

## 云南省主要野生食用菌中重金属调查

黄晨阳<sup>1</sup>, 陈强<sup>1</sup>, 赵永昌<sup>2</sup>, 张金霞<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; <sup>2</sup>云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650223)

**摘要:** 【目的】调查云南主要野生食用菌中砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)的背景值, 研究不同种类野生食用菌的重金属富集规律, 为野生食用菌食品安全评估提供科学依据。【方法】在云南省 25 个县采集茶褐牛肝菌(*Boletus brunneissimus*)、皱皮疣柄牛肝菌(*Boletus duriusculus*)、美味牛肝菌(*Boletus edulis*)、白牛肝菌(*Boletus granulatus*)、灰褐牛肝菌(*Boletus griseus*)、华丽牛肝菌(*Boletus magnificus*)、鸡油菌(*Cantharellus cibarius*)、梭柄松苞菇(*Catathelasma ventricosum*)、变绿红菇(*Russula virescens*)、鸡枞菌(*Termitomyces albuminosus*)、干巴菌(*Thelephora ganbajun*)、松茸(*Tricholoma matsutake*)等 12 种野生食用菌共 165 个鲜样, 分别采用硝酸-高氯酸湿式消解法和高压消解法对 As、Cd、Hg、Pb 含量进行测定。【结果】不同种类的野生食用菌中 As、Cd、Hg、Pb 含量存在差异。其中, As 平均含量为 0.055—0.515 mg·kg<sup>-1</sup>, 最高的是松茸, 最低的是华丽牛肝菌; Cd 平均含量为 0.039—1.280 mg·kg<sup>-1</sup>, 最高的是鸡枞菌, 最低的是茶褐牛肝菌; Hg 平均含量为 0.015—0.608 mg·kg<sup>-1</sup>, 最高的是美味牛肝菌, 最低的是干巴菌; Pb 平均含量为 0.272—1.782 mg·kg<sup>-1</sup>, 最高的是鸡枞菌, 最低的是白牛肝菌。【结论】在这 12 种食用菌中, 不同种类的野生食用菌 As、Cd、Hg 和 Pb 含量存在显著差异。

**关键词:** 砷; 镉; 汞; 铅; 背景值; 食品安全

## Investigation on Heavy Metals of Main Wild Edible Mushrooms in Yunnan Province

HUANG Chen-yang<sup>1</sup>, CHEN Qiang<sup>1</sup>, ZHAO Yong-chang<sup>2</sup>, ZHANG Jin-xia<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

<sup>2</sup>Biotechnology and Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223)

**Abstract:** 【Objective】Background values of arsenic(As), cadmium (Cd), mercury (Hg) and lead (Pb) in main wild edible mushrooms in Yunnan province were investigated. Accumulation of heavy metal in different wild mushroom species were studied to provide a scientific basis for evaluation of the safety of the wild edible mushrooms. 【Method】 One hundred and sixty-five fresh samples, which belongs to 12 species, i.e. *Boletus brunneissimus*, *Boletus duriusculus*, *Boletus eduli*, *Boletus granulatus*, *Boletus griseus*, *Boletus magnificus*, *Cantharellus cibarius*, *Catathelasma ventricosum*, *Russula virescens*, *Termitomyces albuminosus*, *Thelephora ganbajun*, *Tricholoma matsutake*, were collected from 25 counties in Yunnan province. Nitric acid-perchloric acid wet digestion was used in determining the As, Cd and Pb, while Hg was determined by high pressure digestion. 【Result】 Significant differences were found in As, Cd, Hg and Pb among various species of wild edible mushrooms. The average As content ranged from 0.055 mg·kg<sup>-1</sup> in *B. magnificus* to 0.515 mg·kg<sup>-1</sup> in *T. matsutake*. The average Cd content ranged from 0.039 mg·kg<sup>-1</sup> in *B. brunneissimus* to 1.280 mg·kg<sup>-1</sup> in *T. albuminosus*. The average Hg content ranged from 0.015 mg·kg<sup>-1</sup> in *T. ganbajun* to 0.608 mg·kg<sup>-1</sup> in *B. edulis*. The average Pb content ranged from 0.272 mg·kg<sup>-1</sup> in *B. granulatus* to 1.782 mg·kg<sup>-1</sup> in *T. albuminosus*. 【Conclusion】 There were significant differences in As, Cd, Hg and Pb content among different species of wild edible mushrooms.

**Key words:** arsenic; cadmium; mercury; lead; background value; food safety

收稿日期: 2009-07-02; 接受日期: 2009-08-28

基金项目: 农业部“引进国际先进农业科学技术”项目(2006-G11)

作者简介: 黄晨阳, 助理研究员, 硕士。Tel: 010-82108692; E-mail: sdhcy@yahoo.com.cn。通信作者张金霞, 研究员, 博士。Tel: 010-82106207; E-mail: zhangjx1210@yahoo.com.cn

## 0 引言

【研究意义】重金属与人体健康密切相关。有毒重金属可通过食物、水、空气进入人体，干扰人体正常生理功能，危害人体健康。对人类健康造成危害的主要重金属是汞（Hg）、镉（Cd）、铅（Pb）、砷（As）<sup>[1]</sup>。食用菌富集重金属的特点已经引起人们关注<sup>[2-6]</sup>。中国拥有丰富的野生食用菌资源，并有悠久的采集食用野生食用菌的历史，已记录的野生食用菌达 938 种，采食的种类超过 200 种<sup>[7]</sup>。云南是中国野生食用菌种类和采集量最大的地区，已记录野生菌达 882 种，年发生量约 50 万 t（鲜重），目前每年的采集上市量 10 万 t 左右，野生菌占当地出口食用菌的 98% 以上<sup>[8]</sup>。野生食用菌 Hg、Pb 含量显著高于栽培食用菌<sup>[9-11]</sup>。野生食用菌中重金属含量因种类而异，另外，还受生长地土壤重金属含量的影响<sup>[12]</sup>。但是食用菌富集重金属的机理尚未完全明确。中国云南土壤中重金属背景值较高<sup>[13]</sup>，有关野生食用菌重金属含量的系统研究至今尚未见报道。因此，对云南野生食用菌的重金属调查有着特殊意义。【前人研究进展】Demirbaş<sup>[14-15]</sup>研究了 9 种食用菌在人工添加重金属的培养基上重金属含量变化规律。其中汞的含量变化最大，其次是铅和镉，但是改变添加铅的含量并没有导致食用菌中铅含量的显著性变化。Vetter<sup>[16]</sup>对 1984—1999 年采自匈牙利的 37 种食用菌中的砷含量进行测定，结果显示，分别属于伞菌科（Agaricaceae）、口蘑科（Tricholomataceae）和腹菌科（Gasteromycetaceae）的蘑菇属（Agaricus）、秃马勃属（Calvatia）、金钱菌属（Collybia）、蜡蘑属（Laccaria）、巨大马勃属（Langermannia）、香蘑属（Lepista）、马勃属（Lycoperdon）、大环柄菇属（Macrolepiota）等 8 个属的食用菌有富集砷的现象。在食木菌和菌根菌中没有检测到砷。Yamaç 等<sup>[17]</sup>对土耳其的 15 种野生食用菌中的 Pb、Cd、Zn、Fe、Mn、Cu、Cr 和 Ni 等 8 种金属进行测定，发现金属含量高于以往文献的研究结果，还发现在紫丁香蘑（Lepista nuda）、Gymnopus dryophilus、油黄口蘑（Tricholoma equestre）和毛头鬼伞（Coprinus comatus）中存在重金属富集现象。Isildak 等<sup>[18]</sup>对双孢蘑菇（Agaricus bisporus）、美味红菇（Russula delica）、棕灰口蘑（Tricholoma terreum）、褐绒盖牛肝菌（Boletus badius）、紫丁香蘑（Lepista nuda）、圆锥钟菌（Verpa conica）等 6 种野生食用菌和相应的土壤（0—10 cm）进行了 Cu、Pb、Fe、Zn、

Cd、Mn、Ni、Cr 和 Co 等重金属的测定，发现野生食用菌中 Zn、Cd、Cu、Fe 和 Pb 等重金属含量与土壤中的含量存在不同程度的相关性。【本研究切入点】本调查自云南省西北到东南，贯穿野生食用菌主产区的 10 个市（州）25 个县，进行 12 种野生食用菌的 As、Cd、Hg、Pb 检测，以了解中国主要采集食用野生食用菌种类的重金属含量差异、不同种类各种重金属含量之间的关系。【拟解决的关键问题】通过本项较系统的调查分析，以期明确中国野生食用菌重金属的背景值，为野生食用菌食品安全的风险评估和资源利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及其来源

2005—2007 年在云南省 10 个市（州）25 个县采集 12 种野生食用菌鲜品，共计 165 个（表 1）。

### 1.2 样本的前处理和测定方法

采集的新鲜样品，去除表面杂物后用符合 QB 1014—1991 规定的食品包装纸包装，密闭运输。测定之前洗净匀浆。此后按照表 2 方法进行样品处理和测定。

### 1.3 统计分析

应用 SPSS 12.0 统计分析软件的单因素方差分析（One-Way ANOVA）进行方差分析。多重比较采用最小显著差数法（LSD）。相关分析采用双变量的相关分析（bivariate correlations），计算秩相关系数（Spearman）。

## 2 结果

### 2.1 野生食用菌不同种类间砷含量差异

本项调查的野生食用菌全部是共生菌。这 12 种野生食用菌中，As 平均含量最低是华丽牛肝菌，为 0.055 mg·kg<sup>-1</sup>，最高的是松茸，为 0.515 mg·kg<sup>-1</sup>。统计分析结果表明，松茸与其它 11 种食用菌 As 含量存在显著差异（ $P < 0.05$ ）；茶褐牛肝菌、皱皮疣柄牛肝菌、美味牛肝菌、白牛肝菌、灰褐牛肝菌、华丽牛肝菌、鸡油菌、梭柄松苞菇、变绿红菇、鸡枞菌的 As 含量为 0.055—0.136 mg·kg<sup>-1</sup>，相互之间无显著差异；鸡枞菌与干巴菌间 As 含量分别为 0.215 和 0.316 mg·kg<sup>-1</sup>，两者之间无显著差异（图）。

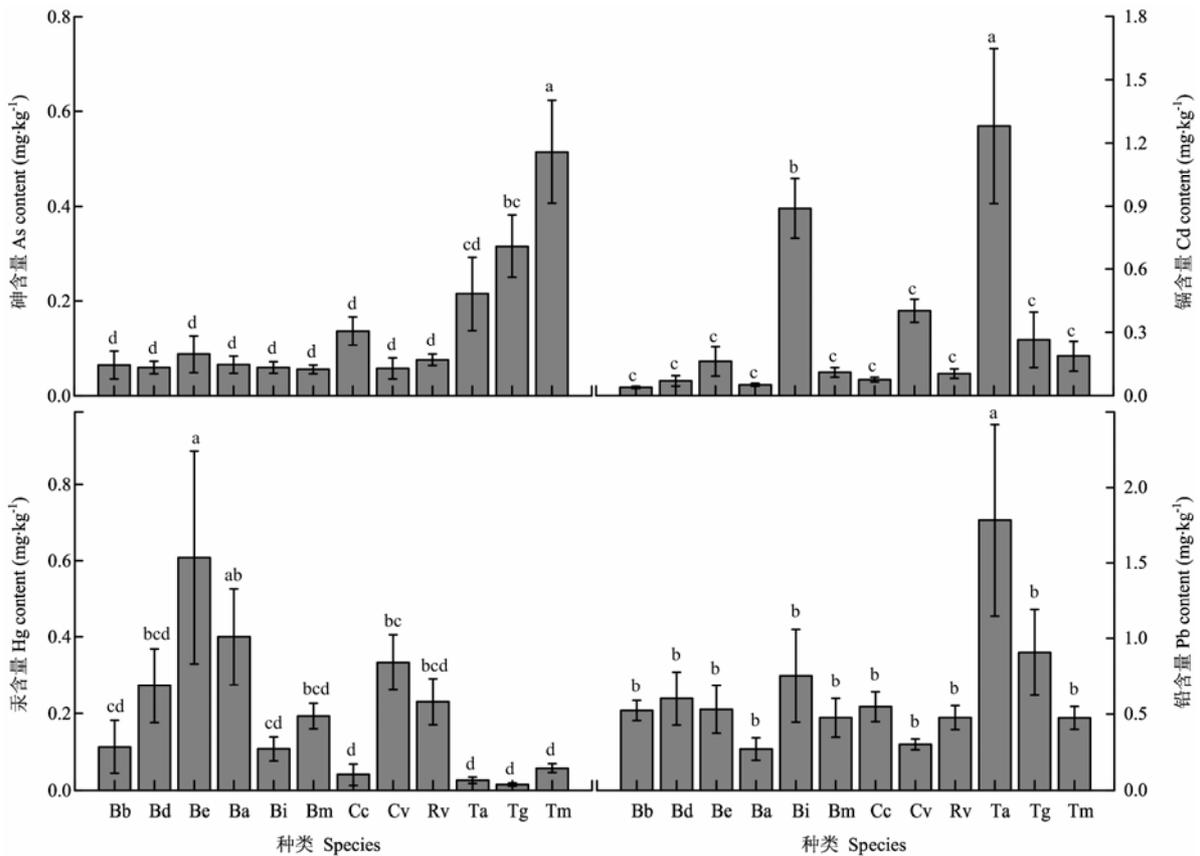
### 2.2 野生食用菌不同种类间镉含量差异

12 种野生食用菌中，Cd 平均含量最低是茶褐牛肝菌，为 0.039 mg·kg<sup>-1</sup>，最高的是鸡枞菌，为 1.280 mg·kg<sup>-1</sup>。

表 1 样品种类及其采集地

Table 1 Species and sampling sites of the samples

种类 Species	样品数 Number of samples	采集地 Sampling sites
茶褐牛肝菌 <i>Boletus brunneissimus</i>	6	昆明市、红河州、楚雄州 Kunming, Honghe, Chuxiong
皱皮疣柄牛肝菌 <i>Boletus duriusculus</i>	17	楚雄州、昆明市、玉溪市、保山市、红河州 Chuxiong, Kuming, Yuxi, Baoshan, Honghe
美味牛肝菌 <i>Boletus edulis</i>	8	楚雄州、玉溪市、大理州、文山州 Chuxiong, Yuxi, Dali, Wenshan
白牛肝菌 <i>Boletus granulatus</i>	11	楚雄州、玉溪市、曲靖市、丽江市 Chuxiong, Yuxi, Qujing, Lijiang
灰褐牛肝菌 <i>Boletus griseus</i>	14	昆明市、楚雄州、玉溪市、文山州、红河州 Kunming, Chuxiong, Yuxi, Wenshan, Honghe
华丽牛肝菌 <i>Boletus magnificus</i>	20	昆明市、玉溪市、楚雄州、大理州、文山州、丽江市 Kunming, Yuxi, Chuxiong, Dali, Wenshan, Lijiang
鸡油菌 <i>Cantharellus cibarius</i>	17	昆明市、楚雄州、玉溪市、大理州、保山市、文山州、丽江市 Kunming, Chuxiong, Yuxi, Dali, Baoshan, Wenshan, Lijiang
梭柄松苞菇 <i>Catathelasma ventricosum</i>	15	楚雄州、玉溪市、昆明市、丽江市、迪庆州、文山州 Chuxiong, Yuxi, Kunming, Lijiang, Diqing, Wenshan
变绿红菇 <i>Russula virescens</i>	23	昆明市、楚雄州、玉溪市、丽江市、文山州、红河州 Kunming, Chuxiong, Yuxi, Lijiang, Wenshan, Honghe
鸡枞菌 <i>Termitomyces albuminosus</i>	13	楚雄州、昆明市、玉溪市、丽江市、保山市、文山州 Chuxiong, Kunming, Yuxi, Lijiang, Baoshan, Wenshan
干巴菌 <i>Thelephora ganbajun</i>	10	昆明市、楚雄州、玉溪市 Kunming, Chuxiong, Yuxi
松茸 <i>Tricholoma matsutake</i>	11	楚雄州、丽江市、昆明市、玉溪市、迪庆州 Chuxiong, Lijiang, Kunming, Yuxi, Diqing
总计 Total	165	



Bb: *Boletus brunneissimus*; Bd: *Boletus duriusculus*; Be: *Boletus edulis*; Ba: *Boletus granulatus*; Bi: *Boletus griseus*; Bm: *Boletus magnificus*; Cc: *Cantharellus cibarius*; Cv: *Catathelasma ventricosum*; Rv: *Russula virescens*; Ta: *Termitomyces albuminosus*; Tg: *Thelephora ganbajun*; Tm: *Tricholoma matsutake*

图 12 种野生食用菌中 As、Cd、Hg、Pb 平均含量

Fig. The average As, Cd, Hg, Pb contents in twelve species of wild edible mushrooms

表 2 样品处理及重金属测定方法

Table 2 Methods for sample treatments and heavy metal analysis

项目 Items	处理方法 Sample treatment methods	测定方法 Analysis methods
As	硝酸-高氯酸湿式消解法 Nitric acid-perchloric acid wet digestion	GB/T 5009.11—2003
Cd	硝酸-高氯酸湿式消解法 Nitric acid-perchloric acid wet digestion	GB/T 5009.15—2003
Hg	高压消解法 High pressure digestion	GB/T 5009.17—2003
Pb	硝酸-高氯酸湿式消解法 Nitric acid-perchloric acid wet digestion	GB/T 5009.12—2003

统计分析结果表明, 鸡枞菌 Cd 含量显著高于灰褐牛肝菌和其它 10 种类 ( $P < 0.05$ )。灰褐牛肝菌 Cd 含量为  $0.890 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 与其余的 10 种食用菌的 Cd 含量存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 茶褐牛肝菌、皱皮疣柄牛肝菌、美味牛肝菌、白牛肝菌、华丽牛肝菌、鸡油菌、梭柄松苞菇、变绿红菇、干巴菌、松茸之间 Cd 含量无显著差异含量为  $0.039\text{—}0.402 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (图)。

### 2.3 野生食用菌不同种类间汞含量差异

12 种野生食用菌中, Hg 平均含量最低是干巴菌, 为  $0.015 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 最高的是美味牛肝菌, 为  $0.608 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。统计分析结果表明, 美味牛肝菌除与白牛肝菌之间 Hg 含量无显著差异, 显著高于其它 10 个种类 ( $P < 0.05$ )。白牛肝菌、鸡油菌、皱皮疣柄牛肝菌、华丽牛肝菌、变绿红菇之间 Hg 含量无显著差异; 茶褐牛肝菌、皱皮疣柄牛肝菌、灰褐牛肝菌、华丽牛肝菌、梭柄松苞菇、变绿红菇之间 Hg 含量无显著差异; 茶褐牛肝菌、皱皮疣柄牛肝菌、灰褐牛肝菌、华丽牛肝菌、鸡油菌、变绿红菇、鸡枞菌、干巴菌、松茸之间 Hg 含量无显著差异 (图)。

### 2.4 野生食用菌不同种类间铅含量差异

12 种野生食用菌中, Pb 平均含量最低的是白牛肝菌, 为  $0.272 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 最高的是鸡枞菌, 为  $1.782 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。统计分析结果表明, 茶褐牛肝菌、皱皮疣柄牛肝菌、美味牛肝菌、白牛肝菌、灰褐牛肝菌、华丽牛肝菌、鸡油菌、梭柄松苞菇、变绿红菇、干巴菌、松茸 Pb 含量为  $0.272\text{—}0.907 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 相互之间无显著差异; 鸡枞菌与其它 11 种食用菌有显著差异 ( $P < 0.05$ ) (图)。

### 2.5 重金属元素含量间的相关分析

对野生食用菌中重金属作了 Spearman 相关系数计算, 结果表明, As 和 Pb 存在低度正相关, 相关系数为  $0.385$  ( $P < 0.01$ ); As 和 Cd、Cd 和 Pb 存在微弱正相关, 相关系数分别为  $0.206$  和  $0.227$  ( $P < 0.01$ )。

## 3 讨论

1973 年 Stegnar 等研究发现在受汞污染的地区, 网纹马勃 (*Lycoperdon perlatum*)、毛柄库恩菌 (*Kuehneromyces mutabilis*) 等野生菌中汞含量显著高于其所生长的土壤中 Hg 含量<sup>[2]</sup>, 食用菌富集重金属开始被人们所关注。野生食用菌的重金属来源于空气、水和基质 (包括土壤和宿主)。随着人类活动的加剧, 在金属矿床开发、城市化、固体废弃物堆积以及为提高农业生产而施用化肥、农药、污泥及污水灌溉过程中, 使重金属在土壤中大量积累<sup>[19]</sup>。

食用菌对重金属的富集作用首先表现在细胞表面的被动吸附。其次, 真菌细胞内普遍存在的一些金属硫蛋白, 能结合进入细胞内的重金属离子, 使其以不具有生物活性的无毒的螯合物形式存在, 降低金属离子的活性从而起到减轻或解除毒害的作用<sup>[20-21]</sup>。从而导致食用菌体内虽然富集了较多的重金属, 但并未产生生物毒害作用。从总体水平上看, 食用菌体内 As、Hg、Cd、Pb 都高于绿色植物, 但是不同种类、同种内不同菌株间、同一个体不同部位之间的重金属的富集程度和含量都有差异<sup>[8]</sup>。

本试验显示松茸 As 含量较高, 但这些 As 绝大多数处于有机状态, 人们日常消费的这类食用菌的量都比较低, As 中毒的危险可以忽略不计<sup>[15]</sup>。

对于 Hg 含量影响因子中, 交通因子并不重要, Alonso 等<sup>[9]</sup>比较在污染区与非污染区的 41 个食用菌样品的 Hg 的含量, 结果是没有显著差异, 因为 Hg 能随空气有效的散播, 这造成在偏远的未污染区的野生菌中 Hg 的含量也较高。同时发现, 子实层通常比子实体其它部位的 Hg 含量高。但 Vetter 和 Berta<sup>[10]</sup>研究表明, 栽培的双孢蘑菇中子实体不同部位中 Hg 含量并没有显著差异。在本研究中 12 种野生食用菌中有 7 种 Hg 含量较高, 云南是中国 Hg 矿主要产地之一, 可能与 Hg 随空气传播有关。

在 Pb 含量影响因子中, 交通污染因子最重要,

García 等<sup>[22]</sup>检测的 95 个样品中, 来自城市中的样品 Pb 含量最高。另外, García 等<sup>[22]</sup>研究的 55 个样品, 子实层比子实体其它部位的 Pb 含量高。García 等<sup>[11]</sup>研究表明, 在双孢蘑菇等食用菌的子实体不同部位 Pb 含量并没有显著差异。

鸡枞菌中的 Cd 和 Pb 高含量可能与它的生物习性有关, 鸡枞菌与白蚁共生, 鸡枞菌的 As、Cd、Hg、Pb 含量与白蚁菌圃中的这 4 类金属含量密切相关, 黄瑞松等<sup>[23]</sup>研究结果表明, 12 批土垠大白蚁菌圃 As 含量为 0.14—0.82 mg·kg<sup>-1</sup>, Cd 含量为 0.11—0.40 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg 含量为 0.05—0.52 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb 含量为 6.0—19.1 mg·kg<sup>-1</sup>, 较土壤的自然本底值高出很多。

国外对野生食用菌中重金属的研究已有报导。本试验结果显示, 美味牛肝菌的 As、Cd、Hg、Pb 平均含量分别为 0.087、0.161、0.608 和 0.531 mg·kg<sup>-1</sup>, 分别是 Cocchi 等<sup>[24]</sup>研究结果的 87%、4%、23%和 44%; 鸡油菌的 As、Cd、Hg、Pb 平均含量分别为 0.136、0.075、0.041 和 0.548 mg·kg<sup>-1</sup>, 其中 As、Hg、Pb 与 Pelkonen 等<sup>[25]</sup>研究结果相当, 分别是 Cocchi 等<sup>[24]</sup>研究结果的 136%、18%、25%和 48%。

## 4 结 论

不同种类的野生食用菌重金属含量存在显著差异。在测定的 12 种野生食用菌中松茸中 As 含量显著高于其它种类。鸡枞菌中 Cd 和 Pb 含量显著高于其它种类。美味牛肝菌除与白牛肝菌之间 Hg 含量无显著差异, 显著高于其它 10 个种类。

本研究选取的 12 种野生食用菌, 是云南当地消费和出口的主要种类, 来自不同地域, 对于调查野生食用菌的重金属背景值具较好的代表性, 为野生食用菌的食品安全风险、重金属富集生物资源的筛选、生态风险评估和环境监测等积累了重要的基础数据。然而, 对于野生食用菌重金属积累与土壤中金属含量的关系尚需进一步研究分析。

## References

- [1] Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 2003, 68: 167-182.
- [2] Stegnar P, Kosta L, Byrne A R, Ravnik V. The accumulation of mercury by, and the occurrence of methyl mercury in some fungi. *Chemosphere*, 1973, 2: 57-63.
- [3] Byrne A R, Tušek-Žnidarič M. Studies of the uptake and binding of trace metals in fungi. Part I: Accumulation and characterization of

- mercury and silver in the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*. *Applied Organometallic Chemistry*, 1990, 4: 43-48.
- [4] Kalač P, Svoboda L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 2000, 69: 273-281.
- [5] Baldrian P. Interactions of heavy metals with white-rot fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 2003, 32: 78-91.
- [6] Borchers A T, Keen C L, Gershwin M E. Mushrooms, tumors, and immunity: An update. *Experimental Biology and Medicine*, 2004, 229: 393-406.
- [7] 卯晓岚. 中国食用菌物种资源回顾与展望. *中国食用菌*, 2000, 19(增): 9-13.  
Mao X L. Review and prospects of mushroom resources in China. *Edible Fungi of China*, 2000, 19 (Suppl. ): 9-13. (in Chinese)
- [8] 黄兴奇. 云南作物种质资源. 昆明: 云南科技出版社, 2007.  
Huang X Q. *Yunnan Crop Germplasm Resources*. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2007. (in Chinese)
- [9] Alonso J, Salgado M J, García M A, Melgar M J. Accumulation of mercury in edible macrofungi: Influence of some factors. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, 38: 158-162.
- [10] Vetter J, Berta E. Mercury content of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus*. *Food Control*, 2005, 16: 113-116.
- [11] García M Á, Alonso J, Melgar M J. Lead in edible mushrooms levels and bioaccumulation factors. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 167: 777-783.
- [12] 黄晨阳, 张金霞. 食用菌重金属富集研究进展. *中国食用菌*, 2003, 23(4): 7-9.  
Huang C Y, Zhang J X. Studies on heavy metal accumulation in edible mushroom. *Edible Fungi of China*, 2004, 23(4): 7-9. (in Chinese)
- [13] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 1-501.  
China National Environmental Monitoring Centre. *Background Value of Soil Element in China*. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 1-501. (in Chinese)
- [14] Demirbaş A. Heavy metal bioaccumulation by mushrooms from artificially fortified soils. *Food Chemistry*, 2001, 74: 293-301.
- [15] Demirbaş A. Metal ion uptake by mushrooms from natural and artificially enriched soils. *Food Chemistry*, 2002, 78: 89-93.
- [16] Vetter J. Arsenic content of some edible mushroom species. *European Food Research and Technology*, 2004, 219: 71-74.
- [17] Yamaç M, Yildiz D, Sarıkürkcü C, Çelikkollu M, Solak M H. Heavy metals in some edible mushrooms from the Central Anatolia, Turkey. *Food Chemistry*, 2007, 103: 263-267.
- [18] Isildak O, Turkecul I, Elmastas M, Aboul-Enein H Y.

- Bioaccumulation of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms. *Analytical Letters*, 2007, 40: 1099-1116.
- [19] 贾广宁. 重金属污染的危害与防治. 有色矿冶, 2004, 20(1): 39-42.
- Jia G N. Harm and defense of heavy metals. *Non-ferrous Mining and Metallurgy*, 2004, 20(1): 39-42. (in Chinese)
- [20] Gadd G M. Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytologist*, 1993, 124: 25-60.
- [21] 张晓柠, 兰 进. 食药菌重金属富集机理及应用研究进展. 时珍国医国药, 2006, 17(12): 2593-2594.
- Zhang X N, Lan J. Heavy metals accumulation mechanism of medicinal and edible mushrooms and their application. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2006, 17(12): 2593-2594. (in Chinese)
- [22] García M A, Alonso J, Fernández M I, Melgar M J. Lead content in edible wild mushrooms in northwest Spain as indicator of environmental contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1998, 34: 330-335.
- [23] 黄瑞松, 陈广林, 吴祖军, 孔桂豪, 苏 青, 江永红, 吴 训. 广西产土垠大白蚁菌圃中几种重金属的含量测定. 广西医科大学学报, 2006, 23(6): 887-889.
- Huang R S, Chen G L, Wu Z J, Kong G H, Su Q, Jiang Y H, Wu X. Determination of heavy metals in fungus gardens of *Macrotermes annadalei* in Guangxi. *Journal of Guangxi Medical University*, 2006, 23(6): 887-889. (in Chinese)
- [24] Cocchi L, Vescovi L, Petrini L E, Petrini O. Heavy metals in edible mushrooms in Italy. *Food Chemistry*, 2006, 98: 277-284.
- [25] Pelkonen R, Alfthan G, Järvinen O. Cadmium, lead, arsenic and nickel in wild edible mushrooms// Finnish Environment Institute. *The Finnish Environment*. Helsinki: Ministry of Environment, Finland, 2006.

(责任编辑 曲来娥)