

# 野生食用菌中矿物质和重金属研究概况

李 丽<sup>1</sup>, 蒋景龙<sup>2</sup>, 季晓晖<sup>1</sup>, 闵锁田<sup>1</sup>, 曾海涛<sup>2</sup>

(1. 陕西理工学院化学与环境科学学院, 陕西汉中 723000;

2. 陕西理工学院生物科学与工程学院, 陕西汉中 723000)

**摘要:**食用菌(Edible mushroom)由于其独特的风味和鲜嫩的肉质,在很多国家都被誉为佳肴。野生食用菌富含多糖、维生素和矿物质等,具有抗肿瘤和调节免疫等多种功能,是世界公认的不可多得的高营养兼药膳的“素中之荤”。和其他食物相比,野生食用菌富集重金属的能力强,由于矿物质和重金属会对人体产生积极和消极两种效应,近年来关于食用菌中矿物质和重金属含量的研究逐渐增加。本文对近年来野生食用菌的矿物质和重金属的研究做了概述,主要包括不同种类和不同生长环境的野生食用菌及野生食用菌的不同部位的矿物质和重金属的含量情况,为野生食用菌食品安全评估提供参考资料。

**关键词:**野生食用菌,矿物质,重金属

## A review of minerals and heavy metals in wild edible mushroom

LI Li<sup>1</sup>, JIANG Jing-long<sup>2</sup>, JI Xiao-hui<sup>1</sup>, MIN Suo-tian<sup>1</sup>, ZENG Hai-tao<sup>2</sup>

(1. Chemical and Environmental Sciences, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China;

2. School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

**Abstract:** Edible mushrooms were consumed in many countries as a delicacy, particularly for their specific aroma and texture. Wild edible mushrooms were the world-recognized rare, high nutritional and medicinal food could virtually be compared with meat, because they have antitumor, immunomodulating and many other effects for their polysaccharides, vitamins and minerals. Wild mushrooms could collect higher levels of heavy metals when compared with other foods. Because of the positive or negative effects of minerals and heavy metals on human health, the investigations about mineral and heavy metal content of mushrooms were more and more in recent years. In this paper, a review about mineral and heavy metal content of wild edible mushrooms including different species, collection areas and different parts of mushrooms were made, so as to easily evaluate the safety of the wild edible mushroom foods and provide a reference for food industries.

**Key words:** wild edible mushroom; minerals; heavy metals

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)16-0395-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.16.072

真菌在自然界中金属、类金属和其他化学元素的生物地球化学转化和循环中扮演着重要角色<sup>[1]</sup>。食用菌由于其独特的风味和鲜嫩的肉质,在很多国家都被誉为佳肴,而且其具有低热量、低脂肪、高维生素、高蛋白、高矿物质的特点,是一种被公认的健康食品<sup>[2-5]</sup>。野生食用菌富含的多种矿质元素(如K、P、Mg、Na、Fe、Ca、Cu和Zn等)作为人体内多种酶的辅因子参与调节血液和组织渗透压平衡,具有维持人体的正常生理机能、促进生长发育及抵抗疾病等多种功能。尽管这些矿质元素对生物系统具有非常重要的作用,但过度摄入会导致中毒现象<sup>[6]</sup>。另外,和其他食物相比,野生食用菌富集重金属的能力强,富集程度取决于食用菌的种类、生长地区和污染程度及子

实体和菌丝体的生长发育时期等<sup>[7-8]</sup>。由于矿物质和重金属会对人体产生积极或消极两种效应,近年来对食用菌中矿物质和重金属含量的研究逐渐增加。本文对近年来野生食用菌矿物质和重金属的研究做了概述。

### 1 野生食用菌资源及分布

野生食用菌产于深山老林、高山峡谷之中,是一种不可多得的美味、健身、强体的滋补食品,是世界公认的高营养高蛋白兼药膳的“素中之荤”。研究发现,常食野生食用菌,能促进和调节人体新陈代谢,提高免疫力,起到预防和治疗肿瘤等各种疾病、延年益寿和保健美容等功效<sup>[9-10]</sup>。欧洲、美洲、亚洲等很多国家都是消费野生食用菌的主要国家,野生食用菌

收稿日期: 2014-12-03

作者简介: 李丽(1985-),女,硕士,助理实验师,研究方向:天然产物方面的研究, E-mail: lilisense@126.com。

基金项目: 陕西理工学院科研基金项目(SLGQD13(2)-25)。

是其传统食品,每年人均消费量达3 kg。这些国家虽然很多都出产野生食用菌,但其产量满足不了市场需求<sup>[11]</sup>。中国是野生食用菌资源最丰富的国家之一,西南地区是中国野生食用菌资源最为丰富的地区,其中云南省野生食用菌种类及自然产量居全国之冠,有880多种,占中国资源的80%,占世界野生食用菌资源的40%<sup>[12-11-12]</sup>。同时,野生食用菌富集重金属的特点已经引起人们关注,因为重金属与人体健康密切相关。

## 2 矿物质和重金属在野生食用菌中的含量情况

野生食用菌子实体中含有丰富的矿物质,且其含量比栽培食用菌和其他食物都高。目前已检测并研究过其矿物质含量的野生食用菌有很多,如牛肝菌、鸡油菌、灵芝、金钱菌、松乳菇、硫磺菌和珊瑚菌等<sup>[1-7]</sup>。野生食用菌中矿物质的含量受品种、生长环境及生长时期等诸多因素的影响而不同,研究发现,野生食用菌钾(K)和磷(P)元素的含量最高,然后依次是镁(Mg)、钠(Na)、铁(Fe)、钙(Ca)、锌(Zn)、锰(Mn)和铜(Cu)几种元素,这些元素在野生食用菌中的含量范围分别为10000~40000、5000~12000、268~1928、25~1061、278~816、19~500、1.61~122.13、1.23~75.36和1.10~9.04 mg/kg DM<sup>[1-7,12-18]</sup>。K主要在机体细胞内液调节渗透压、血压和酸碱平衡,参与细胞内糖和蛋白质的代谢。P在机体很多生理过程中都有重要作用,它是组成核酸的基本成分之一,也是骨骼和牙齿的重要构成成分。Mg是人体内的重要阳离子,它影响K<sup>+</sup>和Ca<sup>2+</sup>的转运,在骨骼的形成中具有重要作用,Mg缺乏会导致骨质疏松症。Na是人体内非常重要的一种元素,因为它在很多器官都有生理效应,成人体内钠含量约占体重的0.15%。几乎所有的器官都需要Fe,Fe对贫血具有非常重要的作用。在生长发育过程中,月经期血量损失及妊娠期容易出现Fe缺乏,这种情况下,如果摄入或者吸收的Fe量不足,就需要及时补充Fe。Ca对人体而言,无论肌肉、神经、体液和骨骼

中,都有用Ca<sup>2+</sup>结合的蛋白质,Ca约占人体质量的1.4%。Zn是人体必需的矿物质元素,具有促进生长发育、增强免疫力和调节大脑生理功能等多种作用。Mn是酶的组成成分和激活因子。Cu是人体健康不可缺少的微量营养素,对于血液、中枢神经和免疫系统等的功能有重要影响,Cu主要从日常饮食中摄入,成年人每天需要Cu 0.05~2 mg<sup>[7]</sup>。

尽管铬(Cr)是重金属,当每天摄入量为50~200 μg时是对人体十分有利的微量元素,而且Cr跟糖、脂类和蛋白质的代谢也有关,摄入量过高有毒性。镍(Ni)是一些酶的活化因子,有刺激造血功能的作用,人的可能需要量为25~35 μg/d,但当每天摄入过高时会导致心肌、脑、肺、肝和肾退行性变。银(Ag)不管是离子还是金属的形式都会对机体有毒性。钴(Co)的浓度决定了其是对机体有毒性还是有益,机体Co的平均含量为1.09 mg/g。一般认为铅(Pb)对机体有毒性,其主要对肾脏、神经系统和血液有毒性,血液中Pb的浓度高时,会抑制红细胞的形成而导致贫血。野生食用菌中Cr、Ni、Ag、Co和Pb的含量分别为0.03~10.58、0.19~48.65、0.02~1.00、0.02~5.13和0.07~8.46 mg/kg<sup>[1-7,12-18]</sup>。一些国家已颁布法规对食用菌中有害金属的含量做了限定。在2004年加入欧盟以前,捷克斯洛伐克规定野生食用菌中Pb的限量标准为10.0 mg/kg DM,近年来,Pb的限量标准调整为0.3 mg/kg FM,另外几种元素的限量标准仍在沿用,如Cr、Cu、Fe和Zn的限定标准分别为4.0、80、80和80 mg/kg DM<sup>[19]</sup>。

## 3 不同种类野生食用菌中矿物质和重金属含量不同

食用菌具有富集金属的能力,但在相同环境下,不同种类食用菌对金属的富集能力和富集途径存在一定差异<sup>[20]</sup>。野生食用菌中矿物质和金属元素的含量在不同种类、同种内不同菌株间都有相当大的差异<sup>[21-23]</sup>。对安纳托利亚的同一地区同时采摘的野生食用菌做同样的处理,结果发现不同属的野生食用

表1 不同种类野生食用菌矿物质和重金属含量(mg/kg,干重)

Table 1 Minerals and heavy metals content of different wild edible mushrooms(mg/kg, dw)

蘑菇名称	钾	磷	镁	钠	铁	钙	锌	锰	铜	铬	镍	银	钴	铅
红笼头菌 <sup>[7]</sup>	3965	975	1718	282	616	96	5	45	2	1.77	33.08	0.10	2.20	0.18
群生金钱菌 <sup>[7]</sup>	1678	3819	1889	460	413	353	9	20	2	2.31	2.88	0.06	0.34	0.85
栎金钱菌 <sup>[7]</sup>	3502	574	268	273	502	217	9	44	9	0.61	1.34	0.11	0.11	0.27
硫磺菌 <sup>[7]</sup>	8032	357	1695	242	28	56	10	1	1	0.03	0.41	0.02	0.02	0.28
粉紫香菇 <sup>[7]</sup>	2030	5179	829	279	128	222	31	44	5	0.58	0.51	0.08	0.08	0.50
葡紫红菇 <sup>[7]</sup>	1911	1878	1928	920	178	209	27	61	2	8.19	30.59	0.06	2.40	4.32
正红菇 <sup>[7]</sup>	4455	696	1163	340	97	58	14	75	7	5.01	47.90	0.00	3.45	0.55
红珊瑚菌 <sup>[24]</sup>	22.3	6.4	1.2	3.9	381	1.4	57.9	94.3	43.9	—	—	—	—	12.2
紫芝 <sup>[24]</sup>	9.5	1.6	0.21	1.6	376	0.36	65.4	24.8	9.4	—	—	—	—	7.9
粘盖牛肝菌 <sup>[25]</sup>	—	—	—	—	45.89	—	7.45	—	2.89	0.90	0.46	—	0.07	3.44
平菇 <sup>[25]</sup>	—	—	—	—	8.93	—	3.35	—	2.17	1.00	2.30	—	0.22	3.38
灰褐牛肝菌 <sup>[26]</sup>	4600	—	200	670	47	440	94	63	52	2.8	—	—	1.7	—
小美牛肝菌 <sup>[26]</sup>	2500	—	110	160	78	38	50	2.0	28	0.45	—	—	1.0	—

注:“—”表示没有报道;表2、表3同。

菌中矿物质和重金属含量差异较大,如红笼头菌(*Clathrus ruber*)和群生金钱菌(*Collybia confluens*),硫磺菌(*Laetiporus sulphureus*)和粉紫香菇(*Lepista personata*)。同时也发现,同一个属的一些野生食用菌中矿物质和重金属含量差别也很大,如群生金钱菌(*Collybia confluens*)和栎金钱菌(*Collybia dryophila*),葡紫红菇(*Russula azurea*)和正红菇(*Russula vinosa*)<sup>[7]</sup>。在印度的西高止山脉上采摘的红珊瑚菌(*Clavaria rosea*)和紫芝(*Ganoderma sinense*)<sup>[24]</sup>、土耳其博卢采摘的粘盖牛肝菌(*Suillus bovinus*)和平菇(*Pleurotus ostreatus*)<sup>[25]</sup>、中国云南采摘的灰褐牛肝菌(*Boletus griseus*)和小美牛肝菌(*Boletus speciosus*)中矿物质和重金属含量差异也较大<sup>[26]</sup>(表1)。此外,对云南省野生食用菌调查分析发现,41种常见新鲜野生食用菌中13种矿物质元素含量不同<sup>[27]</sup>。也有研究发现,云南省12种野生食用菌中,Pb平均含量最低的是白牛肝菌(*Boletus granulatus*),最高的是鸡枞菌

(*Termitomyces albuminosus*)<sup>[28]</sup>。对河南省伏牛山16种野生食用菌的研究发现,羊肚菌(*Morchella esculenta*)含Mn量最高,含Cu量最高的是杵菌(*Pestle fungi*),含Zn较高的为杵菌、牛肝菌(*Boletus*)和美味牛肝菌(*Boletus edulis*)<sup>[29]</sup>。

#### 4 不同生长环境的野生食用菌中矿物质和重金属含量不同

野生食用菌中矿物质和重金属元素的含量因其生长环境不同而差别较大(表2)。野生食用菌对金属的富集程度跟其生长环境和环境的污染程度有关,而且其对不同金属的富集能力大小也不一样<sup>[20,30]</sup>。这是由于食用菌对金属的吸附机理不同,目前关于食用菌对金属的吸附机理有生物作用和吸附作用两种。食用菌对金属的吸收富集受到多种生物和非生物因子的影响,生物学特性、存在形式、生理年龄和组织形态等生物因子直接影响食用菌对金属的富集

表2 不同生长环境的野生食用菌中矿物质和重金属含量(mg/kg,干重)

Table 2 Minerals and heavy metals content of different collection area of wild edible mushrooms(mg/kg, dw)

蘑菇名称	生长地	铁	钙	锌	锰	铜	铬	镍	银	钴	铅
松乳菇 <sup>[7,15]</sup>	安纳托利亚(Anatolia)	260.8	85.5	14.07	19.89	2.66	1.13	4.44	0.03	0.33	0.20
	希腊莱斯沃斯岛(Lesvos, NE Aegean, Greece)	29.8	—	81.1	5.7	6.9	0.04	0.24	—	—	0.126
	罗马尼亚(Romania)	320.2	—	—	—	15.7	0.2	—	—	—	—
双孢菇 <sup>[31-33]</sup>	波兰(Poland)	529.1	—	—	—	130.7	0.2	—	—	—	—
	土耳其(Turkey)	420.4	—	—	—	20.3	0.1	—	—	—	—
	土耳其宾格省(Bingol, Turkey)	50	800	110	4.3	78	—	1.1	—	—	1.6
毛头鬼伞 <sup>[7,25,34]</sup>	中国云南(Yunnan, China)	190	—	81.4	28.8	14.8	22.6	0.92	—	—	2.21
	安纳托利亚(Anatolia)	237.9	157.2	53.25	10.97	8.85	2.77	1.10	0.24	0.04	0.94
	土耳其博卢省(Bolu, Turkey)	160.12	—	4.85	—	7.88	2.00	2.04	—	0.08	5.37
平菇 <sup>[32]</sup>	中国山东(Shandong, China)	203.3	—	84	31.8	41.3	4.3	11.5	—	—	1.6
	土耳其宾格省(Bingol, Turkey)	125	295	250	9.3	54	—	2.51	—	—	<0.01
紫丁香蘑 <sup>[32]</sup>	土耳其塞利姆省(Bingol, Selim)	65	340	265	0.2	62	—	2.64	—	—	<0.01
	土耳其宾格省(Bingol, Turkey)	39	40	160	6.8	37	—	1.61	—	—	<0.01
杨树口蘑 <sup>[32]</sup>	土耳其塞利姆省(Bingol, Selim)	17	170	185	24.2	37	—	1.85	—	—	<0.01
	土耳其宾格省(Bingol, Turkey)	19	140	89	6.5	12	—	0.89	—	—	<0.01
鸡油菌 <sup>[35-36]</sup>	土耳其塞利姆省(Bingol, Selim)	24	340	24	5.1	15	—	0.24	—	—	0.6
	中国云南(Yunnan, China)	—	—	—	—	39.0	—	0.11	—	—	4.6
	波兰卢布斯卡省(Lubuskie voivodeship, Poland)	—	—	66.7	24.9	38.8	1.01	2.04	—	—	—
	波兰瓦尔米亚(Kiwity, Poland)	110	160	83	37	180	0.32	0.015	1.7	0.38	1.3
高大环柄菇 <sup>[1,36-38]</sup>	波兰卢布斯卡省(Lubuskie voivodeship, Poland)	—	—	89.8	22.3	236.5	0.34	1.68	—	—	—
	Kaszuby (Poland)	—	—	100	15	140	0.25	—	1.0	0.19	2.6
	Hawa (Poland)	—	—	110	17	120	0.18	—	0.38	0.077	2.2
	Tucholskie Forest (Poland)	—	—	120	17	180	0.30	—	0.77	0.082	1.3
	Nadwarcianskie Forest (Poland)	—	—	110	21	120	0.14	—	1.2	0.044	1.7
	意大利Lucca, Tuscany	—	—	124.7	20.1	158	1.1	1.8	—	—	5.1
	波兰卢布斯卡省针叶林	—	—	149	11.9	33.0	0.39	2.87	—	—	—
意大利Lucca (Tuscany, Italy)	—	—	131	22.5	38.2	1.9	3.2	—	—	1.6	
美味牛肝菌 <sup>[30,38-40]</sup>	土耳其黑海海岸(East Black Sea, Turkey)	—	268	125	14.1	31.8	1.81	1.29	—	2.07	—
	Kaszuby (Poland)	53	55	150	15	26	0.14	—	3.9	0.09	0.69
	Mazury, Borecka Forest (Poland)	—	—	170	19	44	0.34	—	6.7	0.22	0.51
	Tatra Mountains (Poland)	34	38	210	7.3	51	0.13	—	7.2	0.08	0.85
	Sudety Mountains (Poland)	61	76	210	14	57	0.26	—	7.6	0.17	2.0

程度,非生物因子对食用菌的富集能力也有一定的影响,如金属性质和环境因素等。此外,污染源距离和金属的输入方式也会影响食用菌对金属的富集效果<sup>[20]</sup>。同一个实验室的数据显示,不同国家或地区的野生食用菌矿物质和重金属元素含量不同(表2)。如罗马尼亚(Romania)、波兰(Poland)和土耳其(Turkey)生长的白色双孢菇(*Agaricus bisporus*)中Cu和Fe的含量差别较大,而Cr的含量差别不明显<sup>[31]</sup>。土耳其宾格尔省和塞利姆省采摘的平菇(*Pleurotus ostreatus*)、紫丁香蘑(*Lepista nuda*)和杨树口蘑(*Tricholoma populinum*)中的K、Ca、Zn、Mn、Cu、Ni和Pb的含量差别较大<sup>[32]</sup>。另外,很多研究发现,不同生长环境的野生食用菌中矿物质和重金属元素含量差异较大<sup>[1,7,15,25,30-40]</sup>(表2)。

## 5 野生食用菌不同部位矿物质和重金属含量不同

同一个野生食用菌不同部位矿物质和重金属的富集程度也有差异<sup>[20]</sup>,高大环柄菇(*Macrolepiota procera*)的菌盖和菌柄中一些元素的含量有显著性差异,如K、P、Mg、Cu、Zn和Cr含量菌盖中比菌柄中高,Na的含量在菌柄中比菌盖中高,其他几种元素,如Fe、Ca、Ag、Mn和Pb在两个部位的含量差异不显著<sup>[1]</sup>。褐疣柄牛肝菌(*Leccinum scabrum*)菌盖Ag、Co、Cr、Cu、Fe、K、P、Pb和Zn含量比菌柄高,菌柄含Na比菌盖高,Ca、Mn和Ni在菌盖和菌柄中含量差异不显著<sup>[41]</sup>。对双孢菇、平菇、美味牛肝菌、厚环乳牛肝菌和斑乳牛肝菌的研究结果表明,K、P、Mg和Zn在菌盖中

的含量高于菌柄,Na则反之,其他元素在两个部位的含量差异不显著<sup>[31,36,37,42-44]</sup>(表3)。

## 6 展望

### 6.1 开发食用菌监测修复重金属污染土壤的技术

食用菌对重金属具有较强的吸收和富集能力,其栽培技术相对简单、易于掌握,同时具有生长周期短,生产投入少,易于采摘收集等优点。利用食用菌上述特性,在大田以食用菌检测环境重金属污染状况并修复污染土壤是一种较为经济适用的方法。

### 6.2 开发食用菌萃取畜禽粪便中超量重金属的技术

近年来,在有机食品和有机农业持续升温的新形势下,有机肥施用越来越受到广泛重视。然而,由于饲料厂和集约化养殖场普遍采用铜、铁和锌等微量元素,甚至含有重金属元素的畜禽饲料添加剂,导致畜禽粪便中金属含量严重超标。那么,重金属萃取技术无疑是畜禽粪便资源化开发利用的关键点和热点。将食用菌作为一项新型的重金属萃取生物工具来开发,建立规模化生产的栽培技术新体系具有广阔的前景。

## 参考文献

- [1] Kuldo E, Jarzynska G, Gucia M, et al. Mineral constituents of edible parasol mushroom *Macrolepiota procera* (Scop. ex Fr.) Sing and soils beneath its fruiting bodies collected from a rural forest area[J]. Chemical Papers, 2014, 68(4):484-492.
- [2] Wang X M, Zhang J, Wu L H, et al. A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom

表3 野生食用菌不同部位矿物质和重金属含量(mg/kg,干重)

Table 3 Minerals and heavy metals content of different parts of wild edible mushrooms (mg/kg, dw)

蘑菇名称	部位	钾	磷	镁	钠	铁	钙	锌	锰	铜	铬	镍	银	钴	铅
双孢菇(白) <sup>[31]</sup>	菌盖	—	—	—	—	529.1	—	—	—	130.7	0.2	—	—	—	—
	菌柄	—	—	—	—	272.2	—	—	—	123	0.1	—	—	—	—
双孢菇(褐) <sup>[31]</sup>	菌盖	—	—	—	—	1470.8	—	—	—	96.6	0.4	—	—	—	—
	菌柄	—	—	—	—	1561.5	—	—	—	2	0.3	—	—	—	—
平菇 <sup>[31]</sup>	菌盖	—	—	—	—	652.7	—	—	—	8.9	0.1	—	—	—	—
	菌柄	—	—	—	—	561.1	—	—	—	37.6	0.01	—	—	—	—
美味牛肝菌 <sup>[36]</sup>	菌盖	—	—	—	—	—	—	149.0	11.9	33.0	0.39	2.87	—	—	—
	菌柄	—	—	—	—	—	—	59.1	32.9	14.2	0.457	1.29	—	—	—
高大环柄菇 <sup>[1,36-37]</sup>	菌盖	33000	12000	1500	300	110	160	83	37	180	0.32	0.015	1.7	0.38	1.7
	菌柄	18000	6400	820	610	120	170	52	48	91	<0.01	—	2.4	—	2.4
褐疣柄牛肝菌 <sup>[41]</sup>	菌盖	—	—	—	—	—	—	89.8	22.3	236.5	0.348	1.68	—	—	—
	菌柄	—	—	—	—	—	—	49.1	78.0	143.9	1.25	1.65	—	—	—
厚环乳牛肝菌 <sup>[42-43]</sup>	菌盖	—	—	—	—	—	—	100	15	140	0.25	—	1.0	0.19	2.6
	菌柄	—	—	—	—	—	—	61	14	76	0.16	—	1.6	0.15	0.7
斑乳牛肝菌 <sup>[44]</sup>	菌盖	36000	6100	1000	310	130	120	210	20	22	0.50	0.84	0.69	0.13	2.9
	菌柄	18000	2200	510	580	65	130	98	20	10	0.34	0.98	0.25	0.089	1.3
美味牛肝菌 <sup>[36]</sup>	菌盖	—	—	—	140	—	—	160	54	40	0.3	0.28	0.35	<0.1	0.56
	菌柄	—	—	—	90	—	—	59	45	14	—	—	—	—	—
厚环乳牛肝菌 <sup>[42-43]</sup>	菌盖	50000	7300	1400	45	69	220	120	35	37	0.14	0.19	0.7	<0.1	0.18
	菌柄	32000	2200	500	54	120	350	30	46	10	—	—	—	—	—
斑乳牛肝菌 <sup>[44]</sup>	菌盖	29000	—	1000	33	1500	61	94	10	18	0.32	0.57	0.47	0.052	0.16
	菌柄	17000	—	450	57	520	140	51	24	5.8	0.23	0.40	0.10	0.056	0.26

- from China[J]. Food chemistry, 2014, 151: 279–285.
- [3] Mleczek M, Siwulski M, Kaczmarek Z, et al. Concentration of selected trace elements in *Xerocomus badius* mushroom bodies—a health risk for humans? [J]. Acta Scientiarum Polonorum: Technologia Alimentaria, 2013, 12(3): 331–343.
- [4] Nnorom I C, Jarzynska G, Drewnowska M, et al. Major and trace elements in sclerotium of *Pleurotus tuber-regium* (Osu) mushroom—Dietary intake and risk in southeastern Nigeria [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 29(1): 73–81.
- [5] Koyyalamudi S R, Jeong S C, Manavalan S, et al. Micronutrient mineral content of the fruiting bodies of Australian cultivated *Agaricus bisporus* white button mushrooms [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31(1): 109–114.
- [6] Falandysz J, Borovicka J. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(2): 477–501.
- [7] Tel G, Çavdar H, Deveci E, et al. Minerals and metals in mushroom species in Anatolia [J]. Food Additives & Contaminants, 2014, 7(3): 226–231.
- [8] Yin L L, Shi G Q, Tian Q, et al. Determination of the Metals by ICP-MS in Wild Mushrooms from Yunnan, China [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(8): S151–S155.
- [9] 李晓东, 金乾坤, 金明姬, 等. 长白山野生食用菌的功能性应用现状 [J]. 食品研究与开发, 2013, 34(24): 265–268.
- [10] Sarikurkcü C, Copur M, Yildiz D, et al. Metal concentration of wild edible mushrooms in Soguksu National Park in Turkey [J]. Food Chemistry, 2011, 128(3): 731–734.
- [11] 张群, 杨晓方. 云南省野生食用菌出口现状、问题及对策 [J]. 技术与市场, 2013, 20(5): 316–318.
- [12] 吴素蕊, 罗晓莉, 刘蓓, 等. 野生食用菌研究开发浅析及建议 [J]. 食品科技, 2010, 35(4): 100–103.
- [13] Kaya A, Bag H. Mineral contents of some wild ascomycetous mushrooms [J]. 2013, 25(3): 1723–1726.
- [14] Mallikarjuna S E, Ranjini A, Haware D J, et al. Mineral composition of four edible mushrooms [J]. Journal of Chemistry, 2013, 2013: 1–5.
- [15] Aloupi M, Koutrotsios G, Koulousaris M, et al. Trace metal contents in wild edible mushrooms growing on serpentine and volcanic soils on the island of Lesbos, Greece [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012, 78(4): 184–194.
- [16] Adebayo E A, Oloke J K, Azeez M A, et al. Assessment of the genetic diversity among ten genotypes of *Pleurotus* (oyster mushroom) using nutrient and mineral compositions [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 166: 59–64.
- [17] Li T, Zhang J, Shen T, et al. Mineral element content in prized matsutake mushroom (*Tricholoma matsutake*) collected in China [J]. Chemical Papers, 2013, 67(6): 672–676.
- [18] Gonçalves J M, Souza M D C, Rocha R C C, et al. Macro and trace elements in edible mushrooms, Shiitake, Shimeji and Cardoncello from Petropolis, Rio de Janeiro, Brazil [J]. Ciencia Rural, 2014, 44(5): 943–949.
- [19] Kalac P. Trace element contents in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009 [J]. Food Chemistry, 2010, 122(1): 2–15.
- [20] 刘剑飞, 胡留杰, 廖敦秀, 等. 食用菌生物修复重金属污染研究进展 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 543–548.
- [21] 杨婷婷, 赵春城, 蔡建荣, 等. 食用菌安全监测新技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 396–400.
- [22] 刘高翔, 杨美智子, 刘洋铭, 等. 食用菌对镉的富集作用及其机理的研究概况 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 392–394.
- [23] 吴庆晖, 黄伯熹, 方军, 等. 电热解—原子吸收光谱法快速测定食用菌中汞 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 396–399.
- [24] Chittaragi A, Naika R. Determination of trace elements on some wild mushroom samples encountered from Western ghats of Karnataka [J]. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014, 6(7): 2124–2135.
- [25] Severoglu Z, Sumer S, Yalcin B, et al. Trace metal levels in edible wild fungi [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2013, 10(2): 295–304.
- [26] Liu H G, Zhang J, Li T, et al. Mineral Element Levels in Wild Edible Mushrooms from Yunnan, China [J]. Biological Trace Element Research, 2012, 147(1–3): 341–345.
- [27] 林佳, 孙灿, 段志敏, 等. 云南省常见野生食用菌13种矿物质元素调查分析 [J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(6): 1521–1523.
- [28] 黄晨阳, 陈强, 赵永昌, 等. 云南省主要野生食用菌中重金属调查 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1198–1203.
- [29] 赵颖惠, 韩建国. 野生食用菌中微量元素的测定 [J]. 北京农业, 2011(12): 75–76.
- [30] 季旭颖, 江洁. 食用菌中  $Pb^{2+}$  和  $Cd^{2+}$  的含量测定及其富集规律的研究 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 53–56.
- [31] Dobrinás S, Soceanu A, Stanciu G, et al. Trace element levels of three mushroom species [J]. Analele Universitatii “Ovidius” Constanta—Seria Chimie, 2013, 24(1): 39–42.
- [32] Uzun Y, Gencecep H, Kaya A, et al. The Mineral Contents of Some Wild Edible Mushrooms [J]. Ekoloji, 2011, 20(80): 6–12.
- [33] Zhu F K, Qu L, Fan W X, et al. Assessment of heavy metals in some wild edible mushrooms collected from Yunnan Province, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 179(1–4): 191–199.
- [34] Wang C, Hou Y H. Determination of Trace Elements in Three Mushroom Samples of Basidiomycetes from Shandong, China [J]. Biological Trace Element Research, 2011, 142(3): 843–847.
- [35] Chen X H, Zhou H B, Qiu G Z. Analysis of Several Heavy Metals in Wild Edible Mushrooms from Regions of China [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2009, 83(2): 280–285.
- [36] Mazurkiewicz N, Podlasinska J. Bioaccumulation of trace elements in wild-growing edible mushrooms from Lubuskie voivodeship, Poland [J]. Chemistry and Ecology, 2014, 30(2): 110–117.
- [37] Falandysz J, Kunito T, Kubota R, et al. Some mineral constituents of Parasol Mushroom (*Macrolepiota procera*) [J]. Journal of Environmental Science and Health Part B, 2008, 43(2): 187–192.

- [38] Giannaccini G, Betti L, Palego L, et al. The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy[J]. Environmental monitoring and assessment, 2012, 184(12): 7579-7595.
- [39] Ayaz F A, Torun H, Colak A, et al. Macro-and Microelement Contents of Fruiting Bodies of Wild-Edible Mushrooms Growing in the East Black Sea Region of Turkey[J]. Food and Nutrition Sciences, 2011, 2(2): 53-59.
- [40] Falandysz J, Kunito T, Kubota R, et al. Multivariate characterization of elements accumulated in King Boletus edulis mushroom at lowland and high mountain regions[J]. Journal of Environmental Science and Health Part A, 2008, 43(14), 1692-1699.
- [41] Zhang D, Zhang Y, Morawska E, et al. Trace Elements in *Leccinum scabrum* Mushrooms and Topsoils from Kłodzka Dale in Sudety Mountains, Poland[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 10(4): 621-627.
- [42] Chudzyjski K, Falandysz J. Multivariate analysis of elements content of Larch Bolete (*Suillus grevillei*) mushroom[J]. Chemosphere, 2008, 73(8): 1230-1239.
- [43] Chudzynski K, Jarzynska G, Falandysz J. Cadmium, lead and some other trace elements in Larch Bolete mushrooms (*Suillus grevillei*) (Klotzsch) Sing., collected from the same site over two years[J]. Food Additives and Contaminants: Part B: Surveillance Communications, 2013, 6(4): 249-253.
- [44] Szubstarska J, Jarzynska G, Falandysz J. Trace elements in Variegated Bolete (*Suillus variegatus*) fungi[J]. Chemical Papers, 2012, 66(11): 1026-1031.

(上接第389页)

- Alzheimer's disease[J]. Microbial cell factories, 2011, 10: 69.
- [57] Tanaka K, Tajima S, Takenaka S, et al. An improved *Bacillus subtilis* cell factory for producing scyllo-inositol, a promising therapeutic agent for Alzheimer's disease[J]. Microbial Cell Factories, 2013, 12(1): 124.
- [58] 黄贞杰, 陈玲, 张积森, 等. *ScINO1* 基因克隆及酵母多基因多拷贝整合表达载体的构建[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2012, 28(6): 100-105.
- [59] Hong M-E, Lee K-S, Yu BJ, et al. Identification of gene targets eliciting improved alcohol tolerance in *Saccharomyces cerevisiae* through inverse metabolic engineering[J]. Journal of Biotechnology, 2010, 149(1): 52-59.

(上接第394页)

- 营养学报, 2008, 30(4): 430-432.
- [57] 史亚丽, 辛晓林, 张昌言, 等. 黑木耳多糖对生物机体运动能力的影响[J]. 中国临床康复, 2006, 10(35): 106-108.
- [58] 张文婷, 贾宁, 王琦. 黑木耳多糖对小鼠小肠推进及胃排空的影响[J]. 辽宁中医药大学学报, 2012, 14(8): 62-64.
- [59] 张洁, 陈立勇. 黑木耳多糖对青春期雄性大鼠性功能影响的研究[J]. 现代中西医结合杂志, 2012, 21(33): 3671-3672.
- [60] Yang L, Zhao T, Wei H, et al. Carboxymethylation of polysaccharides from *Auricularia auricular* and their antioxidant activities *in vitro*[J]. International journal of biological macromolecules, 2011, 49(5): 1124-1130.
- [61] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 289.
- [62] 张华, 王振宇, 杨鑫, 等. 黑木耳多糖的羧甲基化及其对肝癌细胞HepG2的抑制作用[J]. 食品与机械, 2011(3): 42-44.
- [63] Nguyen T L, Chen J, Hu Y, et al. *In vitro* antiviral activity of sulfated *Auricularia auricular* polysaccharides[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(3): 1254-1258.
- [64] 李公斌. 硫酸酯化黑木耳多糖的抑菌功能[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(2): 31-33.

因本刊已被《中国知网》(包括“中国知网”优先数字出版库)独家全文收录,所以所付稿酬中已包含该网站及光盘应付的稿酬。