

青藏高原黄金菇营养成分分析与评价*

李海波¹ 陈俊文¹ 贺 亮¹ 刘亚群¹ 白 静² 吴学谦¹

(1. 浙江省林业科学研究院 浙江省森林资源生物与化学利用重点实验室 杭州 310023 ;

2. 西藏那曲地区林业局 那曲 852000)

摘 要 : 为了对我国青藏高原黄金菇的食用、营养、药用价值和状况作出科学评价,以为黄金菇资源的开发利用提供科研基础数据,采用国标法,对黄金菇子实体的粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、可溶性糖等主要营养成分、矿物质、氨基酸组成与含量、维生素、活性成分多糖以及重金属元素等含量进行测定,并与同步检测的香菇和双孢蘑菇含量进行比较分析。结果表明,与香菇和双孢蘑菇相比,黄金菇具有高含量的粗蛋白、氨基酸和矿物质,同时还含有很高的维生素 B₁、B₂、维生素 C 和维生素 E。此外,黄金菇的粗多糖含量略高于香菇,但低于双孢蘑菇。黄金菇 4 种重金属铅、镉、砷和汞的含量均远远高于香菇和双孢蘑菇,其中铅和砷含量尚在国标规定的食品安全标准范围之内,而镉和汞含量均超过了国标规定的食品安全标准。黄金菇是一种极具开发利用前景的珍稀菌根食用菌,但重金属元素超标尤其值得重视。

关键词 : 黄金菇,食用菌,营养成分,营养分析,青藏高原

中图分类号 :S759 文献标识码 :A 文章编号 :1001-7488(2010)05-0122-05

Analysis and Evaluation of Nutritional Components of *Floccularia luteovirens* in Tibet Plateau

Li Haibo¹ Cheng Junwen¹ He Liang¹ Liu Yaquin¹ Bai Jing² Wu Xueqian¹

(1. Zhejiang Forestry Academy Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biological and Chemical Utilization of Forest Resource Hangzhou 310023 ;

2. Naqu Forestry Bureau of Tibet Naqu 852000)

Abstract : By using national standard method, the contents of crude protein, crude fat, crude fiber, soluble sugar, amino acids, minerals, vitamins, polysaccharide of active substance and heavy metals in three edible mushrooms, *Floccularia luteovirens*, *Lentinula edodes* and *Agaricus bisporus* were simultaneously determined and compared with each other. The edible, nutritional and medical values of *F. luteovirens* in Tiber plateau were evaluated. The results demonstrated that comparing with *L. edodes* and *A. bisporus*, *F. luteovirens* in Tiber plateau was richer in crude protein, amino acids, minerals, Vitamin B₁, B₂, Vitamin C and Vitamin E. In addition, the content of crude polysaccharide in *F. luteovirens* was higher than in that of *L. edodes* and lower than in that of *A. bisporus*. The contents of four heavy metals of Pb, Cd, As and Hg in *F. luteovirens* were far higher than in that of *L. edodes* and *A. bisporus*. In conclusion, as a precious and rare mycorrhizal edible fungus, *F. luteovirens* is especially worthy of being developed and utilized in the future. However, it deserves special attention that the contents of heavy metals exceed the national standard.

Key words : *Floccularia luteovirens*, edible mushroom, nutritive components, nutrition determination, Tibet Plateau

西藏位于我国西南边陲、青藏高原西南部,其独特的自然环境及其生物资源,历来为世人瞩目。青藏高原是“高山真菌宝库”(卯晓岚,2007)。冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)和黄绿蜜环菌(*Armillaria luteo-virens*)地方名“黄金菇”)是青藏高原真菌资源宝库中的代表种。

蜜环菌属[*Armillaria* (Fr.:Fr.) Staude.]隶属于担子菌门(Basidiomycota)、担子菌纲

(Basidiomycetes)、伞菌目(Agaricales)、口蘑科(Tricholomataceae)。从先前的分类学上来看,黄绿蜜环菌应属于蜜环菌属内一种,国内有关该菌的专著和研究报道也一直在沿用这一学名。但从笔者前期基于 rDNA 内转录间隔区 ITS(internal transcribed spacer)和 rDNA 间隔区 IGS-1(the first intergenic spacer region)序列从分子水平上对黄绿蜜环菌进行的系统发育分析表明,黄绿蜜环菌与蜜环菌属内其

他种的序列差异较大,系统发育关系较远(李海波等 2008)。而且根据 1978 年以后建立起来的现代蜜环菌属分类体系,原有蜜环菌属的大部分种类已经不属于蜜环菌属,相继转移到了伞菌目的其他属中,中国的黄绿蜜环菌已由过去的 *Armillaria luteo-virens* (Alb. & Schwein.: Fr.) Sacc 更改为了现在的 *Floccularia luteovirens* (Alb. & Schwein.: Fr.) Pouzar (赵俊等, 2005), 一直沿用的黄绿蜜环菌应为 *Floccularia luteovirens* 的同物异名。所以在本研究中,通篇采用“黄金菇”这一地方俗名代之以原来的中文名黄绿蜜环菌。

黄金菇夏秋季节主要分布在西藏、青海等地海拔 2 500 ~ 4 500 m 的草原或高山草甸上,与高原牧草形成菌根(刁治民, 1997)。在子实体发生季节,形成特有的蘑菇圈,当地藏民以其形态特征为识别依据,冠之为“黄金菇”、“黄蘑菇”、“黄环菇”等。黄金菇新鲜子实体肉质肥嫩,干品香气浓郁,味道鲜美,且具有药效(李渝珍, 2005),是产区藏民极为喜欢采食和出售的“草原之宝”,在淡季时的市场价格有时高达每 kg 200 元以上,更被公认为是最具有开发利用价值的名贵野生食用菌类之一。目前,黄金菇处于完全野生的状态,尚未实现人工驯化栽培。不同于冬虫夏草是多年来各国研究的热点,国内对特色黄金菇的研究一直较少,且尚停留在生态环境、资源现状调查、菌丝营养生理特性以及人工驯化等方面(刁治民, 1997; 李渝珍, 2005; 谢红民等, 2005; 王启兰等, 2005; 周启明等, 1985),有关黄金菇的营养价值研究虽有零星片面的报道但不够系统且缺乏比较分析,因而不足以对其潜在独特的食药价值作出科学的评价。本研究将采用国标法,对前期采自西藏那曲地区高山草甸上的黄金菇子实体基本营养成分、活性成分多糖以及重金属含量进行全面系统的测定,并与目前我国食用菌市场上消费量较大的 2 种食用菌香菇(*Lentinula edodes*)和双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)进行比较分析,对其食用、营养、药用价值和状况作出科学评价,目的在于为我国青藏高原特色黄金菇资源的开发利用提供有价值的科研基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

黄金菇子实体于 2007 年 8 月采自西藏那曲海拔 4 500 m 以上的高山草甸上,香菇和双孢蘑菇购自浙江省杭州市的世纪联华超市。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 供试子实体样品去除菌柄蒂头,洗涤,经 58 ℃ 烘干后,用粉碎机粉碎,过 80 目筛,放入干燥器内待用。

1.2.2 分析测试方法 参照标准:1)粗蛋白,GB/T5009.5-2003;2)灰分,GB/5009.4-2003;3)粗脂肪,GB/5009.6-2003;4)粗纤维,GB/5009.10-2003;5)可溶性糖,GB/6194-1986;4)矿质元素 P, K, Fe, Mg 和 Zn, 分别参照 GB/5009.87-2003、GB/5009.91-2003、GB/5009.90-2003 和 GB/5009.14-2003;5)氨基酸,GB/T 5009.124-2003;6)维生素 A、E、维生素 B₁、B₂ 和 C 分别参照 GB/5009.82-2003、GB/5009.84-2003、GB/5009.85-2003 和 GB/5009.86-2003;7)重金属 Pb, Cd, As 和 Hg 分别参照 GB/T5009.12-2003、GB/T5009.15-2003、GB/T5009.11-2003 和 GB/T5009.17-2003;8)粗多糖提取及含量测定,参照香菇和茯苓多糖的提取测定方法,采用水浸提法提取粗多糖,苯酚-硫酸法测定粗多糖含量(黄少伟等 2007; 曾凡龙等 1994)。

2 结果与分析

2.1 黄金菇子实体的主要营养成分

表 1 列出了黄金菇与香菇和双孢蘑菇主要营养成分含量。可以看出,黄金菇的粗蛋白和灰分含量均显著高于香菇和双孢蘑菇,而粗脂肪含量略高于香菇和双孢蘑菇。可溶性糖含量与香菇接近,粗纤维含量与双孢蘑菇接近。蛋白质是构成食物营养成分的重要组成部分,灰分含量体现食物中总矿物质的含量。从主要营养成分上来看,黄金菇显然优于香菇和双孢蘑菇,是一种高蛋白、高矿物质含量的珍贵野生食用菌。

表 1 黄金菇与香菇、双孢蘑菇子实体的主要营养成分含量

Tab. 1 Contents of main nutritive components in the fruitbody of *F. luteovirens*, *L. edodes* and *A. bisporus*

测试种类 Species tested	主要营养成分含量 Main nutritive components content/%				
	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗纤维 Crude fiber	可溶性糖 Soluble sugar	灰分 Ash
黄金菇 <i>F. luteovirens</i>	46.00	3.85	6.46	18.63	10.98
香菇 <i>L. edodes</i>	27.16	2.24	8.14	17.68	5.93
双孢蘑菇 <i>A. bisporus</i>	35.89	2.05	6.10	22.64	7.83

2.2 黄金菇子实体的矿质元素

矿物质是构成机体组织的重要材料,对于维持人体的酸碱平衡、维持组织、细胞的渗透压和维持原生质的生机状态具有重要作用(聂剑初等,1986)。由表 2 可见,黄金菇子实体中含有磷 P、K、Fe、Mg、Zn 等多种人体必需的矿质元素。与双孢蘑菇相比,黄金菇的 P、K、Fe、Mg、Zn 5 种元素的含量均显著高于双孢蘑菇;与香菇相比,黄金菇的 P、K、Fe、Mg、Zn 5 种元素的含量均显著高于香菇,锌的含量与香菇接近,镁的含量略低于香菇。这与表 1 所示的高灰分含量基本一致,再次表明黄金菇同时也是一种高矿物质含量的野生食用菌。

表 2 黄金菇与香菇、双孢蘑菇子实体的矿质元素含量

Tab. 2 Contents of mineral elements in the fruitbody of *F. luteovirens*, *L. edodes* and *A. bisporus*(Dry mass)

测试种类 Species tested	矿质元素含量 Mineral elements content/(g·kg ⁻¹)				
	P	K	Fe	Mg	Zn
黄金菇 <i>F. luteovirens</i>	12.76	30.24	0.39	0.87	0.08
香菇 <i>L. edodes</i>	10.01	20.35	0.07	1.07	0.08
双孢蘑菇 <i>A. bisporus</i>	10.11	20.54	0.32	0.66	0.05

2.3 黄金菇子实体的氨基酸组成与含量

表 3 表明,黄金菇子实体中氨基酸种类齐全,不仅含有人体所必需的 8 种氨基酸(色氨酸未测),而且含有多种非必需氨基酸。与香菇相比,表 3 所列黄金菇所有氨基酸的含量均明显高于香菇;与双孢蘑菇相比,除脯氨酸和缬氨酸含量低于双孢蘑菇,丙氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸含量与双孢蘑菇接近外,其余 12 种氨基酸的含量均明显高于双孢蘑菇。特别是甘氨酸和组氨酸的含量近乎香菇和双孢蘑菇的 2 倍。组氨酸是一种半必需氨基酸,对于婴幼儿的成长尤其重要。高含量的谷氨酸和天门氨酸更是赋予了黄金菇鲜美的口味。从 17 种氨基酸的总量来看,黄金菇高于香菇 33.3%,高于双孢蘑菇 20.1%;从 7 种必需氨基酸的总量来看,黄金菇高于香菇 23.4%,高于双孢蘑菇 6.4%。

进一步对 3 种食用菌作氨基酸评分(AAS)。表 4 显示,尽管黄金菇干样中的蛋白质、氨基酸总量(TAA)以及必需氨基酸总量(EAA)均显著高于香菇和双孢蘑菇(表 1、表 3),但就必需氨基酸在蛋白质中的所含比例来看,黄金菇总体上要低于 FAO/WHO 制定的模式,AAS 值也低于香菇和双孢蘑菇。表 4 同时也反映出了 3 种食用菌较为一致的结果,即缬氨酸是 3 种食用菌的第 1 限制性氨基酸,赖氨

酸是第 2 限制性氨基酸,AAS 值较高的氨基酸为甲硫氨酸 MET 和胱氨酸 CYS、苏氨酸 THR。

表 3 黄金菇与香菇、双孢蘑菇子实体的氨基酸组成与含量(干质量)

Tab. 3 Contents of amino acids in the fruitbody of *F. luteovirens*, *L. edodes* and *A.*

氨基酸组成 Amino acids components	氨基酸含量 Amino acids content/[g·(100g) ⁻¹]		
	黄金菇	香菇	双孢蘑菇
	<i>F. luteovirens</i>	<i>L. edodes</i>	<i>A. bisporus</i>
天门冬氨酸 ASP	2.24	1.61	2.01
苏氨酸 THR*	1.31	0.99	1.10
丝氨酸 SER	1.57	1.02	1.10
谷氨酸 GLU	6.98	4.83	4.61
脯氨酸 PRO	0.73	0.54	1.29
甘氨酸 GLY	1.83	0.93	1.05
丙氨酸 ALA	1.95	1.08	1.95
胱氨酸 CYS	0.31	0.23	0.20
缬氨酸 VAL*	0.77	0.70	0.84
甲硫氨酸 MET*	1.22	0.62	1.00
异亮氨酸 ILE*	0.90	0.70	0.88
亮氨酸 LEU*	1.64	1.29	1.64
酪氨酸 TYR	0.62	0.44	0.46
苯丙氨酸 PHE*	0.98	0.89	0.97
组氨酸 HIS	0.83	0.40	0.47
赖氨酸 LYS*	1.20	0.95	1.08
精氨酸 ARG	1.30	0.93	1.01
色氨酸 TRP*	—	—	—
总氨基酸 TAA	26.38	18.15	21.66
必需氨基酸 EAA	8.02	6.14	7.51

① * 必需氨基酸 The essential amino acid (EAA); TAA, Total amino acid.

2.4 黄金菇子实体的维生素含量

维生素是人体正常代谢中必不可少的营养成分,大部分的维生素需要从日常食物中摄取。表 5 显示的维生素含量分析表明,黄金菇子实体中维生素 B₁、维生素 B₂ 和维生素 C 的含量远远高于香菇和双孢蘑菇,其中维生素 B₁ 是前二者的 15~20 倍,维生素 B₂ 是前二者的近 9 倍,维生素 C 是前二者的 1.7~2.9 倍。维生素 E 的含量虽略低于双孢蘑菇,但是香菇含量的 4 倍多。维生素 B₁ 与糖代谢有密切关系,还能抑制胆碱脂酶的活性,保持神经的正常传导功能,缺乏维生素 B₁ 易患脚气病。维生素 B₂ 的生理功能是作为辅酶参与生物氧化作用,缺乏维生素 B₂ 会诱发唇炎、舌炎、口角炎和眼角炎等疾病。维生素 C 能具有增强抵抗力等功效,维生素 E 具有抗衰老等功效(聂剑初等,1986)。本研究表明就从维生素 B₁、B₂、维生素 C 和维生素 E 的含量和营养功效来看,黄金菇也是一种显著优于香菇和双孢蘑菇的珍贵野生食用菌。在 3 种食用菌均未检测出维

生素 A 的含量,表明维生素 A 的含量在 3 种食用菌 中的含量很低。

表 4 黄金菇与香菇、双孢蘑菇子实体的必需氨基酸含量与氨基酸评分

Tab. 4 Contents and score of essential amino acids in *F. luteovirens*, *L. edodes* and *A. bisporus*

必需氨基酸 EAA	必需氨基酸含量(蛋白)			氨基酸评分			
	Content of essential amino acid(protein)(mg·g ⁻¹)						
	FAO/WHO 模式 FAO/WHO pattern	黄金菇 <i>F. luteovirens</i>	香菇 <i>L. edodes</i>	双孢蘑菇 <i>A. bisporus</i>	黄金菇 <i>F. luteovirens</i>	香菇 <i>L. edodes</i>	双孢蘑菇 <i>A. bisporus</i>
异亮氨酸 ILE	40	19.57	25.77	24.52	48.91	64.43	61.30
亮氨酸 LEU	70	35.65	47.50	45.70	50.93	67.85	65.28
赖氨酸 LYS	55	26.09	34.98	30.09	47.43	63.60	54.71
甲硫氨酸+胱氨酸 MET + CYS	35	33.26	31.30	33.44	95.03	89.42	95.53
苯丙氨酸+酪氨酸 PHE + TYR	60	34.78	48.97	39.84	57.97	81.62	66.41
苏氨酸 THR	40	28.48	36.45	30.65	71.20	91.13	76.62
缬氨酸 VAL	50	16.74	25.77	23.40	33.48	51.55	46.81

表 5 黄金菇与香菇、双孢蘑菇子实体的
维生素含量(干质量)

Tab. 5 Contents of vitamins in the fruitbody of

F. luteovirens *L. edodes* and *A. bisporus*(Dry mass)

测试种类 Species tested	维生素含量 Vitamins content[mg·(100 g) ⁻¹]				
	A	C	B ₁	B ₂	E
黄金菇 <i>F. luteovirens</i>	—	9.78	1.53	9.28	3.37
香菇 <i>L. edodes</i>	—	3.35	0.07	1.13	0.79
双孢蘑菇 <i>A. bisporus</i>	—	5.54	0.10	1.10	5.38

2.5 黄金菇子实体的粗多糖含量

研究业已证明,一些食用菌如香菇、灵芝(*Ganoderma lucidum*)、灰树花(*Grifola frondosa*)、茯苓(*Poria cocos*)等内含丰富的活性多糖,具有有抗病毒、抗肿瘤、调节免疫功能和降低血糖等多种功能(Wasser, 2002)。本研究采用水浸提法提取 3 种食用菌的粗多糖,提取后的多糖含量测定结果表明,黄金菇子实体的粗多糖含量为 2.16% 较香菇 1.54% 的多糖含量高 0.62% ,而比双孢蘑菇 3.22% 的多糖含量低 1.06% 。刘葳等(2007)采用 80 °C 热水浸提 Sevag 法脱蛋白, H₂O₂ 脱色, 95% 乙醇沉淀获得的黄金菇子实体粗多糖得率为 1.72% 。需要更进一步的研究明确黄金菇多糖的结构与生物活性。

2.6 黄金菇子实体的重金属含量

食用菌的质量安全状况事关消费者的安全与健康,质量安全问题中尤其以重金属和农残含量超标最为尖锐和突出。由表 6 可见,尽管源自天然的生态环境中,黄金菇子实体中的 4 种重金属含量却远远高于市场上销售的香菇和双孢蘑菇,其中 Pb 和 As 含量尚在国家规定的食用菌安全标准范围之内,而 Cd 和 Hg 含量均超过了国标范围,尤其 Cd 含量

2.0 mg·kg⁻¹是国标规定(≤0.2)的 10 倍。该检测结果无疑为这一名贵野生食用菌的食用安全性提出了警告。

大型真菌对重金属生物富集现象的认识始于 20 世纪 70 年代蘑菇属(*Agaricus*)真菌内 Cd 的高水平积累的发现。随后的研究表明很多大型真菌都具有较强富集重金属的能力和作用(Stijve *et al.*, 1976 ; Svoboda *et al.*, 2000)。与绿色植物相比,蘑菇能够积累高浓度的 Pb ,Cd 和 Hg 等重金属(Kuusi *et al.*, 1981 ; Schmitt *et al.*, 1977)。这种生物富集作用的强弱一方面与大型真菌生长的环境因子存在密切关系,也与大型真菌的种类有关。大型真菌子实体中重金属元素含量与其生长基质的组成和性质有关,菌丝体定殖的基质通常是吸收、转移和积累金属元素到子实体的唯一来源(安鑫龙等, 2007)。而 Falandysz 等(2003)的研究表明,自然条件下,即使土壤的污染程度低,一些野生食用菌中重金属含量也可能很高,这与本研究中生长于自然环境下的黄金菇重金属含量偏高颇具一致性。此外,李开本等(1999)利用未受重金属污染的培养料和 Cd 背景值很低的土壤覆土栽培的巴西蘑菇(*Agaricus blazei*)子实体中 Cd 含量很高,认为是巴西蘑菇本身具有较强富集 Cd 的生物学特性所致。

就环境基质来看,黄金菇生长于纯天然无污染的青藏高原草甸上,腐植质层土色深暗,呈中性或微碱性,厚度约 10 ~ 20 cm。腐植质层以下为母质,富含砾石和草根。由此,我们推测造成黄金菇子实体重金属含量偏高的原因很可能是这样的高原土壤环境本身重金属含量较高,在黄金菇子实体发生过程中,土壤环境中大量的重金属元素通过与牧草共生的菌根组织向子实体迁移富集进而导致子实体的重

金属含量显著偏高。此外,黄金菇也可能是大型真菌中一类具有较强富集重金属能力尤其是 Cd 的物种。这样的推断尚有待于今后从黄金菇生长的土壤环境、共生的牧草以及这一特殊大型真菌物种的重金属富集特性上去着手,通过进一步的科学研究揭示出黄金菇富集重金属机制的基础上才能明确。

表 6 黄金菇与香菇、双孢蘑菇子实体的重金属含量(干质量)

Tab. 6 Contents of the heavy-metal-elements in the fruitbody of *F. luteovirens*, *L. edodes* and *A. bisporus*(Dry mass)

测试种类 Species tested	重金属含量 Heavy-metal-elements content/(mg·kg ⁻¹)			
	Pb	Cd	As	Hg
	黄金菇 <i>F. luteovirens</i>	1.5	2.0	0.26
香菇 <i>L. edodes</i>	0.38	0.66	0.10	0.092
双孢蘑菇 <i>A. bisporus</i>	0.60	0.12	0.18	0.032
食用菌安全标准 Edible fungus health standard(GB7096 - 2003)	≤2.0	≤0.2	≤1.0	≤0.2

3 结论

同冬虫夏草一样,黄金菇也是我国青藏高原珍贵的野生菌根食用菌,并同被誉为是最具开发利用前景的珍稀名菌之一。本研究基于对黄金菇基本营养成分的测定和比较分析,表明黄金菇不仅富含蛋白质、氨基酸和矿物质元素,而且还含有很高的维生素 B₁、B₂、维生素 C 和维生素 E。此外,黄金菇活性成分多糖的含量也较高。本研究结果为今后黄金菇资源的深度开发利用如人工驯化栽培、液体深层发酵、活性成分分离提取等提供了科研基础数据。另外尤其值得引起重视的是,黄金菇的 4 种重金属 Pb、Cd、As 和 Hg 的含量很高,且 Cd 和 Hg 超过了国标规定,为这一名贵野生食用菌的食用安全性提出了警告,也为今后探索研究黄金菇富集重金属机制的科学意义提供了基本依据。

参 考 文 献

安鑫龙,周启星. 2007. 大型真菌对重金属的生物富集作用及生态修复. 应用生态学报, 18(8): 1897 - 1902.
刁治民. 1997. 黄绿蜜环菌菌丝营养生理特性的初步研究. 微生物学杂志, 17(1): 14 - 17.

黄少伟,池汝安,张越非,等. 2007. 微波辅助提取土茯苓多糖. 时珍国医国药, 18(11): 2649 - 2652.
李海波,吴学谦,王立武,等. 2008. 青藏高原黄绿蜜环菌纯培养菌种的分离培养及分子鉴定. 菌物学报, 27(6): 873 - 883.
李开本,陈体强,徐洁,等. 1999. 巴西蘑菇富镉特性研究初报. 食用菌学报, 6(1): 55 - 57.
李渝珍. 2005. 青海野生黄绿蜜环菌人工驯化技术途径的探讨. 青海师范大学学报(1): 74 - 76.
刘 葳,于源华,毛亚杰,等. 2007. 黄绿蜜环菌多糖的分离纯化与组成结构分析. 长春理工大学学报, 30(2): 102 - 105.
卯晓岚. 中国大型真菌. 2000. 郑州: 河南科学技术出版社.
聂剑初,吴国利,张翼伸,等. 1986. 生物化学简明教程. 北京: 高等教育出版社.
王启兰,姜文波,陈波. 2005. 黄绿蜜环菌蘑菇圈生长对土壤及植物群落的影响. 生态学杂志, 24(3): 269 - 272.
谢红民,刁治民,邓君. 2005. 青藏高原黄绿蜜环菌资源现状及可持续发展的研究. 邵阳师范高等专科学校学报, 25(6): 67 - 70.
曾凡龙,屈永年,张仲华. 1994. 香菇多糖的提取和纯化分析. 同济医科大学邵阳医学院学报, 13(2): 83 - 84.
赵俊,秦国夫,戴玉成. 2005. 中国蜜环菌物种新记录. 菌物系统, 24(2): 164 - 173.
周启明,王世敏. 1985. 祁连山黄绿蜜环菌初步调查. 食用菌, (5) 2 - 3.
Falandysz J, Kawano M, Swieczkowski A, et al. 2003. Total mercury in wild-grown higher mushrooms and underlying soil from Wdzydze Landscape Park, Northern Poland. Food Chemistry, 81: 21 - 26.
Kuusi T, Laaksovirta K, Liukkonen - Lilja H, et al. 1981. Lead, cadmium and mercury contents of fungi in the Helsinki area and in unpolluted control areas. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 173: 261 - 267.
Schmitt J A, Meisch H U, Reinle W. 1977. Heavy metals in higher fungi. II. Manganese and iron. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 168: 264 - 281.
Stijve T, Besson R. 1976. Mercury, cadmium, lead and selenium content of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*. Chemosphere, 2: 151 - 158.
Svoboda L, Zimmermannova K, Kalac P. 2000. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter. Science of the Total Environment, 246: 61 - 67.
Wasser S P. 2002. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. Appl Microbiol Biotechnol, 60: 258 - 274.

(责任编辑 朱乾坤)