不同产地皱盖疣柄牛肝菌中矿质元素含量测定及特征分析

李杰庆¹, 杨天伟¹, 王元忠², 李涛³, 刘鸿高^{1,*}

(1. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南省农业科学院药用植物研究所, 云南 昆明 650200; 3. 玉溪师范学院资源环境学院, 云南 玉溪 653100)

摘要: 采用微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法测定5个产地皱盖疣柄牛肝菌中10种矿质元素含量, 并用SPSS软件进行方差分析和主成分分析。结果显示: 该方法标准物质(GBW 07605)回收率在91%~101%之间, 检出限在0.000 1~0.616 5 mg/kg范围, 表明该方法准确、可靠; 皱盖疣柄牛肝菌中Mg、Cu、Ca、Na、Zn等矿质元素的含量较高, 不同产地皱盖疣柄牛肝菌中矿质元素含量具有差异; 主成分分析的前3个主成分累积贡献率达到87.87%, 能表达大部分信息, 主成分综合得分可以反映出不同产地皱盖疣柄牛肝菌对10种矿质元素的富集情况。

关键词: 电感耦合等离子体原子发射光谱; 微波消解; 皱盖疣柄牛肝菌; 矿质元素; 主成分分析

Determination and Characteristic Analysis of Mineral Elements in *Leccinum rugosiceps* from Different Geographic Origins

LI Jie-qing¹, YANG Tian-wei¹, WANG Yuan-zhong², LI Tao³, LIU Hong-gao^{1,*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Institute of Medicinal Plants, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650200, China;

3. College of Resources and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China)

Abstract: The contents of 10 mineral elements in *Leccinum rugosiceps* from five regions were determined by microwave digestion-inductively coupled plasma-atomic emission spectrum (ICP-AES), and the obtained data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and principal component analysis (PCA) using the SPSS software. The results showed that recovery rates from tea standard (GBW 07605) ranged from 91% to 101% and the detection limits were 0.000 1~0.616 5 mg/kg. Mg, Cu, Ca, Na and Zn were more abundant in *Leccinum rugosiceps*. However, there were significant differences among mushroom samples collected from different regions. PCA showed that the cumulative contribution rate of the first three principal components was 87.87%, which could express most information. Principal component comprehensive scores could reflect the enrichment levels of ten mineral elements in *Leccinum rugosiceps* from different origins.

Key words: inductively coupled plasma-atomic emission spectrum (ICP-AES); microwave digestion; *Leccinum rugosiceps*; mineral elements; principal component analysis (PCA)

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)24-0119-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201424023

矿质元素是构成人体内某些活性蛋白、酶、激素等的重要组成部分, 是维持人体正常生理活动所必需的, 在体内无法合成, 必须从食物中摄取^[1-3]。食用菌味道鲜美、营养丰富, 含有人体必需的多种矿质元素, 是K、Ca、Fe、Mg、Mn、Zn、Se等多种矿质元素的重要来源之一^[4-6]; Kalač等^[7-8]研究发现食用菌中的P、K、Mg等矿质元素含量高于多数蔬菜中的含量或与之相

当, 且野生食用菌中矿质元素含量普遍高于双孢菇、平菇等人工菌。

皱盖疣柄牛肝菌(*Leccinum rugosiceps*)又名虎皮牛肝菌, 隶属于牛肝菌科(Boletales)、疣柄牛肝菌属(*Leccinum*), 是一种野生的食、药用大型真菌, 在我国主要分布于云南、四川、广西和西藏等地区^[9-11]; 其子实体肉质细腻, 口感鲜美, 深受消费者青睐, 极具经济

收稿日期: 2014-03-25

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31260496; 31160409);

云南省自然科学基金项目(2011FB053; 2011FZ195); 云南省教育厅科学研究基金项目(2012Y380; 2013Z074)

作者简介: 李杰庆(1982—), 男, 讲师, 硕士, 主要从事真菌资源研究。E-mail: 964331918@qq.com

*通信作者: 刘鸿高(1974—), 男, 教授, 博士研究生, 主要从事真菌资源研究。E-mail: honggaoliu@126.com

价值和开发应用前景^[12]。对不同产地皱盖疣柄牛肝菌矿质元素含量的测定,能为其品质评价和食用安全提供理论依据。本实验采用电感耦合等离子体发射光谱(inductively coupled plasma-atomic emission spectrum, ICP-AES)测定了采自云南5个产区的50个皱盖疣柄牛肝菌样品菌盖、菌柄中矿质元素含量,并用方差分析和主成分分析法分析不同产地皱盖疣柄牛肝菌对矿质元素的富集特点。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

样品均采于2011年7月,来源见表1,由云南农业大学刘鸿高教授鉴定为皱盖疣柄牛肝菌。

表1 皱盖疣柄牛肝菌样品来源
Table 1 Sources of samples

编号	采集地点	个体数
1	昆明五华区街道办事处瓦恭	10
2	曲靖泽州桂花树村	10
3	易门普贝	10
4	普洱思茅市	10
5	富民县大营	10

65%硝酸(优级纯);30%过氧化氢(分析纯);超纯水;10种矿质元素标准溶液 济南众标科技有限公司。

ICPE-9000全谱发射光谱仪 日本岛津公司; ETHOSONE微波消解仪 莱伯泰科有限公司; AR1140型万分之一分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; FW-100型高速粉碎机 天津市华鑫仪器厂; 100目标准筛盘 浙江上虞市道墟五四仪器厂; UPT-I-10超纯水机 优谱科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品的微波消解

皱盖疣柄牛肝菌采集后清洗干净,50℃烘干,每个子实体菌盖、菌柄分开粉碎过100目筛备用。准确称取0.5000g样品于消解罐中,加入5mL硝酸,2mL30%双氧水和3mL超纯水,在微波消解仪中消解完全,微波消解条件见表2。冷却取出消解罐,消解液转移至25mL比色管,用超纯水定容置25mL,摇匀,澄清后待测。并按上述消解过程,制备试剂空白溶液,处理茶叶标准物质。

表2 微波消解条件
Table 2 Microwave digestion conditions

步骤	升温时间/min	升至温度/℃	保温时间/min	功率/W
1	5	120	5	1500
2	5	150	5	1500
3	5	170	5	1500
4	5	180	10	1500

1.2.2 建立标准曲线

取Ba、Li、Ni、Sr、V等元素标准储备液,加

10% HNO₃溶液配制成0.0、0.02、0.05、0.1、0.5、1.0 μg/mL的混合标准溶液;取Ca、Cu、Mg、Na、Zn等元素标准储备液,加10% HNO₃溶液配制成0.0、0.5、1.0、5.0、10.0、20.0 μg/mL的混合标准溶液,建立10种元素的标准曲线。

1.2.3 仪器参数

辅助气流速:0.6 L/min;冷却气流速:10 L/min;载气流速:0.7 L/min;高频频率:27.12 MHz;输出功率:1.2 kW。

1.2.4 数据处理

将不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌盖、菌柄所测的矿质元素含量进行方差分析。计算每个产地10个子实体各矿质元素平均含量,所得数据经标准化处理,消除量纲不同的影响,用SPSS 17.0进行主成分分析,其主成分分析的数学模型为^[13-14]:

$$F_1 = A_{11}ZX_1 + A_{21}ZX_2 + \dots + A_{n1}ZX_n$$

$$F_2 = A_{12}ZX_1 + A_{22}ZX_2 + \dots + A_{n2}ZX_n$$

.....

$$F_n = A_{1n}ZX_1 + A_{2n}ZX_2 + \dots + A_{nn}ZX_n$$

式中: $A_{11}, A_{21}, \dots, A_{nm}$ 为 X 的协方差矩阵 Σ 的特征值对应的特征向量; $ZX_1, ZX_2, \dots, ZX_n$ 为原始变量经过标准化处理消除量纲影响的值。

2 结果与分析

2.1 方法验证

表3 茶叶标准品(GBW 07605)的矿质元素含量及方法检出限
Table 3 Determined and certified values of mineral elements in tea standard (GBW 07605) and detection limit of the established method

元素	波长/nm	标准值/(mg/kg)	测定值/(mg/kg)	标准品回收率/%	样品回收率/%	检出限/(mg/kg)
Ba	230.424	58±6	56.5±7	97	94	0.0013
Ca	183.801	4300±400	4031±386	94	97	0.0140
Cu	224.7	17.3±1.8	16.6±1.6	96	102	0.0157
Li	670.784	-0.36	-0.37	97	96	0.0001
Mg	383.826	1700±200	1650.1±190	97	98	0.0095
Na	330.232	44±6	44.4±7.3	101	105	0.6165
Ni	231.604	4.6±0.5	4.2±0.4	91	92	0.0018
Sr	216.596	15.2±0.7	14.6±0.5	96	94	0.0029
V	290.882	-0.86	0.94	91	90	0.0013
Zn	202.548	26.3±2	25.4±2	97	102	0.0014

采用国家标准茶叶参考物(GBW 07605)对微波消解-ICP-AES法进行验证。由表3可知,大部分矿质元素的测定值都在国家标准参考值范围内且无限接近;茶叶标准品中10种矿质元素加标回收率在91%~101%之间,皱盖疣柄牛肝菌样品10种矿质元素加标回收率在90%~105%之间;3倍标准偏差计算的检出限在0.0001~0.6165 mg/kg范围内,表明该方法准确、可靠,能用于皱盖疣柄牛肝菌中矿质元素的测定。

2.2 皱盖疣柄牛肝菌矿质元素含量

2.2.1 皱盖疣柄牛肝菌菌盖中矿质元素含量

不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌盖中矿质元素含量及方差分析结果见表4, 皱盖疣柄牛肝菌菌盖中Mg、Cu、Ca、Na、Zn等矿质元素的含量较高, Mg含量在809.33~1 236.41 mg/kg之间, Ca含量在126.01~313.15 mg/kg之间, 与Kalač^[8]报道的食用菌中Mg含量一般在800~1 800 mg/kg之间, Ca含量一般在100~500 mg/kg之间的结论一致。不同产区皱盖疣柄牛肝菌菌盖中各矿质元素含量都具有差异, 采自富民县大营的样品中Ba的含量最高, 为6.49 mg/kg, 采自曲靖泽州桂花树村的样品中Ba的含量最低, 为1.48 mg/kg, 两者具有显著差异 ($P<0.05$), 其他产地样品中Ba的含量均存在差异, 但未达到显著水平。采自昆明五华区街道办事处瓦恭和普洱思茅市的样品中人体易缺乏的微量元素Zn含量较高 (高于200 mg/kg), 可作为人体必需微量元素Zn的重要来源。

表4 不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌盖中矿质元素含量 (干质量计算)

Table 4 Mineral element contents in caps of *Leccinum rugosiceps* collected from different regions

元素	产地1	产地2	产地3	产地4	产地5
Ba	4.30±1.77 ^{ab}	1.48±0.55 ^b	3.41±1.85 ^{ab}	3.82±1.95 ^{ab}	6.49±8.18 ^a
Ca	313.15±145.19 ^a	128.76±41.17 ^b	126.01±105.98 ^b	126.58±37.15 ^b	241.21±124.50 ^a
Cu	123.95±58.20 ^b	74.78±32.61 ^b	72.74±44.15 ^b	261.76±245.53 ^a	69.70±46.74 ^b
Li	0.81±0.51 ^{ab}	0.40±0.14 ^b	0.12±0.06 ^b	0.63±0.41 ^{ab}	1.39±1.78 ^a
Mg	1 193.26±434.11 ^a	833.31±53.15 ^b	809.33±100.89 ^b	882.41±117.83 ^b	1 236.41±135.46 ^a
Na	155.83±54.55 ^a	85.78±11.90 ^{bc}	93.38±29.46 ^{bc}	104.34±30.95 ^b	70.91±19.53 ^c
Ni	1.29±0.51 ^{abc}	0.94±0.37 ^{bc}	0.63±0.29 ^c	1.94±1.00 ^{ab}	2.34±2.70 ^a
Sr	1.30±0.62 ^a	0.71±0.12 ^b	1.29±0.76 ^c	0.90±0.16 ^b	1.09±0.71 ^{ab}
V	2.14±0.88 ^{ab}	0.77±0.22 ^b	0.71±0.33 ^b	1.82±0.84 ^{ab}	3.10±3.84 ^a
Zn	239.41±95.87 ^{ab}	148.02±22.42 ^b	153.16±52.69 ^b	264.84±231.28 ^a	134.85±44.26 ^b

注: 同行不同小写字母表示矿质元素含量有显著差异 ($P<0.05$), 表5同。

2.2.2 皱盖疣柄牛肝菌菌柄中矿质元素含量

不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌柄中矿质元素含量及方差分析结果见表5, 皱盖疣柄牛肝菌中Ca、Mg、Cu、Na、Zn等矿质元素含量较高, 采自昆明五华区街道办事处瓦恭样品菌柄中Ba、Ca、Cu、Li、Mg、Na、V等矿质元素含量明显高于其他产地 ($P<0.05$); 采自产地2、产地3、产地4、产地5的皱盖疣柄牛肝菌菌柄中Ba、Ca、Li等矿质元素的含量具有差异, 但均未达到显著水平。结合表4可知, 同一产地皱盖疣柄牛肝菌菌盖和菌柄的矿质元素含量也具有差异, 如产地1菌柄中Ba、Ca、Li、Mg、Ni等矿质元素含量高于菌盖中的含量; 5个产地皱盖疣柄牛肝菌样品菌柄中Na、Zn、Cu等矿质元素含量均低于菌盖中的含量; 除产地1外, 皱盖疣柄牛肝菌菌柄中Na含量 (<100 mg/kg) 均低于Kalač^[8]报道的食用菌中Na含量在100~400 mg/kg之间的数值。

表5 不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌柄中矿质元素含量 (干质量计算)

Table 5 Mineral element contents in stipes of *Leccinum rugosiceps* collected from different regions

元素	产地1	产地2	产地3	产地4	产地5
Ba	41.49±29.43 ^a	1.13±0.55 ^b	2.44±2.00 ^b	0.75±0.26 ^b	7.20±5.93 ^b
Ca	1291.33±131.96 ^a	120.61±49.66 ^b	45.31±27.78 ^b	34.11±13.23 ^b	251.92±196.94 ^b
Cu	64.85±51.93 ^a	40.48±30.94 ^b	11.78±14.03 ^c	31.93±22.19 ^b	30.10±20.54 ^{bc}
Li	1.70±12.67 ^a	0.28±0.16 ^b	0.08±0.13 ^b	0.13±0.04 ^b	1.32±0.95 ^b
Mg	1 390.80±485.62 ^a	652.25±197.92 ^b	215.66±282.66 ^c	319.39±107.34 ^c	820.57±442.35 ^b
Na	127.31±49.44 ^a	47.76±25.55 ^b	12.87±17.17 ^c	17.36±15.58 ^c	42.13±26.78 ^b
Ni	13.22±8.67 ^a	0.69±0.37 ^b	691.18±663.79 ^a	0.47±0.15 ^b	2.21±1.43 ^b
Sr	4.34±2.05 ^a	0.59±0.21 ^{bc}	0.21±0.67 ^c	0.42±0.13 ^c	1.49±1.18 ^b
V	29.88±19.17 ^a	0.59±0.28 ^b	0.71±1.07 ^b	0.42±0.16 ^b	3.27±2.12 ^b
Zn	122.58±93.62 ^a	79.29±46.32 ^{ab}	16.56±22.76 ^c	66.48±77.39 ^b	64.58±55.49 ^b

2.3 主成分分析

主成分分析是以降维的思想, 将多个原始变量, 综合为少数几个综合因子, 使这几个综合因子尽可能反映多个原始变量, 从而简化分析过程^[11,15]。将标准化后的皱盖疣柄牛肝菌的矿质元素含量值进行主成分分析。由表6可知, 主成分1的特征值为7.25, 贡献率占总方差贡献率的64.51%, 是皱盖疣柄牛肝菌的重要成分, 由成分的载荷矩阵 (表7) 可知, Ba、Ca、Mg、Na、V、Sr等矿质元素在主成分1上的载荷值较高, 对主成分1贡献较大。主成分2的特征值为1.92, 其贡献率占总方差贡献率的13.91%, Cu、Zn等元素在这一主成分中载荷值较大, 而Ni、Li、Mg、Sr等元素载荷较小。前3个主成分的累积贡献率达到87.87% (大于85%), 能够表达全部信息的87.87%。

表6 主成分的特征根及贡献率

Table 6 Eigenvalues and contribution rates of principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
PC1	7.25	64.51	64.51
PC2	1.92	13.91	78.42
PC3	1.24	9.45	87.87

表7 成分载荷矩阵

Table 7 Component-loading matrix

主成分	Ba	Ca	Cu	Li	Mg	Na	Ni	Sr	V	Zn
PC1	0.968	0.978	0.255	0.775	0.928	0.942	-0.485	0.971	0.975	0.716
PC2	-0.167	-0.159	0.933	-0.218	-0.215	0.009	-0.516	-0.201	-0.102	0.675
PC3	0.175	0.128	0.143	-0.529	-0.304	0.27	0.67	0.116	0.195	0.18

表8为主成分得分相关系数, 根据主成分计算公式 (1.2.4节) 和主成分得分相关系数可以得到前3个主成分与10种元素含量的线性组合为:

$$F_1=0.139Z(Ba)+0.141Z(Ca)+0.037Z(Cu)+0.112Z(Li)+0.134Z(Mg)+0.136Z(Na)-0.07Z(Ni)+0.14Z(Sr)+0.103Z(V)+0.103Z(Zn)$$

$$F_2=-0.093Z(Ba)-0.089Z(Ca)+0.521Z(Cu)-0.122Z(Li)-0.12Z(Mg)+0.005Z(Na)-0.288Z(Ni)-0.112Z(Sr)-0.057Z(V)+0.377Z(Zn)$$

$$F_3=0.167Z(\text{Ba})+0.122Z(\text{Ca})+0.137Z(\text{Cu})-0.506Z(\text{Li})-0.291Z(\text{Mg})+0.258Z(\text{Na})+0.641Z(\text{Ni})+0.111Z(\text{Sr})+0.187Z(\text{V})+0.173Z(\text{Zn})$$

表8 成分得分系数矩阵

Table 8 Component score coefficient matrix

主成分	Ba	Ca	Cu	Li	Mg	Na	Ni	Sr	V	Zn
PC1	0.139	0.141	0.037	0.112	0.134	0.136	-0.07	0.14	0.14	0.103
PC2	-0.093	-0.089	0.521	-0.122	-0.12	0.005	-0.288	-0.112	-0.057	0.377
PC3	0.167	0.122	0.137	-0.506	-0.291	0.258	0.641	0.111	0.187	0.173

根据 $F=0.645 F_1+0.139 F_2+0.094 5F_3$ 计算主成分综合得分及排序,结果见表9。由表9可知,采自昆明五华区街道办事处瓦恭的皱盖疣柄牛肝菌中所测定的10种矿物质元素含量最高,采自普洱思茅产区的次之,而采自易门普贝的含量最少;这可能与不同产区气候条件、土壤环境等多种生态因子的差异有关。

表9 主成分综合得分

Table 9 Principal component comprehensive scores

产地	F_1	F_2	F_3	$F_{\text{合}}$	排序
1	1.688	-0.111	0.565	1.127	1
2	-0.485	0.060	-0.439	-0.346	4
3	-0.896	-0.914	1.186	-0.593	5
4	-0.350	1.640	0.125	0.014	2
5	0.043	-0.675	-1.437	-0.202	3

3 结论

微波消解-ICP-AES法具有精密度好、灵敏度高,可同时测定多种元素的优点,适于食用菌中矿物质元素含量测定^[16-17]。本研究采用微波消解-ICP-AES法,测定不同产地皱盖疣柄牛肝菌中矿物质元素的含量,该方法的检出限在0.000 1~0.616 5 mg/kg范围内,标准品回收率在91%~101%之间,皱盖疣柄牛肝菌样品加标回收率在90%~105%之间,此方法准确、可靠。皱盖疣柄牛肝菌富含Ca、Mg、Cu、Na、Zn、V等矿物质元素,是极具开发价值的珍稀食用菌之一。

野生食用菌矿物质元素含量受不同地区土壤有机质含量,矿物质元素含量,土壤pH值及食用菌的生长发育阶段等影响^[7-8,18]。本研究中皱盖疣柄牛肝菌菌盖、菌柄中矿物质元素含量具有明显差异,表明食用菌不同部位对矿物质

元素的富集能力不同,与Frankowska^[19]、施渺筱^[20]、索晓敏^[21]等研究的美味牛肝菌、野生鸡枞、鸡腿菇等食用菌不同部位营养成分积累不同的结果相似。主成分分析结果显示,不同产地皱盖疣柄牛肝菌矿物质元素含量各不相同,可能与不同产区降水、温度等气候条件的差异和皱盖疣柄牛肝菌所生长的土壤环境、地质、地貌等的差异有关。

参考文献:

- GREGORIO G B, SENADHIRA D, HTUT T, et al. Improving iron and zinc value of rice for human nutrition[J]. Agriculture et Development, 1999, 23(9): 77-81.
- 刘杰,朱智伟,孙成效,等. 稻米中矿物质元素及其测定方法的研究进展[J]. 中国稻米, 2010, 16(5): 24-27.
- 葛亚龙,唐志华. 微量元素与人体健康[J]. 饮料工业, 2013, 16(3): 4-6.
- GENÇCELEP H, UZUN Y, TUNÇTÜRK Y, et al. Determination of mineral contents of wild-grown edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 1033-1036.
- FALANDYSZ J. Selenium in edible mushrooms[J]. Journal of Environmental Science and Health Part C, 2008, 26(3): 256-299.
- 吴庆晖,黄伯熹,冉文清,等. 超声波水浴辅助消解-原子荧光光谱法测定食用菌中硒含量[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 299-302.
- KALAC P, SVOBODA L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2000, 69(3): 273-281.
- KALAC P. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: a review[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 9-16.
- 卯晓岚. 中国大型真菌[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000: 322.
- 李泰辉,宋斌. 中国食用牛肝菌的种类及其分布[J]. 食用菌学报, 2002, 9(2): 22-30.
- 戴玉成,周丽伟,杨祝良,等. 中国食用菌名录[J]. 菌物学报, 2010, 29(1): 1-21.
- 李涛,王元忠,袁天军,等. IC法快速测定皱盖疣柄牛肝菌中5种阴离子含量[J]. 食用菌学报, 2012, 18(4): 78-81.
- 李小红,陈珍珍. 如何正确应用SPSS软件做主成分分析[J]. 统计研究, 2010, 27(8): 105-108.
- 林海明. 如何用SPSS快速计算主成分的结果[J]. 统计与决策, 2011(12): 152-154.
- 王力宾,顾光同. 多元统计分析: 模型、案例及SPSS应用[M]. 北京: 经济科学出版社, 2010: 135-137.
- 田鹏,张辉,段纪东,等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定食用菌中微量元素的方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(3): 667-670.
- 陈鹭平,吴抒怀. ICP-AES同时测定食用菌中钙、镁、铁、锰、铜和锌[J]. 光谱实验室, 2004, 21(2): 352-354.
- LI T, WANG Y, ZHANG J, et al. Trace element content of *Boletus tomentipes* mushroom collected from Yunnan, China[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1828-1830.
- FRANKOWSKA A, ZIOLKOWSKA J, BIELAWSKI L, et al. Profile and bioconcentration of minerals by King Bolete (*Boletus edulis*) from the Plocka Dale in Poland[J]. Food Additives and Contaminants: Part B, 2010, 3(1): 1-6.
- 施渺筱,李祝,杨坤耀,等. 野生鸡枞菌子实体不同部位营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(2): 182-183.
- 索晓敏,李波,聂磊,等. 鸡腿菇子实体菌柄和菌盖营养成分的分析[J]. 食用菌, 2009, 31(5): 74-75.