、伞菌纲 Agaricomycetes、伞菌目 Agaricales, 侧耳科 Pleurotaceae (Dennis 1970; Pegler 1977; Singer & Aguir 1986; Kirk *et al.* 2001, 2008)。侧耳属真菌分布广泛,具有重要的经济价值,是大型真菌中生物多样性最为丰富的类群之一,且已知物种数量随着不同的注释在不断变化 (Kirk *et al.* 2008)。目前全世界被描述过的侧耳属真菌种类超过 1 000 种 (Guzman 2000), 目前该属有 755 个分类单元 (CABI Bioscience 菌种数据库) www.indexfungorum.org/Names/names.asp, 但被广泛接受的种类大约只有 50 种。

物种的形成来自生态与地理隔离而导致的遗传分化 (Sobel 2014)。从物种的形成年代上,侧耳属分为远古种和近代种两大进化分支类型 (Vilgalys & Sun 1994)。虽然获得认可的 50 种区分较为明确清晰,但是,很多种内都存在着诸多的生态类型或变种,以复合种 (species-complex) 的形式存在,如糙皮侧耳种族群 (*Pleurotus ostreatus* species-complex)、刺芹侧耳种族群 (*Pleurotus eryngii* species-complex) (Lewinsohn *et al.* 2000)、桃红侧耳种族群 (*Pleurotus salmoneostramineus* species-complex) 等 (Bao *et al.* 2005)。虽然性亲

和常作为侧耳属内种阶元鉴定的关键标识 (Shimomura *et al.* 1992), 并明确提出了杂交不育的标准 (Taylor *et al.* 2000; Giraud *et al.* 2008), 然而种内的不同生态类型或变种间的性亲和常出现部分可育 (Zervakis *et al.* 2004)、不育 (Mohammad 2012) 或自然状态下不亲和而人工杂交亲和的复杂状况 (Kawa *et al.* 2008); 另外,种间如糙皮侧耳复合群与白黄侧耳之间人工杂交可育 (Mohammad 2012), 这就为侧耳属生物多样性的研究分析带来诸多困难,也是生物学种的概念在侧耳属应用中的巨大挑战。

生物学的多样性,决定了侧耳属经济性状多样性的及其可利用性。根据《菌物辞典》第 10 版,目前世界广泛栽培的侧耳属真菌约有 20 种 (Kirk *et al.* 2008), 主要包括糙皮侧耳 *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quél., 肺形侧耳 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., 白黄侧耳 *Pleurotus cornucopiae* (Paulet) Rolland, 刺芹侧耳 *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél., 金顶侧耳 *Pleurotus citrinopileatus* Singer, 美味侧耳 *Pleurotus sapidus* (Schulzer) Sacc., 佛州侧耳 *Pleurotus floridanus* Singer, 阿魏侧耳 *Pleurotus ferulae* (Lanzi) X.L. Mao, 白灵侧耳 *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis* (戴玉成等 2010) 等。其较强生态适应性和木质纤维素降解能力,使得栽培者易于获得理想的产量和经济效益;其鲜美的风味深受市场青睐,成为世界主要食用菌商业栽培种 (Chang & Buswell 2008)。据中国食用菌协会统计,至 2013 年,我国糙皮侧耳 (平菇) 产量为 594.83 万吨,占食用菌总产量的 18.8%。

2 侧耳属真菌的活性成分及作用

侧耳属真菌具有丰富的营养物质,包括多糖、蛋白质、氨基酸、脂肪酸等,这些生物活性成分具有提高机体免疫力、延缓衰老、抗疲劳、抗肿瘤、调节血糖、调节血脂、化学预防 (Im *et al.* 2014; Lin *et al.* 2014; Xu *et al.* 2014) 等重要作用。侧耳

属真菌具有药理活性,对人体具有养身保健作用,是一类良好的具有极大药用潜质和食用价值的食用菌(Kunjadia *et al.* 2014; Alam *et al.* 2008)。世界各地人都有采食野生侧耳属真菌的习惯,并作为可以治疗疾病的药用蘑菇,随着侧耳属真菌种植面积的不断扩大,对侧耳属的利用将大大增加,这对于改善人类的膳食平衡和治疗疾病具有重要意义。

2.1 侧耳多糖

侧耳多糖是侧耳属真菌中含量较高且具有极其重要作用的成分,通常以葡聚糖、糖蛋白和杂多糖等形式存在,且已发现的大部分都属于葡聚糖型,主要以 β -1,3-糖苷键为主链, β -1,6-糖苷键为支链或其他形式存在。 β -1,3-糖苷键、 β -1,4-糖苷键和 β -1,6-糖苷键的聚合物在膳食营养中具有重要作用(Manzi & Pizzoferrato 2000)。佛州侧耳、肺形侧耳、核侧耳、糙皮侧耳、刺芹侧耳、白灵侧耳等种,都含有这类多糖物质(Ragunathan *et al.* 1996)。糙皮侧耳子实体除含有葡萄糖、甘露糖、半乳糖等水溶性多糖组分外,还含有约20%的蛋白质(其残基主要含氨基和羟基化合物),多糖部分以 α -1,4-糖苷键连接的葡聚糖为主链,支链可能存在于 β -1,4-糖苷键连接的葡萄糖基和 β -1,2-糖苷键连接的甘露糖基,且分支点均在C-6位置上(Gutierrez *et al.* 1996)。目前,从侧耳属中提取出的 β 葡聚糖常作为膳食补充剂,用于维持人体的饮食平衡。同时这类葡聚糖还能够增强免疫力,抵御外来伤害(Synytsya *et al.* 2009)。此外,侧耳多糖还具有免疫调节、抗氧化、抗炎症及镇痛等作用(Bobek & Galbavy 2001; Smiderle *et al.* 2008)。

Chen *et al.* (2014)从刺芹侧耳多糖中发现了两种新多糖EP和EP-1,这两种新多糖对巨噬细胞脂肪堆积形成的泡沫细胞具有显著的抑制效果。白灵侧耳多糖可抑制肺癌细胞A549的细胞增殖,并诱导其凋亡(Cui *et al.* 2014)。糙皮侧耳多糖具有抑制癌细胞增殖,增强巨噬细胞的吞噬作用,从而发挥抗癌功效(Konga *et al.* 2014)。这些研究为抗

癌药物的开发开辟了新途径。

2.2 侧耳蛋白

侧耳属真菌蛋白丰富,子实体和菌丝体都含有大量蛋白,例如在糙皮侧耳中子实体蛋白含量可达鲜重的5.99%,菌丝体蛋白含量可达鲜重的14.225%(赵爽等 2011a, 2011b)。从子实体或者菌丝中获取蛋白将是未来获得有益蛋白的理想途径(Manu-Tawish & Martin 1987)。刺芹侧耳蛋白PEQP对肺癌细胞A549、胃腺癌细胞BGC-823、肝癌细胞HepG2和胃癌细胞HGC-27都具有良好的抗细胞增殖功能(Mariga *et al.* 2014)。在糙皮侧耳中首次发现了一种类似血红素结合蛋白的蛋白质——糙皮侧耳结合蛋白,该蛋白具有四叶 β 螺旋桨折叠结构,与血红素之间的亲和力温和且具有可逆性,其功能可能是细胞内的一种金属螯合剂(Ota *et al.* 2013)。糙皮侧耳蛋白提取物可以通过增加ROS的产生速率、GSH的降解和线粒体功能障碍等诱导细胞凋亡,说明食用菌的蛋白提取物可能成为一种新的抗癌药物(Wu *et al.* 2011)。侧耳属真菌当中还具有一些溶细胞作用的蛋白,如从白灵侧耳中提取的一种新的溶血蛋白nebrodeolysin可以使血红细胞中的K离子外流导致细胞凋亡,同时对多种癌细胞和HIV病毒具有抗性;糙皮侧耳中的ostreolysin可以导致红细胞溶解(Lv *et al.* 2009; Sepcic *et al.* 2003; Zuzek *et al.* 2006)。除此之外,侧耳属还具有生物活性较好的糖蛋白复合物,对癌细胞具有良好的抑制作用(Tao *et al.* 2009; Zhang *et al.* 2011)。

动物食品是人类蛋白的主要来源,但摄入肉类的同时,也同时食入了较多的脂肪等导致肥胖或诱发血管疾病的成分,导致健康受到威胁。随着侧耳真菌蛋白研究的不断深入,侧耳蛋白将成为人类获得外源蛋白的理想途径,利用侧耳蛋白开发新型药物治疗人类疾病可能成为一场革命性的发现。

2.3 微量元素

微量元素对于人体健康非常重要,日常饮食合

理摄取微量元素对保持健康具有重要作用。侧耳属子实体含有丰富的微量元素,如 K, P, Mg, Ca 和 Na 的含量占微量元素的 56%–70%,其中 K 含量最多,含量大约在 45%左右。Ca 和 Pb 的浓度分别为 0.3–0.5mg/L 和 1.5–3.2mg/L, Cu 在侧耳属中的浓度可以高达 21.9mg/L,高于其他种类的食用菌。Zn 的含量在所有重金属元素中最高(Chang & Miles 2004)。有研究表明,子实体和菌丝体的微量元素含量大致相同(Manu-Tawish & Martin 1987)。Vetter (1995)对侧耳属子实体中的 22 种微量元素与蘑菇属进行比较分析,发现侧耳属真菌对一些有害元素(如 As, Cd, Cu)的富集能力远低于蘑菇属,这进一步说明侧耳属真菌可以作为良好的膳食营养源。

2.4 脂肪酸

侧耳属真菌脂肪类物质含量低,且多为不饱和脂肪酸。分析表明,肺形侧耳粗脂肪含量占干重的 1.6%,其中饱和脂肪酸占 20.7%,不饱和脂肪酸占 79.3%。在不饱和脂肪酸中,油酸和亚油酸分别占 12.29%和 62.94%(Chang & Miles 2004)。Atri *et al.* (2013)对来自印度西北部的 5 个野生侧耳的营养成分分析发现,脂肪酸含量占干重的 0.62%–0.84%,且在脂肪酸中,不饱和脂肪酸含量占 37.17%–68.29%,高于饱和脂肪酸(26.06%–47.77%)。不饱和脂肪酸具降低血脂功效,即便是多食也不会引起发胖或引发心血管疾病。

2.5 其他成分

侧耳属除了多糖、蛋白质、脂肪酸、微量元素等,还含有对人类健康有益的其他生物活性成分,如三萜、洛伐他汀、外源血凝素等。

大多数侧耳属真菌含有三萜。三萜具有抗氧化活性,如乌索酸(Samivel & Prasad 2008),但也有报道称三萜提取物对过氧化氢诱导的氧化胁迫不起作用(Cui *et al.* 2005)。Zhang *et al.* (2013)从鲍鱼侧耳中提取到 9- β -D-呋喃核糖苷(ADO)、5-

脱氧-5-(甲硫)腺苷(MTA)和三萜络合物,并发现这 3 种物质在抑制溶血、大脑和肾脏匀浆脂质过氧化作用方面均有不同的抗氧化活性,并在清除羟基自由基上表现出显著的协同效应。这为鲍鱼侧耳作为一种天然抗氧化剂应用于医学奠定了基础。

洛伐他汀是一种真菌代谢物, Cinerma *et al.* (1993)从糙皮侧耳等几种侧耳中首次发现,洛伐他汀是胆固醇合成限速步骤催化酶 HMG CoA 的竞争性抑制剂,因而具降血脂活性。糙皮侧耳、美味侧耳和肺形侧耳等都含有洛伐他汀。Bobek *et al.* (1991)给试验大鼠饲喂含有 0.3%胆固醇和 5%糙皮侧耳子实体粉末的人工调配饲料,8 周后大鼠血浆和肝脏内胆固醇浓度分别降低 32%和 55%。

凝集素在生物识别中扮演众多角色,涉及细胞、碳水化合物和蛋白质多种作用方式(Rutishauser & Sachs 2013)。Wang *et al.* (2000)从糙皮侧耳子实体中分离到二聚凝集素,对小鼠肉瘤 S-180 和肝肿瘤 H-22 都有很强的抑制活性,肿瘤小鼠的生存期显著延长,且体重明显增加。

3 侧耳属真菌在生物修复中的利用

杀虫剂的滥用及工业化所造成的土壤、水和大气污染成为日渐紧迫的环境问题。利用微生物降解有毒有害物质,是环境修复的最佳选择。利用细菌的生物降解已引起广泛的关注,近年利用真菌开展生物修复也逐渐受到关注。担子菌正是降解有毒有害物质能力最强的一类真菌,尤其是侧耳属真菌,它们在生长的过程中通过分泌大量木质素氧化酶(lignin peroxidases, LiP)、锰过氧化物酶(Mn-peroxidase, MnP)、漆酶(laccase, Lac)等,可降解多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)、染料、工农业废弃物等有害物(Adenipekun & Lawal 2012)。白腐真菌可应用于纺织厂、造纸厂、橄榄油厂废水及城市废水的处理(袁海生等 2010; 司静等 2011a, 2011b),是一种很好的生物降解制剂。

3.1 侧耳属真菌对 PAHs 的降解

多环芳烃是指包含两个或多个稠合芳烃的有机物,通常被认为能产生有害的生物效应,有毒性、致癌或诱变的嫌疑。各个国家均出台相应法律法规应对土壤 PAHs 污染的治理,其中生物降解最具前景。先前的研究主要集中于细菌 (Haritash & Kaushik 2009),而实际上,白腐真菌更容易在土壤中定植,也更容易与土壤中的微生物种群进行竞争,更好地促进 PAHs 的降解 (Novotny *et al.* 2000)。

Byss *et al.* (2008) 首次报道糙皮侧耳有降解荧蒽的能力,且发现荧蒽的降解与 MnP 和 Lac 相关。糙皮侧耳能够在分别含有萘、蒽、芘、苯并蒽、芘或荧蒽 70mg/L 的培养基质中生长,接种培养 8d 后,一半以上的荧蒽被降解 (Patel *et al.* 2009)。为了评价糙皮侧耳产废后对于几种 PAHs (荧蒽,蒽,菲和芘等)的降解能力,分别以长满菌丝的基质和采收过子实体的基质(菌渣)为材料,添加到污染的土壤中,当 PAHs 浓度较低时,添加 10%和 20%的长满菌丝的基质能对 PAHs 的降解产生明显的作用;添加菌渣的 PAHs 降解率稍低于前者。菲的降解率最高,可达 59%;芘的降解最低,为 48% (Gasecka *et al.* 2013)。

利用肺形侧耳可治理污染土壤中 PAHs、重金属及电池废弃物等。污染的土壤接种肺形侧耳 6–10 周后,C、K、P 和有机物的含量都上升;N、Ca 以及 pH 值均下降;Pb 的含量不变;但 Cu、Mn 及 Ni 的含量显著下降,PAHs 的含量在 10 周内从 6.86% 下降到 0.56% (Adenipekun *et al.* 2011)。核侧耳可以对机油污染的土壤进行治理,接种 5–9 个月后土壤中重金属含量显著下降 (Ikhajiagbe & Anoliefo 2012a);往土壤中混合不同浓度的机油,放置 5 个月后,添加长在木屑上的核侧耳菌丝,9 个月后超过 60%的 PAHs 化合物完全降解,重金属的含量显著下降,使得环境风险因子 (environmental risk factor, ERF) 下降 (Ikhajiagbe & Anoliefo 2012b)。

糙皮侧耳菌渣可以清除油基钻井岩屑中的

PAHs,经过 56d 的孵育后,PAHs 的含量由原来的 19.75%下降至 7.62%,且 PAHs 随着糙皮侧耳菌渣的增加而下降,同时增加了糙皮侧耳菌渣对聚芳酯 (PAR)的清除能力。其对芘的降解能力为 97.98%;对芴的降解能力为 100% (Ayotamuno *et al.* 2010)。

3.2 侧耳属真菌在农药降解中的作用

侧耳属真菌可以用于转化或降解农药中的有毒物质。Purnomo *et al.* (2010) 探讨了侧耳属的菌渣对 2,2-双(4-氯苯基)-1,1,1-三氯乙烷 (DDT) 的降解。接种培养 28d 后,48%的 DDT 被降解;培养 56d 后,5.1%的 DDT 被栽培废料矿化。同时还调查了这种栽培废料对人工污染的 DDT 土壤的降解潜力,接种培养 28d 后,灭菌的和未灭菌的土壤中的 DDT 分别被降解了 40%和 80%;培养 56d 后,土壤中的 DDT 分别被矿化 5.1%和 8.0%,证实了栽培废料可以用于 DDT 的生物降解。Karas *et al.* (2011) 使用糙皮侧耳等 3 株真菌和 1 株黑曲霉菌株对残留在稻草提取介质 (StEM) 和土壤提取介质 (SEM) 中的农药进行降解试验,包括噻苯咪唑 (TBZ)、液相 (IMZ)、甲基托布津 (TM)、邻苯基苯酚 (OPP)、二苯胺 (DPA) 和毒死蜱 (CHL),并测定了农药的降解及过氧化物酶 (LiP, MnP) 和漆酶活性之间的联系。其中,降解能力最强的是糙皮侧耳,它可以降解除 TBZ 之外的其他农药 (浓度为 10mg/L),且对 StEM 中的农药降解作用更显著。当 MnP 和 Lac 的活性增加时,OPP 和 DPA 迅速降解。Cvancarova *et al.* (2012) 用 8 种木质素分解真菌对一种多氯联苯混合物 (Delor103) 进行降解试验,结果表明,糙皮侧耳降解效率最高,它可分别去除混合基质和矿物质基质中 98.4%和 99.6%的多氯联苯 (polychlorinated biphenyls pollution, PCB);这 8 种真菌中只有糙皮侧耳能分解混合基质中的五氯联苯和六氯联苯。试验表明,这种去除效果作用与木质素分解系统的两种酶对 PCB 的生物转化相关。Purnomo *et al.* (2013, 2014) 研究了糙皮侧耳对人为污染土壤中的七氯和环氧七氯

的转化能力,在接种培养 28d 后,可以转化 89% 的七氯和 32% 的环氧七氯。糙皮侧耳栽培废料可分别转化 91% 的七氯和 26% 的环氧七氯。

3.3 侧耳属真菌在污水处理中的作用

造纸厂和纺织厂废水中最重要的污染物是毒害生态系统的各种染料,而脱色是这类污水处理的关键步骤。研究表明,侧耳属真菌可以在含有纤维素的污水中生长,从而达到对这类污水的脱色,脱色效果可达到 47.8% (Tegli *et al.* 2014; Ahmed *et al.* 2014)。另有研究表明糙皮侧耳能完全清除纺织厂染料废液中的雷马素马斯亮蓝 (Akdogan & Canpolat 2014),对于汽巴马斯亮蓝和汽巴龙红也有很好的脱色能力,在固体和液体的培养基质中均能将汽巴马斯亮蓝 H-GR 和汽巴龙红 FN-2BL 在 1h 内降解近 60% (Moreira-Neto *et al.* 2013)。同时,糙皮侧耳有很好的吸附亚甲基蓝的能力,通过吸附色素条件的优化,可有效地对含染料的污水进行脱色。并且对偶氮染料和 synazol 红的降解效果也非常好,其中 synazol 红在 24h 内可降解 96% (Ilyas *et al.* 2012; Hashmi & Saleem 2013)。除了降解偶氮染料,糙皮侧耳还可作为一种纳米粒子来吸附水溶液中的 Mn^{2+} ,在合适的理化条件下 30min 内达到良好的吸附效果 (Majeedi *et al.* 2014)。

橄榄油工厂废水的处理主要涉及酚类的降解。桃红侧耳和肺形侧耳都能显著降低废水中酚的含量并脱色 (Koutrotsios & Zervakis 2014; Olivieri *et al.* 2012)。相关的生物降解脱色产业化应用技术仍有待开发。

城市污水和工业废水中的双酚 A (bisphenol A, BPA) 和 4-n-壬基酚 (4-n-nonylphenol, NP) 是两种内分泌干扰素,对动物、特别是水生动物和人类有害。研究表明,糙皮侧耳可以降解淡水中的 BPA 和 NP (Loffredo *et al.* 2013)。

3.4 侧耳属真菌对环境污染重金属的去除

食用菌因对重金属有较好的富集能力,作为生物修复剂消除或减少重金属污染的研究工作备受

关注。根据我国侧耳属食用菌的产量推算,每年产生 500 万吨左右的菌渣。菌渣对 Cu^{2+} 具有很好的吸附作用,可作为吸附剂应用到环境中重金属污染的治理 (Hu *et al.* 2014)。Suseem & Mary (2014) 利用桃红侧耳对 3 种重金属的生物吸附试验表明,侧耳对重金属的吸附强度与环境 pH 值直接相关,对 Pb、Cr 和 Ni 等 3 种重金属吸附强度的 pH 值分别为 5.0、3.0 和 7.0,随着吸附剂量的增加吸附作用随之增强。另外,桃红侧耳对 Pb 的吸附效果最好,子实体最适合作为 Pb 的高效吸附剂。

4 侧耳属真菌对农业、林业和工业废弃物的利用

农业、林业、轻工业等生产产生的废料,如作物秸秆和皮壳,畜禽的排泄物,新能源沼气渣,林业间伐树木、枝杈、木屑,酿造业的酒糟、醋糟,中药提取废渣等都富含木质纤维素。食用菌生长过程中可降解这些富含木质纤维素的废弃物并转化为营养美味健康食品。侧耳属真菌是食用菌家族中利用基质最为广泛的真菌,可利用多种农业、林业、轻工业等废弃物。

可利用的农业废弃物主要包括各类作物秸秆和皮壳,如稻草、麦草、玉米秆、玉米芯、棉籽壳、棉秆、亚麻杆、大豆秸、桑枝、麻骨、花生壳 (Chang & Miles 1992; Ziombra & Gapinski 1986; Ahmedova 1992; 申淑琼 1989; Sharma 1987; Rodriguez Estrada & Royse 2007; 弈红和张慧珍 2004; Yamashita *et al.* 1983) 等都可以栽培侧耳属真菌,将人类不可直接食用的木质纤维素转化为美味营养健康的食物,并获得可观的经济效益。

林业废弃物中主要是间伐的小树段木 (Lelley 1976) 和木屑 (Li & Jelen 1987) 两种废弃物被侧耳属真菌利用,有较高的转化率。木材加工业的木屑和木块也是很好的资源,郑光耀等 (2013) 采用杨木屑和杨木块作为部分代料栽培白黄侧耳,以 23%–58% 的杨木屑代替棉籽壳,产量较完全使用棉

籽壳提高了 2.7%–9.7%; 以 23%–39% 的杨木块代替棉籽壳, 产量提高了 8.7%–8.9%。但是完全以杨木屑或者杨木块为栽培料, 产量会低于棉籽壳。

工业废弃物包括蔗糖渣 (Estela 1996)、药渣、沼气渣、甜菜渣 (Jafarpour *et al.* 2010)、木糖醇渣 (陈文杰 2000) 及造纸工业的废料浆渣 (高述民和周燕 1992) 等均含有未被分解利用的粗纤维及化学残物, 可用于侧耳属真菌的栽培。目前, 我国已成功应用黄芪、绞股蓝、葛根等多种废渣栽培侧耳属真菌。如用虎杖药渣栽培刺芹侧耳, 在获得丰产的同时, 产后菌渣的蛋白质和脂肪含量都较高, 做为饲料利用价值高于常规配方。王冲等 (2013) 用 50% 酿酒残渣代替木屑栽培糙皮侧耳, 产量比常规配方增加 27%, 产后菌渣蛋白质含量高达 11.4%, 可以用来生产饲料, 实现了资源的高效循环利用。Ibegbulam-Njoku *et al.* (2014) 用油棕果渣、纸浆和废纸栽培糙皮侧耳; 于海龙等 (2014) 使用经 20d 发酵的沼气残渣代替木屑和玉米芯栽培白黄侧耳, 生物学效率达到 69.6%, Cd、Hg、Pb、As 的含量远低于国家对食用菌中重金属含量的要求。

此外, 海鲜食品加工产生的废弃物营养丰富。Lakshmi & Sornaraj (2014) 选用棕髓、木屑和甘蔗渣 3 种工业废弃物与熟鱼废料混合栽培扇形侧耳, 都获得了较好的产量。因此, 海产品的副产品作为侧耳属真菌种植栽培的基质具有一定开发潜能。

[REFERENCES]

- Adenipekun CO, Lawal R, 2012. Uses of mushrooms in bioremediation: a review. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 7(3): 62-68
- Adenipekun CO, Ogunjobi AA, Ogunseye OA, 2011. Management of polluted soils by a white-rot fungus: *Pleurotus pulmonarius*. *AU Journal of Technology*, 15(1): 57-61
- Ahmed S, Haider A, Nadeem M, 2014. Screening of white rot fungi for decolorization of pulp and paper industrial wastewater. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 11(2/3): 445-448
- Ahmedova ZR, 1992. Biodegradation of plant wastes by the fungus *Pleurotus ostreatus*. I. Formation of biologically valuable products. *Biotechnologiya*, 8(5): 65-68
- Akdogan HA, Canpolat M, 2014. Comparison of remazol brilliant blue removal from wastewater by two different organisms and analysis of metabolites by GC/MS. *Journal of AOAC International*, 97(5): 1416-1420
- Alam N, Amin RA, Ara I, Khan A, Shim M, Woong LM, Soo LT, 2008. Nutritional analysis of cultivated mushrooms in Bangladesh - *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus sajor-caju*, *Pleurotus florida* and *Calocybe indica*. *Mycobiology*, 36(4): 228-232
- Atri NS, Sharma SK, Joshi R, Gulati A, Gulati A, 2013. Nutritional and nutraceutical composition of five wild culinary-medicinal species of genus *Pleurotus* (higher basidiomycetes) from northwest India. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 15(1): 49-56
- Ayotamuno JM, Okparanma RN, Davis DD, Allagoa M, 2010. PAH removal from Nigerian oil-based drill-cuttings with spent oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) substrate. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 8(3-4): 914-919
- Bao DP, Aimi T, Kitamoto Y, 2005. Cladistic relationships among the *Pleurotus ostreatus* complex, the *Pleurotus pulmonarius* complex, and *Pleurotus eryngii* based on the mitochondrial small subunit ribosomal DNA sequence analysis. *Journal of Wood Science*, 51(1): 77-82
- Bobek P, Galbavy S, 2001. Effect of pleuran (beta-glucan from *Pleurotus ostreatus*) on the antioxidant status of the organism and on dimethylhydrazine-induced precancerous lesions in rat colon. *British Journal of Biomedical Sciences*, 58(3): 164-168
- Bobek P, Ginter E, Jurcovicova M, Kuniak L, 1991. Cholesterol-lowering effect of the mushroom *Pleurotus ostreatus* in hereditary hypercholesterolemic rats. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 35(4): 191-195
- Byss M, Elhottova D, Triska J, Baldrian P, 2008. Fungal bioremediation of the creosote-contaminated soil: influence of *Pleurotus ostreatus* and *irpex lacteus* on

- polycyclic aromatic hydrocarbons removal and soil microbial community composition in the laboratory-scale study. *Chemosphere*, 73(9): 1518-1523
- Chang ST, Buswell JA, 2008. Development of the world mushroom industry: applied mushroom biology and international mushroom organizations. *International Journal of Medicinal Mushroom*, 10(3): 195-208
- Chang ST, Miles PG, 1992. Edible mushroom and their cultivation. Hebei University Press, Baoding. 346-352 (in Chinese)
- Chang ST, Miles PG, 2004. Mushroom: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C. 32-33
- Chen JJ, Yong YY, Xia X, Wang ZL, Liang YX, Zhang SZ, Lu L, 2014. The excreted polysaccharide of *Pleurotus eryngii* inhibits the foam-cell formation via down-regulation of CD36. *Carbohydrate Polymers*, 112: 16-23
- Chen WJ, 2000. Cultivation technology of *Pleurotus ostreatus* by xylitol residue. *Edible Fungi*, 5: 26 (in Chinese)
- Cinerna NG, Plemenitas A, Cinerna A, 1993. *Pleurotus* fungi produce mevinolin, an inhibitor of HMG CoA reductase. *FEMS Microbiology Letters*, 113(3): 332-338
- Cui HY, Wang CL, Wang YR, Li ZJ, Zhang YN, Chen MH, 2014. *Pleurotus nebrodensis* polysaccharide induces apoptosis in human non-small cell lung cancer A549 cells. *Carbohydrate Polymers*, 104: 246-252
- Cui Y, Kim DS, Park KC, 2005. Antioxidant effect of *Inonotus obliquus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 96(1-2): 79-85
- Cvancarova M, Kresinova Z, Filipova A, Covino S, Cajthaml T, 2012. Biodegradation of PCBs by ligninolytic fungi and characterization of the degradation products. *Chemosphere*, 88(11): 1317-1323
- 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)
- Dennis RWG, 1970. Fungus flora of Venezuela and adjacent countries. *Kew Bulletin, Addition Series*, 3: 1-531
- Estela CB, 1996. The use of sugarcane bagasse for the production of edible mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Sugar Journal*, 59(7): 16-26
- Gao SM, Zhou Y, 1992. Cultivation of *Pleurotus* mushrooms by using slurry-residue from papermaking industrial waste. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2: 80 (in Chinese)
- Gasecka M, Drzewiecka K, Stachowiak J, Siwulski M, Golinski P, Sobieralski K, 2013. The efficient degradation of selected PAHs in soil with a substrate refuse from *Pleurotus ostreatus* cultivation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(9A): 2651-2658
- Giraud T, Refregier G, Le Gac M, de Vienne DM, Hood ME, 2008. Speciation in fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 45: 791-802
- Gutierrez A, Prieto A, Martinez AT, 1996. Structural characterization of extracellular polysaccharides produced by fungi from the genus *Pleurotus*. *Carbohydrate Research*, 281: 143-154
- Guzman G, 2000. Genus *Pleurotus* (Jacq.: Fr.) P. Kumm (Agaricomycetideae): diversity, taxonomic problems, and cultural and traditional medicinal uses. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2: 95-123
- Haritash AK, Kaushik CP, 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3): 1-15
- Hashmi S, Saleem Q, 2013. Potential role of *Pleurotus ostreatus* in the decolorization and detoxification of the dye synozol red. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(6): 106-112
- Hu XJ, Gu HD, Zang TT, Jin Y, Qu JJ, 2014. Biosorption mechanism of Cu^{2+} by innovative immobilized spent substrate of fragrant mushroom biomass. *Ecological Engineering*, 73: 509-513
- Ibegbulam-Njoku PN, Chijioke-Osujiji CC, Ejeagba IO, 2014. Bioremediation of industrial solid wastes. *British Microbiology Research Journal*, 4(9): 1013-1024
- Ikhajagbe B, Anoliefo GO, 2012a. Phytoassessment of a 5-month old waste engine oil polluted soil after augmentation with *Pleurotus tuber-regium*. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4(1): 10-16
- Ikhajagbe B, Anoliefo GO, 2012b. Substrate bioaugmentation of waste engine oil polluted soil. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(1): 60-67

- Ilyas S, Sultan S, Rehman A, 2012. Decolourization and degradation of azo dye, synozol red HF6BN, by *Pleurotus ostreatus*. *African Journal of Biotechnology*, 11(88): 15422-15429
- Im KH, Nguyen TK, Shin do B, Lee KR, Lee TS, 2014. Appraisal of antioxidant and anti-inflammatory activities of various extracts from the fruiting bodies of *Pleurotus florida*. *Molecules*, 19(3): 3310-3326
- Jafarpour M, Zand AJ, Dehdashtizadeh B, Eghbalsaid S, 2010. Evaluation of agricultural wastes and food supplements usage on growth characteristics of *Pleurotus ostreatus*. *African Journal of Agricultural Research*, 5(23): 3291-3296
- Karas PA, Perruchon C, Exarhou K, Ehaliotis C, Karpouzias DG, 2011. Potential for bioremediation of agro-industrial effluents with high loads of pesticides by selected fungi. *Biodegradation*, 22(1): 215-228
- Kawa G, Babasaki K, Neda H, 2008. Taxonomic position of a Chinese *Pleurotus* "Bai-Ling-Gu": it belongs to *Pleurotus eryngii* (DC.: Fr.) Quel. and evolved independently in China. *Mycoscience*, 49(1): 75-87
- Kirk PM, Cannon PF, David JC, Stalpers JA, 2001. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 9th edition. CABI Bioscience, CAB International. 655
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA (eds.), 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10th edition. CABI Bioscience, CAB International. 549
- Konga F, Lid F, He ZM, Jiang Y, Sun X, Tong HB, 2014. Anti-tumor and macrophage activation induced by alkali-extracted polysaccharide from *Pleurotus ostreatus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69: 561-566
- Koutrotsios G, Zervakis GI, 2014. Comparative examination of the olive mill wastewater biodegradation process by various wood-rot macrofungi. *BioMed Research International*, 2014: 1-14
- Kunjadia PD, Nagee A, Pandya PY, Mukhopadhyaya PN, Sanghvi GV, Dave GS, 2014. Medicinal and antimicrobial role of the oyster culinary-medicinal mushroom *Pleurotus ostreatus* (higher basidiomycetes) cultivated on banana agrowastes in India. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(3): 227-238
- Lakshmi SS, Sornaraj R, 2014. Utilization of seafood processing wastes for cultivation of the edible mushroom *Pleurotus flabellatus*. *African Journal of Biotechnology*, 13(17): 1779-1785
- Lelley J, 1976. The oyster fungus—a profitable crop on wood substrate. *Deutscher Gartenbau*, 30(28): 923-924
- Lewinsohn D, Nevo E, Hadar Y, 2000. Ecogeographical variation in the *Pleurotus eryngii* complex in Israel. *Mycological Research*, 104: 1184-1190
- Li-Shing-Tat B, Jelen P, 1987. Cultivation of *Pleurotus* mushrooms on aspen wood shavings with cheese whey supplementation. *Cultivating Edible Fungi*, 10: 545-554
- Lin SL, Lai TC, Chen L, Kwok HF, Lau CBS, Cheung PCK, 2014. Antioxidant and antiangiogenic properties of phenolic extract from *Pleurotus tuber-regium*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(39): 9488-9498
- Loffredo E, Castellana G, Traversa A, Senesi N, 2013. Comparative assessment of three ligninolytic fungi for removal of phenolic endocrine disruptors from freshwaters and sediments. *Environmental Technology*, 34(12): 1601-1608
- Lv H, Kong Y, Yao Q, Zhang B, Leng FW, Bian HJ, 2009. Nebrodeolysin, a novel hemolytic protein from mushroom *Pleurotus nebrodensis* with apoptosis-inducing and anti-HIV-1 effects. *Phytomedicine*, 16(2-3): 198-205
- Majeedi A, Jilani MI, Nadeem R, Hanif MA, Ansari TM, 2014. Adsorption of Pb(II) using novel *Pleurotus sajor-caju* and sunflower hybrid biosorbent. *Environment Protection Engineering*, 40(2): 5-15
- Manu-Tawiah W, Martin AM, 1987. Chemical composition of *Pleurotus ostreatus* mycelial biomass. *Food Microbiology*, 4(4): 303-310
- Manzi P, Pizzoferrato L, 2000. Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 68: 315-318
- Mariga AM, Yang WJ, Mugambi DK, Pei F, Zhao LY, Shao YN, Hu QH, 2014. Antiproliferative and immunostimulatory activity of a protein from *Pleurotus eryngii*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(15): 3152-3162
- Mohammad RA, 2012. Intersterility groups in the *Pleurotus*

- ostreatus* complex in Iran. *Mycology*, 3(2): 147-152
- Moreira-Neto SL, Mussatto SI, Machado KMG, Milagres AMF, 2013. Decolorization of salt-alkaline effluent with industrial reactive dyes by laccase-producing basidiomycetes strains. *Letters in Applied Microbiology*, 56(4): 283-290
- Novotny C, Erbanova P, Cajthaml T, Rothschild N, Dosoretz C, Sasek V, 2000. *Irpex lacteus*, a white rot fungus applicable to water and soil bioremediation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 54(6): 850-853
- Olivieri G, Russo ME, Giardina P, Marzocchella A, Sannia G, Salatino P, 2012. Strategies for dephenolization of raw olive mill wastewater by means of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 39(5): 719-729
- Ota K, Miha M, Papler T, Leonardi A, Krizaj I, Macek P, 2013. Ostreopexin: a hemopexin fold protein from the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *Biochimica et Biophysica Acta-Proteins and Proteomics*, 1834(8): 1468-1473
- Patel H, Gupte A, Gupte S, 2009. Biodegradation of fluoranthene by basidiomycetes fungal isolate *Pleurotus ostreatus* HP-1. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 157(3): 367-376
- Pegler DN, 1977. *Pleurotus* (Agaricales) in India, Nepal and Pakistan. *Kew Bulletin*, 31(3): 501-510
- Purnomo AS, Mori T, Kamei I, Nishii T, Kondo R, 2010. Application of mushroom waste medium from *Pleurotus ostreatus* for bioremediation of DDT-contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(5): 397-402
- Purnomo AS, Mori T, Putra SR, Kondo R, 2013. Biotransformation of heptachlor and heptachlor epoxide by white-rot fungus *Pleurotus ostreatus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82: 40-44
- Purnomo AS, Putra SR, Shimizu K, Kondo R, 2014. Biodegradation of heptachlor and heptachlor epoxide-contaminated soils by white-rot fungal inocula. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(19): 11305-11312
- Ragunathan R, Gurusamy R, Palaniswamy M, Swaminathan K, 1996. Cultivation of *Pleurotus* spp. on various agro-residues. *Food Chemistry*, 55(2): 139-144
- Rodriguez Estrada AE, Royse DJ, 2007. Yield, size and bacterial blotch resistance of *Pleurotus eryngii* grown on cottonseed hulls/oak sawdust supplemented with manganese, copper and whole ground soybean bioresource. *Technology*, 98: 1898-1906
- Rutishauser U, Sachs L, 2013. Cell-to-cell binding induced by different lectins. *Journal of Cell Biology*, 65(2): 247-257
- Samivel R, Prasad NR, 2008. Effect of ursolic acid, a triterpenoid antioxidant, on ultraviolet-B radiation-induced cytotoxicity, lipid peroxidation and DNA damage in human lymphocytes. *Chemico-Biological Interactions*, 176(2-3): 99-107
- Sepcic K, Berne S, Potrich C, Turk T, Macek P, Menestrina G, 2003. Interaction of ostreolysin, a cytolytic protein from the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*, with lipid membranes and modulation by lysophospholipids. *European Journal of Biochemistry*, 270(6): 1199-1210
- Sharma HSS, 1987. Comparative study of the degradation of flax shive by strains of *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 25(6): 542-546
- Shen SQ, 1989. Main techniques for the production of the high-yielding cultivar Kunyanping 841. *Edible Fungi of China*, 4: 32-33 (in Chinese)
- Shimomura N, Hasebe K, Nakai-Fukumasa Y, Komathu M, 1992. Intercompatibility between geographically distant strains of Shiitake. *Reports of the Tottori Mycological Institute*, 30: 26-29
- Si J, Cui BK, He S, Dai YC, 2011a. Optimization of conditions for laccase production by *Perenniporia subacida* and its application in dye decolorization. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 17(5): 736-741 (in Chinese)
- Si J, Cui BK, Dai YC, 2011b. Application in dye decolorization and optimization of conditions in discoloration by *Trametes orientalis*. *Genomics and Applied Biology*, 30(3): 364-371 (in Chinese)
- Singer R, Aguair IA, 1986. Litter decomposing and ectomycorrhizal basidiomycetes in an igapo forest. *Plant Systematics and Evolution*, 153(1/2): 107-117

- Smiderle FR, Olsen LM, Carbonero ER, Baggio CH, Freitas CS, Marcon R, Santos ARS, Gorin PAJ, Lacomini M, 2008. Anti-inflammatory and analgesic properties in a rodent model of a (1->3), (1->6)-linked beta-glucan isolated from *Pleurotus pulmonarius*. *European Journal of Pharmacology*, 597(1-3): 86-91
- Sobel JM, 2014. Ecogeographic isolation and speciation in the genus *Mimulus*. *American Naturalist*, 184(5): 565-579
- Suseem SR, Mary SA, 2014. Biosorption of heavy metals using mushroom *Pleurotus eous*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(7): 2163-2168
- Synytysya A, Mickova K, Synytysya A, Jablonsky I, Spevacek J, Erban V, Kovarikova E, Copikova J, 2009. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers*, 76(4): 548-556
- Tao YZ, Zhang YY, Zhang LN, 2009. Chemical modification and antitumor activities of two polysaccharide-protein complexes from *Pleurotus tuber-regium*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45(2): 109-115
- Taylor JW, Jacobson DJ, Kroken S, Kasuga T, Geiser DM, Hibbett DS, Fisher MC, 2000. Phylogenetic species recognition and species concepts in fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 31: 21-32
- Tegli S, Cerboneschi M, Corsi M, Bonnanni M, Bianchini R, 2014. Water recycle as a must: decolorization of textile wastewaters by plant-associated fungi. *Journal of Basic Microbiology*, 54(2): 120-132
- Vetter J, 1995. Mineral and amino-acid contents of edible, cultivated mushroom shiitake (*Lentinus-edodes*). *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 201(1): 17-19
- Vilgalys R, Sun BL, 1994. Ancient and recent patterns of geographic speciation in the oyster mushroom *Pleurotus* revealed by phylogenetic analysis of ribosomal DNA sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91: 4599-4603
- Wang C, Lian B, Pan M, Ding YH, Zhang L, 2013. *Pleurotus ostreatus* cultivation with sauce-aroma-type liquor waste lees to replace sawdust. *Guizhou Agricultural Sciences*, 9: 146-149 (in Chinese)
- Wang HX, Gao JQ, NG TB, 2000. A new lectin with highly potent antihepatoma and antisarcoma activities from the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 275(3): 810-816
- Wu JY, Chen CH, Chang WH, Chung KH, Liu YW, Lu FJ, 2011. Anti-cancer effects of protein extracts from *Calvatia lilacina*, *Pleurotus ostreatus* and *Volvariella volvacea*. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2011: 1-10
- Xu WW, Li B, Lai ETC, Chen L, Huang JJH, Cheung ALM, Cheung PCK, 2014. Water extract from *Pleurotus pulmonarius* with antioxidant activity exerts *in vivo* chemoprophylaxis and chemosensitization for liver cancer. *Nutrition and Cancer-an International Journal*, 66(6): 989
- Yamashita I, Mori T, Iino K, Yanai S, 1983. Utilization of Job's-tears husk, peanut shell, lawn grass and porous stone for cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Quel.). *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology*, 30(12): 693-697
- Yi H, Zhang HZ, 2004. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* using mulberry twig. *China Sericulture*, 25(8): 75-76 (in Chinese)
- Yu HL, Lv BB, Tan Q, Shang XD, Song CY, Zhang LJ, Zhang MY, Li GX, 2014. Cultivation of *Pleurotus cornucopiae* using biogas production residue. *Acta Edulis Fungi*, 21(1): 25-28 (in Chinese)
- Yuan HS, Dai YC, Cao Y, Yang J, 2010. Screening of white-rot fungi for decolorizing synthetic dyes and investigation on factors affecting decolorizing capacity of *Cerrena unicolor*. *Mycosystema*, 29(3): 429-436 (in Chinese)
- Zervakis GI, Moncalvo JM, Vilgalys R, 2004. Molecular phylogeny, biogeography and speciation of the mushroom species *Pleurotus cystidiosus* and allied taxa. *Microbiology*, 150: 715-726
- Zhang M, Zhu L, Cui SW, Wang Q, Zhou T, Shen HS, 2011. Fractionation, partial characterization and bioactivity of water-soluble polysaccharides and polysaccharide-protein complexes from *Pleurotus geesteranus*.

International Journal of Biological Macromolecules, 48(1): 5-12

- Zhang YN, Song M, Ng TB, Zhao L, Liu F, 2013. Purification and characterization of antioxidant components from the fruiting bodies of *Pleurotus abalonus* including 9-beta-D-ribofuranosidoadenine, 5'-deoxy-5'-(methylthio) adenosine, and a triterpenoid. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36(2): 689-696
- Zhao S, Liu Y, Geng XL, Xu F, Wang SX, Meng LL, 2011a. Study on the content of protein and hydrophilic polysaccharide in mycelium of 20 different *Pleurotus ostreatus* strains. *Northern Horticulture*, 8: 174-176 (in Chinese)
- Zhao S, Liu Y, Yin BB, Wang SX, Xu F, Geng XL, Meng LL, 2011b. Study on contents of protein and polysaccharide in 19 *Pleurotus ostreatus* strains. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 39(19): 11405-11406 (in Chinese)
- Zheng GY, Xie CQ, Bo CY, Zhao GH, Xie ZL, 2013. Experimental cultivation of *Pleurotus cornucopiae* and *Flammulina velutipes* by partially using poplar sawdust or poplar bark as a substitute for cottonseed hull. *Journal of Anhui Agricultural University*, 40(1): 47-50 (in Chinese)
- Ziombra M, Gapinski M, 1986. Effect of substrate and pasteurization on oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm., mycelium growth. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Ogrodnictwo*, 165(13): 175-189
- Zuzek MC, Macek P, Sepcic K, Cestnik V, Frangez R, 2006. Toxic and lethal effects of ostreolysin, a cytolytic protein from edible oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), in rodents. *Toxicon*, 48(3): 264-271

[附中文参考文献]

- 陈文杰, 2000. 木糖醇渣栽培平菇技术. 食用菌, 5: 26
- 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
- 高述民, 周燕, 1992. 利用造纸工业废料——浆渣栽培平菇. 新疆农业科学, 2: 80
- 申淑琼, 1989. “昆研平-841”高产栽培技术要点. 中国食用菌, 4: 32-33
- 司静, 崔宝凯, 贺帅, 戴玉成, 2011a. 微酸多年卧孔菌产漆酶条件优化及其在染料脱色中的应用. 应用与环境生物学报, 17(5): 736-741
- 司静, 崔宝凯, 戴玉成, 2011b. 东方栓孔菌在染料脱色中的应用及其脱色条件的优化. 基因组学与应用生物学, 30(3): 364-371
- 王冲, 连宾, 潘牧, 丁远怀, 张林, 2013. 酱香型白酒丢糟代屑栽培平菇试验. 贵州农业科学, 9: 146-149
- 弈红, 张慧珍, 2004. 桑枝屑栽培平菇的技术探讨. 中国蚕业, 25(8): 75-76
- 于海龙, 吕贝贝, 谭琦, 尚晓冬, 宋春艳, 章炉军, 张美彦, 李国贤, 2014. 利用沼渣栽培白黄侧耳初探. 食用菌学报, 21(1): 25-28
- 袁海生, 戴玉成, 曹云, 杨建, 2010. 白腐真菌染料脱色菌株筛选及一色齿毛菌脱色条件的研究. 菌物学报, 29(3): 429-436
- 张树庭, P-G-Miles, 1992. 食用菌及其栽培. 保定: 河北大学出版社. 346-352
- 赵爽, 刘宇, 耿小丽, 许峰, 王守现, 孟莉莉, 2011a. 二十个平菇品种菌丝体蛋白质和多糖含量的研究. 北方园艺, 8: 174-176
- 赵爽, 刘宇, 殷贝贝, 王守现, 许峰, 耿小丽, 孟莉莉, 2011b. 19个平菇品种子实体蛋白质和多糖含量研究. 安徽农业科学, 39(19): 11405-11406
- 郑光耀, 谢春芹, 薄采颖, 赵桂华, 谢正林, 2013. 杨树木屑、树皮替代棉籽壳栽培姬菇和金针菇的研究. 安徽农业大学学报, 40(1): 47-50