

# 褐环乳牛肝菌的研究进展

韩长志, 任雪敏

(西南林业大学 林学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224)

**摘要:**褐环乳牛肝菌是重要的外生菌根菌之一,对松科植物生长提供必要的营养物质。同时,该菌可增加根际微生物数量,改善土壤条件等。现从褐环乳牛肝菌的分类地位、形态学特征、分布地区、发酵生物学、对根际微生物的影响、代谢途径关键酶等方面进行了综述,在此基础上认为应从褐环乳牛肝菌外生菌根菌复合菌剂开发、分泌蛋白功能以及关键代谢酶功能等方面开展深入研究,以期为进一步利用该菌奠定坚实的基础。

**关键词:**褐环乳牛肝菌;利用价值;外生菌根菌;综述

**中图分类号:**Q 939.96 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)06-0195-05

褐环乳牛肝菌(*Suillus luteus*),又名褐环粘盖牛肝菌、土色牛肝菌、黄乳牛肝菌、黄粘团子等<sup>[1]</sup>。随着社会的发展和人们生活水平的提高,该菌作为重要的食用菌之一,广泛受到人们的喜爱。同时,该菌作为针叶树种的外生菌根菌之一,植物形成菌根后可提高宿主的抗逆性<sup>[2]</sup>,在提高根系对磷元素和水分的吸收方面发挥着重要作用<sup>[3]</sup>。在新植物引种、菌根化育苗造林、逆境造林及防治植物病害等方面都有其巨大的发展潜力。近年来,褐环乳牛肝菌在生态系统、农林业生产和社会经济等方面所表现出的重要性,越来越受人们所关注。通过国内外文献查阅,分别在中国知网中以“褐环乳牛肝菌”、“褐环粘盖牛肝菌”进行主题、篇名搜索,发现国内对于该菌的研究 1980—2000 年仅有 22 篇文献,年均仅为 1 篇。2000 年以后,对该菌的研究也较少,直到最近对该菌的报道才有所增加(图 1),对 Scisearch 数据库进行搜索,结果发现自 1980 年至今,仅有 13 篇,年均还不到 1 篇;相比于其它真菌的研究尚属于冷门<sup>[4]</sup>。

尽管如此,目前对该菌的研究主要集中在发酵生物学<sup>[1]</sup>、发酵条件<sup>[5]</sup>、生态学特性<sup>[6]</sup>、培养条件<sup>[7]</sup>方面,以及该菌对樟子松、油松苗的促生作用<sup>[8]</sup>和与木霉协同促进红皮云杉苗木抗逆增效作用研究等<sup>[9]</sup>,同时,过量钠盐、

碱性 pH 值<sup>[10]</sup>和平菇汁<sup>[11]</sup>、接种量<sup>[12]</sup>对其生长影响及 pH 值对其三羧酸循环、草酸分泌及代谢途径中关键酶活性影响<sup>[13-14]</sup>、不同浓度磷元素对其菌丝生长和草酸代谢有很大的影响<sup>[15]</sup>,抗锌、铜等重金属<sup>[16-17]</sup>、改善磷营养<sup>[18-21]</sup>以及菌根合成<sup>[21]</sup>等方面研究。

随着褐环乳牛肝菌全基因组序列的公布,对其研究逐年增多,现从其分类地位、形态学特征、发酵生物学、对根际微生物的影响以及代谢途径关键酶研究等方面进行了综述,以期为进一步深入研究和利用褐环乳牛肝菌打下坚实的理论基础。

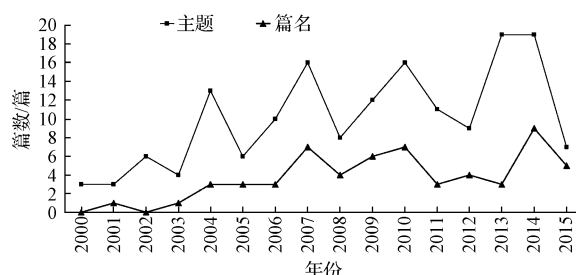


图 1 2000—2015 年间国内学术界对褐环乳牛肝菌的文献情况

## 1 褐环乳牛肝菌概述

该菌分布范围广,在较多松科植物上形成外生菌根,可作为食用菌应用于菌根苗的培育和荒山荒地造林;同时,该菌还具有增加根际土壤微生物数量,以及改善土壤条件、促进宿主植物生长等优势。

### 1.1 分类地位

根据 Ainsworth 分类系统<sup>[22]</sup>,该菌属于担子菌亚门(Basidiomycotina)层菌纲(Hymenomycetes)伞菌目(Agaricales)牛肝菌科(Boletaceae)粘盖牛肝菌属

**第一作者简介:**韩长志(1981-),男,河北石家庄人,博士,讲师,现主要从事经济林木病害生物防治与真菌分子生物学等研究工作。E-mail:hanchangzhi2010@163.com.

**基金项目:**云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设资助项目;中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室开放基金资助项目;云南省高校林下生物资源保护及利用科技创新团队资助项目(2014015);西南林业大学科技创新基金资助项目(C15037)。

**收稿日期:**2015-12-14

(*Suillus*);根据真菌辞典(第十版)分类系统<sup>[23]</sup>,该菌则属于担子菌门(Basidiomycota)伞菌亚门(Agaricomycotina)伞菌纲(Agaricomycetes)伞菌亚纲(Agaricomycetidae)牛肝菌目(Boletales)粘盖牛肝菌亚目(*Suillineae*)粘盖牛肝菌科(*Suillaceae*)粘盖牛肝菌属(*Suillus*)。

## 1.2 形态学特征

该菌子实体中等大,菌盖肉质、肥厚、平滑、较粘,扁半球形或中部稍凸至扁平,淡褐色、黄褐色、红褐色或肉桂色,老后颜色变暗,直径为3~10 cm。其菌肉初时淡白色,后稍黄,厚或较薄,伤后不变色,味柔和。菌管在菌柄周围直生或稍下延,或稍凹陷,米黄色或芥黄色。菌柄长3~8 cm,粗1.0~2.5 cm,近圆柱形或在基部稍膨大,草黄色或淡褐色,有散生小腺点,顶端有网纹。菌环在菌柄的上部,膜质薄,初时白色,后为褐色,易脱离菌柄。孢子平滑带黄色,近纺锤形或长椭圆形,(7~10) $\mu\text{m}\times$ (3.0~3.5) $\mu\text{m}$ 。囊状体棒形,丛生,无色至淡褐色,(22~38) $\mu\text{m}\times$ (5~8) $\mu\text{m}$ <sup>[24]</sup>。

## 1.3 分布地区

目前国内学者就不同区域内大型真菌的种类进行调查,明确该菌分布范围较广,在黑龙江<sup>[25]</sup>、吉林<sup>[26]</sup>、辽宁<sup>[27-28]</sup>、河北、山东、内蒙古<sup>[29-31]</sup>、山西、陕西<sup>[32-33]</sup>、甘肃、江苏、湖南、广西<sup>[34]</sup>、广东<sup>[35-36]</sup>、贵州<sup>[37-39]</sup>、浙江<sup>[40-41]</sup>、福建<sup>[42-43]</sup>、安徽<sup>[44]</sup>、江西<sup>[45]</sup>、四川<sup>[46-47]</sup>、西藏<sup>[48]</sup>、海南<sup>[49-50]</sup>、云南<sup>[51-53]</sup>以及香港、台湾等地均有报道。

## 1.4 价值

该菌对人类的生产和生活有着较为重要的经济价值,不仅可以作为野生菌食用,味鲜美可口,而且其与松树、落叶松、云杉和冷杉等树木可以形成外生菌根,增强树势,促进生长。同时,该菌含有胆碱(choline)及腐胺(putrescine)等生物碱。

# 2 褐环乳牛肝菌生物学方面的研究

## 2.1 发酵生物学研究

一般而言,褐环乳牛肝菌在液体培养条件下生长较为缓慢,因而给其后续应用推广等带来困难。不同学者对其发酵条件中pH值、接种量以及不同碳源、氮源等某一方面进行探索,所得结果不尽相同<sup>[12,29,54-55]</sup>。鉴于此,刘杨<sup>[7]</sup>从不同培养基、不同种龄、不同添加物、不同pH

值及不同碳、氮源浓度对其菌丝体生长的影响进行研究,明确该菌生长最佳培养组合条件为:培养基为Pach、最适pH值为4.5、种龄6~8 d;添加蘑菇汁对此菌的生长具有较好地促进作用,其中尤以金针菇汁效果最佳;同时,加入30%~40%体积浓度的柠檬酸-磷酸氢二钾缓冲液对该菌的菌丝生长最好;就碳源而言,无论是固体培养基还是液体培养基,其葡萄糖浓度为0.1 mol/L,菌丝生长最优;就氮源而言,固体培养基时,其酒石酸铵浓度为0.014 mol/L,液体培养基时,酒石酸铵浓度则为0.007 mol/L。

实际上,除碳、氮源等营养组成不同影响最终菌体量外,其它诸如装液量、接种量、溶解氧、转速等条件对菌体生长也产生非常重要的影响<sup>[6]</sup>。就发酵条件下,该菌所分泌的酸性磷酸酶活性与菌丝体生物量变化趋势有较好的一致性,同时,菌丝体相对电导率在菌丝体生长最旺盛时,其值最低,上述2种指标可以作为菌丝体活力的重要评价指标<sup>[56]</sup>。因此,开展对该菌生物学特性的研究,可以有助于更好地促进该菌应用于田间,事实证明该菌在干旱半干旱地区对油松的造林及植被恢复中有良好的应用前景<sup>[1]</sup>。

## 2.2 不同物质对褐环乳牛肝菌的影响研究

研究发现,平菇汁对褐环粘盖牛肝菌生长具有一定影响,不仅可以促进该菌的生长速度,增大菌丝密度,也具有延缓菌丝老化速度的功能;值得一提的是,平菇汁对该菌不同菌株作用不尽相同<sup>[11]</sup>。过量钠盐、碱性pH值对褐环乳牛肝菌的生长发育也具有一定影响,在NaCl为0.1 mol/L浓度下,该菌的菌丝生长速度和生物量积累均比对照组略高,但随浓度升高,该菌生长开始受到抑制;pH 6.0生长最好,随pH值升高,生长速度显著变慢,生物量积累下降<sup>[10]</sup>。此外,该菌还可以分泌酸性物质来调节环境pH值,对寄主植物根际土壤环境产生影响。

就国内诸多学者对该菌最适酸碱度的报道而言<sup>[5-7,10,12,29,54,57-58]</sup>,主要研究单位涉及西北农林科技大学、中国林业科学研究院、内蒙古农业大学等,由表1可知,明确国内*S. luteus*的酸碱度为4.0~7.0,尤以5.5~6.0居多。作为针叶树种的重要外生菌根菌之一,在提高根系对磷元素和水分的吸收方面具有重要的作用<sup>[3]</sup>。

表1 国内不同学者关于褐环乳牛肝菌最适酸碱度的报道情况

序号	学者	菌株名称或编号	保存地点	培养基	最适酸碱度	参考文献
1	张茹琴等	<i>Suillus luteus</i>	西北农林科技大学林学院微生物研究室	PDA	5.3~6.7	[57]
2	陈连庆等	9108	中国林业科学研究院亚热带林业研究所	改良的菌根真菌合成培养基配方	4.0~4.5	[54]
3	刘淑清等	SP9	内蒙古农业大学生物工程学院	Pachlewski	4.5	[12]
4	刘强等	SL1、SL2		Pachlewski	6.0	[10]
5	李敏等	<i>Suillus luteus</i>	内蒙古农业大学林学院菌根生物技术研究室	发酵培养基	5.5~6.5	[5]
6	刘杨	<i>Suillus luteus</i>		Pachlewski	4.0~5.0	[7]
7	蔡楠楠	Sp9、Sp7、00牛		Pachlewski	4.5~6.0	[58]
8	姚庆智等	Sp1、Sp2、Sp3、Sp4、Sp5、Sp6、Sp7、Sp8、Sp9、 <i>Suillus</i> 、 <i>Lac</i>	内蒙古农业大学林学院生态环境学院	Pachlewski	5.0~7.0	[29]
9	应国华等	<i>Suillus luteus</i>	浙江省丽水市城西百果园	野外土壤	4.0~4.5	[6]

### 3 褐环乳牛肝菌与根际微生物及环境的相互影响研究

#### 3.1 褐环乳牛肝菌对根际微生物的影响研究

菌根(mycorrhiza)是真菌与植物根形成的具有特定结构和功能的共生体,是自然界中普遍存在的一种共生现象<sup>[59]</sup>。一般而言,菌根真菌与根际微生物共同生活在相同的土壤环境中,彼此之间相互影响、共同作用,研究表明,前者可以产生菌根根际效应,从而有助于形成优势菌群,进而影响后者种群数量<sup>[24]</sup>;同时,根际微生物中的有益微生物,即植物根际促生细菌(PGPR)<sup>[25]</sup>,不仅具有增加植物抗病性,而且可以与菌根真菌特异性结合,从而有助于促进菌根真菌在宿主植物根部的定殖、生长,间接地促进植物生长。

就褐环乳牛肝菌而言,接种该菌的油松幼苗与不接种的油松幼苗相比,根际土壤中微生物数量有较为明显的增加,尤以放线菌增加的比例较多为163%,其次为细菌达114%,而真菌增加了71.0%,其它诸如解钾细菌、无机磷细菌、有机磷细菌均有所增加<sup>[60]</sup>。该研究为解析褐环乳牛肝菌促进油松根际土壤微生物数量增加提供了重要的理论基础,尽管如此,接种褐环乳牛肝菌如何有效促进油松生长发育尚不清楚,有待于今后进一步进行明确。

#### 3.2 环境条件对褐环乳牛肝菌的影响

菌根的生长、形成以及分布情况均受到诸多因素的影响,不仅包括自然因素,还包括人为影响因素等。就自然因素而言,每年雨季时期,植物的外生菌根会出现急剧增加的趋势,特别是在夏、秋季,其可以群生于松林或混交林中;外生菌根一般生活在地表枯枝落叶层,落叶层厚度影响着外生菌根菌实体的产生情况;此外,外生菌根伴随着松树龄的增加,呈现出由少至多的现象;同时,其种类也随着海拔的升高而逐渐增加,至峰顶后,又呈现缓慢下降的趋势。就人为影响因素而言,对森林植被的大规模商业化采伐以及对外生菌根的无限制采集,不仅改变了外生菌根菌生长的大环境,也对其地下菌丝体造成严重破坏,直接影响到外生菌根实体的产生<sup>[61]</sup>。

因此,对于褐环乳牛肝菌的保护和利用,不仅应创造有利于该菌的生长环境条件,也应对其所依赖的云南松林得以保护,从而有助于更好对促进其地下菌丝体生长发育,更好地促进该菌的产量和品质。

### 4 褐环乳牛肝菌关键代谢途径的研究

#### 4.1 三羧酸循环中关键酶的研究

三羧酸循环,又称柠檬酸循环,是一个由一系列酶促反应构成的循环反应系统,不仅是需氧生物体内普遍存在的代谢途径,也是糖类、脂类、氨基酸三大营养素的

最终代谢通路和彼此代谢相联系的枢纽。在上述酶促反应过程中,涉及柠檬酸合酶、异柠檬酸脱氢酶、 $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶复合体等。

褐环乳牛肝菌中三羧酸循环途径中上述关键酶的最适反应 pH 值分别为 7.0、7.6、8.0,酶活分别为 6.059 U/g 鲜菌丝、15.691 U/g 鲜菌丝、6.865 U/g 鲜菌丝<sup>[13]</sup>,该研究较好地说明了 pH 值对该菌中酶活性的影响较大,然而,对于该菌中相关酶的基因克隆及蛋白功能研究尚缺乏较为深入研究,今后有待于进一步进行解析明确。

#### 4.2 草酸代谢途径中关键酶的研究

褐环乳牛肝菌可以通过分泌有机酸的方式,使土壤中的难溶性营养元素进行有效释放,进而较好地促进松树吸收利用。随着研究的不断深入,生物中草酸的形成除了有光合作用外,还包括光呼吸乙醇酸途径、抗坏血酸裂解途径、草酰乙酸裂解途径和乙醛酸转化途径等。研究发现,褐环乳牛肝菌中草酸的产生则主要来自于乙醛酸循环途径,其异柠檬酸裂解酶、苹果酸合酶及异柠檬酸脱氢酶的最适反应的 pH 值分别为 5.6、7.0、8.5,酶活分别为 31.789 U/g 鲜菌丝、132.584 U/g 鲜菌丝、63.475 U/g 鲜菌丝<sup>[14]</sup>,该研究较好地解释了该菌在高 pH 值环境条件下仍然可以较好地通过降低 pH 值来生长的特点,然而,对于该菌中相关酶的基因克隆及蛋白功能同样缺乏较为深入的研究,有待于进一步明确。

### 5 展望

褐环乳牛肝菌作为松科植物上重要的优势外生菌根菌之一,其应用范围较广,目前使用该菌菌丝体制备的固体菌剂已经成功应用于菌根苗的培育和荒山荒地造林。由于该菌菌丝体作为单一菌剂来源,在一定方面还存在着劣势,因此,今后将其它的外生菌根菌、内生菌根菌或内外生菌根菌混合,配制出不同的菌剂的复合菌剂是后续开展应用研究的重点。

此外,随着褐环乳牛肝菌全基因组序列的释放,课题组以 *S. luteus* 蛋白数据库中的 18 303 条序列为基础,利用 Signalp、ProtComp、TMHMM、big-PI Fungal Predictor 和 TargetP 等预测程序对分泌蛋白进行找寻,发现其含有分泌蛋白 327 个(韩长志等,未发表数据)。对上述分泌蛋白的理化性质、遗传关系及疏水性等生物信息学分析,明确分泌蛋白在宿主植物中的作用机理,也将是以后研究的一个方向。同时,对于该菌中草酸循环、三羧酸循环等关键途径重要酶的功能解析也必将是未来研究的热点。

#### 参考文献

- [1] 李敏. 褐环乳牛肝菌(*Suillus luteus* (L. :Fr.) Gray) 发酵生物学的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [2] 于富强,刘培贵. 外生菌根研究及应用的回顾与展望[J]. 生态学报,2002(12):2217-2226.



- [3] 刘润进,李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] 韩长志. 植物病害生防菌的研究现状及发展趋势[J]. 中国森林病虫,2015(1):33-37,25.
- [5] 李敏,闫伟,堵国成,等. 褐环乳牛肝菌发酵条件的优化[J]. 食品与生物技术学报,2009(3):390-396.
- [6] 应国华,吕明亮,陈奕良,等. 褐环粘盖牛肝菌生态学特性研究[J]. 林业科学研究,2005,18(3):267-273.
- [7] 刘杨. 褐环粘盖牛肝菌培养条件的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [8] 钟帅,闫伟,张瑞霞. 褐环乳牛肝菌对轻基质营养包樟子松和油松苗的促生效应[J]. 林业科技开发,2014(2):122-124.
- [9] 宋小双,邓勋,尹大川,等. 褐环乳牛肝菌 N94 与绿木霉 T43 复合接种下红皮云杉苗木的生理响应[J]. 吉林农业大学学报,2015(1):37-42,46.
- [10] 刘强,闫伟. 过量钠盐、碱性 pH 值对褐环乳牛肝菌生长的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2009(2):52-56.
- [11] 段慧. 平菇汁对褐环粘盖牛肝菌生长影响的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [12] 刘淑清,陈有君,包健,等. pH 条件和接种量对褐环乳牛肝菌生长影响[J]. 内蒙古科技与经济,2008(22):29-31,42.
- [13] 孙琳. pH 对褐环粘盖牛肝菌三羧酸循环中关键酶活性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [14] 王明慧. pH 对褐环粘盖牛肝菌草酸代谢几个关键酶活性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [15] 李国光. 褐环粘盖牛肝菌草酸分泌及其代谢途径的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.
- [16] MULLER L A, CRACIUN A R, RUYTINX J, et al. Gene expression profiling of a Zn-tolerant and a Zn-sensitive *Suillus luteus* isolate exposed to increased external zinc concentrations[J]. Mycorrhiza, 2007, 17(7):571-580.
- [17] WERNER A, NAPIERALA-FILIPIAK A, MARDAROWICZ M, et al. The effects of heavy metals, content of nutrients and inoculation with mycorrhizal fungi on the level of terpenoids in roots of *Pinus sylvestris* seedlings[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2004, 26(2):187-196.
- [18] 冯固,徐冰,秦岭,等. 外生菌根真菌对板栗生长及养分吸收的影响[J]. 园艺学报,2003(3):311-313.
- [19] MEJSTRÍK V, KRAUSE H. Uptake of  $^{32}\text{P}$  by *Pinus radiata* roots inoculated with *Suillus luteus* and *Cenococcum graniforme* from different sources of available phosphate[J]. New Phytologist, 1973, 72(1):137-140.
- [20] 徐冰,冯固,潘家荣,等. 外生菌根菌丝桥在板栗幼苗间传递磷的效应[J]. 生态学报,2003(4):765-770.
- [21] BOUSQUET N, MOUSAIN D, SALSAC L. Orthophosphate effect on phosphatase activities in *Suillus granulatus* grown *in vitro* (ectomycorrhizae; phytate, triphosphate)[M]. Physiologie Vegetale (France), 1986.
- [22] AINSWORTH G C. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi[M]. Cabi, 2008.
- [23] KIRK P, CANNON P, MINTER D, et al. Dictionary of the Fungi CABI[M]. Wallingford, UK, 2008:396.
- [24] 黄来年,杨庆尧,张甫安. 中国食用菌百科[M]. 北京:中国农业出版社,1993.
- [25] 孟繁荣,邵景文. 东北主要林区针叶林下外生菌根真菌及生态分布[J]. 菌物系统,2001(3):413-419.
- [26] 王淑清,徐丽华. 东北主要用材树种外生菌根真菌资源调查研究[J]. 辽宁林业科技,2002(3):17-20.
- [27] 王惠,代力民,邵国凡,等. 辽宁丹东地区柞树菌根真菌生态分布的研究[J]. 应用生态学报,2003(12):2149-2152.
- [28] 孟繁志,吴颖,王淑清,等. 辽宁省野生食用菌资源调查[J]. 辽宁林业科技,2003(5):20-23.
- [29] 姚庆智,闫伟. 11 株外生菌根真菌菌株纯培养营养生理特性的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),2005,36(2):186-191.
- [30] 图力古尔,朝克图,包海鹰. 大青沟自然保护区大型真菌对沙地环境的适应与气候条件的相关性[J]. 干旱区研究,2001,18(2):25-30.
- [31] TOLGOR L. 大青沟自然保护区大型真菌区系多样性的研究[J]. 生物多样性,2000,8(1):73-80.
- [32] 田呈明,王吉忍,杨俊秀,等. 太白山自然保护区大型真菌生态分布及资源评价[J]. 西北林学院学报,2000(3):62-67.
- [33] 吴重华,王吉忍,杨俊秀,等. 太白山自然保护区外生菌根及菌根真菌调查研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2001(2):56-60.
- [34] 李泰辉,宋斌. 中国牛肝菌已知种类[J]. 贵州科学,2003,21(1):78-86.
- [35] 宋斌,邓旺秋. 广东鼎湖山自然保护区大型真菌区系初析[J]. 贵州科学,2001(3):43-49.
- [36] 章卫民,李泰辉,宋斌. 广东省大型真菌概况[J]. 生态科学,2001(4):48-58.
- [37] 宋斌,李泰辉,吴兴亮,等. 滇黔桂牛肝菌资源的初步评价[J]. 贵州科学,2004(1):90-96.
- [38] 吴兴亮. 中国贵州大型真菌资源及其利用[J]. 贵州科学,2000(Z1):71-76.
- [39] 龙汉武,邹方伦,赵刚. 贵州林木菌根真菌名录[J]. 贵州科学,2005(1):73-77.
- [40] 英苏. 西天目山自然保护区的大型真菌[J]. 浙江林学院学报,1996(1):53-74.
- [41] 刘军,许岳冲. 余杭市野生大型真菌资源多样性及开发利用[J]. 浙江林业科技,2001(3):74-79.
- [42] 黄年来,林津添,吴经纶. 福建大型真菌名录[J]. 武夷科学,2003,19(12):254-273.
- [43] 陈宇航,陈政明. 福建牛肝菌研究初报[J]. 福建农业学报,2003(4):249-253.
- [44] 柯丽霞,刘必融. 黄山地区松树林外生菌根菌资源及生态分布[J]. 应用生态学报,2005(3):455-458.
- [45] 陈晔,许祖国,张康华,等. 庐山大型真菌的生态分布[J]. 生态学报,2000(4):702-706.
- [46] 彭卫红,甘炳成,谭伟,等. 四川省龙门山区主要大型野生经济真菌调查[J]. 西南农业学报,2003(1):36-41.
- [47] 谭方河,王云璋. 四川松树、桉树外生菌根菌种类调查[J]. 四川林业科技,2000(3):65-69.
- [48] 侯元同,于胜祥,张广杰. 西藏野生食用菌资源研究[J]. 食用菌,2001(4):2-3.
- [49] 宋斌,邓旺秋,沈亚恒. 海南伞菌资源及区系地理成分初步分析[J]. 吉林农业大学学报,2002(2):42-46.
- [50] 弓明钦. 我国热带林菌根研究[J]. 热带林业,1998(2):57-64.
- [51] 苏鸿雁,王学勇,董晓东. 大理点苍山真菌资源初步调查[J]. 大理学院学报(综合版),1996(1):57-60.
- [52] 于富强,刘培贵. 云南松林野生食用菌物种多样性及保护对策[J]. 生物多样性,2005(1):58-69.
- [53] 杨祝良,臧穆. 中国南部高等真菌的热带亲缘[J]. 云南植物研究,2003(2):129-144.
- [54] 陈连庆,裴致达. 马尾松优良菌根真菌(*S. l.*)液培条件的研究[J]. 林业科学研究,1998(4):104-107.
- [55] HATAKEYAMA T, OHMASA M. Mycelial growth of strains of the genera *Suillus* and *Boletinus* in media with a wide range of concentrations of carbon and nitrogen sources[J]. Mycoscience, 2004, 45(3):169-176.

- [56] 李敏,闫伟. 褐环乳牛肝菌在液体摇瓶培养过程中菌丝体活力指标的筛选研究[J]. 华北农学报, 2007(5):176-179.
- [57] 张茹琴,唐明,张峰峰,等. 酸碱度和重金属对 3 种外生菌根真菌生长的影响[J]. 北京林业大学学报, 2008(2):113-118.
- [58] 蔡楠楠. 褐环粘盖牛肝菌菌丝与培养基 pH 的相互作用[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2011.

- [59] SMITH S E, READ D J. Mycorrhizal symbiosis[M]. Academic Press, 2010.
- [60] 员子晶,姚庆智,闫伟. 褐环乳牛肝菌对油松根际土壤可培养微生物数量影响的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011(2):175-178.
- [61] 于富强,肖月芹,刘培贵. 云南松(*Pinus yunnanensis*)林外生菌根真菌的时空分布[J]. 生态学报, 2007(6):2325-2333.

## Research Progress on *Suillus luteus*

HAN Changzhi, REN Xuemin

(College of Forestry, Southwest Forestry University/Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650224)

**Abstract:** *Suillus luteus* is one of the important ectomycorrhizal fungi, which provides nutrients to pinaceae plants. At the same time, *S. luteus* can increase the number of rhizosphere microorganisms and improve soil conditions, etc. Here, we highlighted recent literature on the taxonomic status, morphological characteristics, distribution and fermentation biology, effect on the rhizosphere microorganisms, and metabolic pathway key enzyme of *S. luteus*. So, future research on *S. luteus* could focus on the following aspects, inoculants development, function of secreted protein and key metabolic enzyme, to lay a solid foundation for the further use of *S. luteus*.

**Keywords:** *Suillus luteus*; use value; ectomycorrhizal fungi; review

## 菌菇类的营养价值

### 知识窗

菌菇类食物品种很多,如香菇、草菇、金针菇、平菇、黑木耳等,它们的卡路里相当低,有的每 100 g 仅含 10~30 卡,热量比胡萝卜还低。整体来说这些不同种类的菇食品,都拥有丰富的矿物质,纤维质,维生素等营养成分,而且还拥有一项医师们的最爱健康成分——抗癌因子“多醣体”,让大家更喜爱它。不过需要注意的是,有痛风倾向的人,因为菇中含有“普林”成分,会使病程加重,所以不宜食用外,其他人可以放心使用。当然,对于想要减肥的美女来说,它绝对是一个绝佳的选择。

著名健康大师洪昭光曾提出,日常饮食概括起来就 6 个字“一荤一素一菇”,这个菇就是指菌菇;别看菌菇小小个儿,一点也不起眼,但多吃有降低血液胆固醇、调节免疫功能、捍卫细胞健康的大功效。

#### 草菇:“放一片,香一锅”

鲜草菇维生素 C 的含量是番茄的 17 倍;还包含人体必需的 10 余种氨基酸等物质。它能够减慢人体对碳水化合物的吸收,是糖尿病患者的饮食良伴。

◎提示:无论是鲜品还是干品,都不宜浸泡时间过长。

#### 双孢菇:“上帝的食品”

双孢菇的蛋白质含量几乎高于所有的蔬菜,与牛奶相当;但它的脂肪含量却是牛奶的 1/16,且所含的脂肪有多为有益健康的不饱和脂肪酸。

◎提示:成年人每天食用 25 g 鲜蘑菇就能满足 1 天所需要的维生素。

#### 香菇:“抗癌新兵”

香菇含有丰富的蛋白质,腺嘌呤、胆碱,可预防肝硬化降低胆固醇;营养价值是牛肉的 4 倍,且含有一般蔬菜缺乏的麦淄醇,可

促进体内钙的吸收。

◎提示:发好的香菇要放在冰箱里冷藏,才不会损失营养。

#### 木耳“含铁王”

木耳中铁的含量比肉类高出 100 多倍,是牛奶的 1 850 倍;具有一定吸附功能,有助于清洁人体肠胃中的有毒物质;还具有疏通血管、降低血黏度特效。

◎提示:凡浸水后变色、有苦味、耳片烂而不脆的,皆为假耳、烂耳,食后对身体有害。

#### 金针菇:“益智菇”

金针菇赖氨酸和锌含量较高,经常食用可增强记忆力。此外,它的纤维质是蔬菜之冠,且含有的多醣体朴菇素及较多的碱性蛋白质,对肝脏疾病和胃溃疡有一定疗效。

◎提示:金针菇宜熟食,不宜生吃。

#### 珍贵药用菌

金耳:“与人参、鹿茸并列为高级补品”

含磷、硫、钼、铁、镁、钙、钾等微量元素,具有润肺补肝、益气补血、消炎解毒、扶正固本、延年益寿等功效。

#### 松茸:“蘑菇之王,赛鹿茸”

鹿茸吸收了松树的精华香气,具有抗核辐射、治疗糖尿病、抗癌、壮阳等特殊作用,日本人称其为第二生命。2001 年的上海 APEC 会议上,我国就曾以“鸡汁松茸”这道名菜宴请国元首。

#### 地下块菌:“餐桌上的黄金”

又叫“黑菌”,在营养价值上比其它菌菇含有更多的钾、钙、镁、铁、氟等微量矿物质元素。因为珍贵稀有,故有“一克黑菌一块金”的说法。

(摘自百度百度)