

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20150531003

杨天伟, 张霁, Jerzy Falandysz, 等. 云南疣柄牛肝菌属真菌中汞含量及食用健康风险分析[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(3): 348-355

Yang T W, Zhang J, Falandysz J, et al. Mercury content in *Leccinum* fungi and its health risk associated with food intake in Yunnan Province [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11(3): 348-355 (in Chinese)

云南疣柄牛肝菌属真菌中汞含量及食用健康风险分析

杨天伟^{1,2}, 张霁², Jerzy Falandysz³, Grażyna Krasińska³, Martyna Saba³, 王元忠^{2,*}

1. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201
2. 云南省农业科学院药用植物研究所, 昆明 650200
3. 格但斯克大学, 波兰格但斯克 80-308

收稿日期: 2015-05-31 录用日期: 2015-08-24

摘要: 汞(Hg)对人类健康有明显的毒害作用,多数野生食用菌对Hg有很强的富集能力,测定野生食用菌中总Hg含量,并对其进行食用安全评估有重要意义。采用冷原子吸收光谱法测定云南常见疣柄牛肝菌属真菌菌盖、菌柄中总汞(Hg)含量,分析样品对Hg的富集特征;以FAO/WHO现行每周Hg允许摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)标准,评估疣柄牛肝菌属真菌的食用安全性。结果显示,不同产地、种类及不同采集时间疣柄牛肝菌属真菌的总Hg含量差异明显,菌盖中总Hg含量在0.54~4.80 mg·kg⁻¹ dw之间,菌柄总Hg含量在0.32~2.80 mg·kg⁻¹ dw之间,同一种牛肝菌菌盖总Hg含量均大于菌柄(Q_{CS}>1),表明疣柄牛肝菌属真菌对Hg的积累量与生长环境、种类、部位等有关。根据FAO/WHO暂行的每周Hg允许摄入量标准(0.004 mg·kg⁻¹ bw),成年人(60 kg)每周食用300 g(鲜重)采自云南的疣柄牛肝菌属真菌,Hg摄入量远低于PTWI标准,对人体Hg暴露风险较低。

关键词: 重金属;汞;疣柄牛肝菌属;食用菌;健康风险;云南

文章编号: 1673-5897(2016)3-348-08 中图分类号: TS201.2; X171.5 文献标识码: A

Mercury Content in *Leccinum* Fungi and Its Health Risk Associated with Food Intake in Yunnan Province

Yang Tianwei^{1,2}, Zhang Ji², Jerzy Falandysz³, Grażyna Krasińska³, Martyna Saba³, Wang Yuanzhong^{2,*}

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. University of Gdańsk, Gdańsk 80-308, Poland

Received 31 May 2015 accepted 24 August 2015

Abstract: Mercury (Hg) is toxic to human health. Many wild-grown edible mushrooms accumulate considerable levels of Hg, and therefore it is important to determine and assess Hg content in wild-grown edible mushrooms. Total Hg in caps and stipes of common *Leccinum* fungi from Yunnan Province was determined by cold-vapour atomic absorption spectroscopy to assess the Hg accumulation characteristics of the mushrooms. The potential risk of the samples was assessed according to Hg provisional tolerable weekly intake (PTWI) recommended by the United Na-

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260496, 31460538); 波兰国家科学中心项目(UMO-2011/03/N/NZ9/04136)

作者简介: 杨天伟(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向为野生食用菌资源评价与应用, E-mail: yangtianweizj@126.com

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: yzwang1981@126.com

tions Food and Agriculture Organization and the World Health Organization (FAO/WHO). The results showed that there were obvious differences in total Hg contents in different samples. The total Hg contents in the caps and stipes were 0.54-4.80 mg·kg⁻¹ dry weight (dw) and 0.32-2.80 mg·kg⁻¹ dw, respectively. The values of the cap and stipe total Hg content ratio ($Q_{(CS)}$) of the samples from the same area were greater than 1 in all samples. These results reflected that the total Hg contents in *Leccinum* species might be related to environment, mushroom species, part of the fruiting body and other factors. According to the PTWI, if adults (60 kg) eat 300 g fresh *Leccinum* mushrooms a week, which is from Yunnan Province, Hg intakes of all samples were below the acceptable intake and Hg exposure risk to the human body is relatively low.

Keywords: heavy metal; Hg; *Leccinum*; edible mushrooms; health risk; Yunan Province

食品安全是全社会关注的焦点问题,食品中汞(Hg)、铅(Pb)、砷(As)、镉(Cd)等重金属超标是威胁人类健康的原因之一^[1-3]。Hg是重金属元素中毒性系数最大的元素^[4-5],对生物体有显著毒害作用,Hg可以通过人类活动或自然界释放到土壤、大气、水等环境中,极易通过食物链、呼吸道、皮肤接触等进入人体^[6-8]。Hg在人体内长期蓄积会引起神经系统、肾脏、肝脏等器官损伤^[9-10]。

野生食用菌风味独特,营养丰富,含蛋白质、多糖、氨基酸、矿质元素、维生素等多种营养物质,具有较高的食药价值,深受消费者喜爱^[11-13]。研究显示野生食用菌中矿质元素含量高于一般蔬菜和栽培菌,可作为多种人体必需矿质元素的重要来源^[13-14],然而部分食用菌对有毒重金属的富集能力较强,尤其对Hg的富集作用明显,对消费者有潜在风险^[15]。云南气候独特,植被丰富多样,为野生菌提供了适宜的生长环境,是我国野生食用菌种类最多、产量最高的地区之一^[16]。疣柄牛肝菌属(*Leccinum*)是野生牛肝菌的重要类群,其中皱盖疣柄牛肝菌(*Leccinum rugosiceps*)、远东疣柄牛肝菌(*Leccinum extremiorientale*)等疣柄牛肝菌属真菌是人们采食和交易的主要牛肝菌种类之一^[16-17]。然而,部分牛肝菌的毒性及潜在毒性,会对消费者身体健康造成危害,因此分析测定疣柄牛肝菌属真菌中总Hg含量及食用安全评价具有实际意义。

本文采用冷原子吸收光谱,MA-2000测汞仪测定了采自云南不同产地、不同年份疣柄牛肝菌属真菌中总Hg含量,根据联合国粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)规定的每周Hg允许摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)标准^[18]评价疣柄牛肝菌属的食用安全性;为云南常见疣柄牛肝菌属真菌的食用安全评估提供数据依据。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 仪器及原理

冷原子吸收光谱(CV-AAS),MA-2000测汞仪(日本NIC公司)。样品在燃烧炉内经高温加热和催化剂的作用下将的Hg转化为Hg蒸气,然后由金丝捕汞管吸附热解气中的Hg,最后通过快速加热金汞齐管,使其瞬间释放吸附的Hg蒸气,并随载气进入吸收池测定样品的Hg含量。该方法将样品热分解、金汞齐反应、分析测定等过程集于同一仪器中完成,具有无需样品前处理、无损失、低污染、简便快速等优点。

1.2 实验材料

本文采集了云南18个地区,6种常见的疣柄牛肝菌属真菌,共21个居群;采样点基本覆盖了云南野生菌最丰富的滇中、滇东和滇西地区,同时皱盖疣柄牛肝菌,远东疣柄牛肝菌等为最常见的疣柄牛肝菌属真菌,具有代表性,样品采集时间、地点等详细信息见表2。牛肝菌样品采集后由云南农业大学刘鸿高教授鉴定物种;然后用塑料刀刮去泥土、枯枝等杂物,用超纯水洗净,50℃烘干,菌盖、菌柄分开粉碎过80目筛,备用。10 mg·mL⁻¹ Hg标准储备液;标准物质包括褐疣柄牛肝菌(*Leccinum scabrum*):CS-M-4;波兰香草混合物:INCT-MPH-2;茶叶:INCT-TL-1,均购于波兰核化学技术研究所。

1.3 样品测定

将10 mg·mL⁻¹ Hg标准储备液配制为1.0 mg·mL⁻¹ Hg标准溶液,分别取0、50、100、200、500 μL,1.0 mg·mL⁻¹的Hg标准溶液按顺序置于样品舟中,测定Hg含量,建立标准曲线。

将牛肝菌样品置于样品舟中,在850℃条件下加热,使牛肝菌样品中不同形态的Hg以气态形式释放出来,通过催化反应,将不同形态的Hg蒸气转化为气态Hg原子,通过金汞齐化反应吸附牛肝菌

样品的总 Hg, 然后快速加热金丝捕汞管, 使吸附的 Hg 瞬间释放, 随载气进入吸收池测定含量^[19]。CV-AAS 测定条件为: 双光束原子吸收检测器, 每个样品测定时间为 7 min, 测定波长为 253.7 nm。每个样品重复测定 2 次, 取平均值。该方法的检出限为 $0.001 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 定量限为 $0.003 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。仪器测定样品过程中会根据样品中 Hg 含量高低, 自动选择不同量程的标准曲线进行拟合, 低浓度测量范围是 $0.000 \sim 15.000 \text{ ng}$, 相关系数 $r=0.9982$, 高浓度测定范围是 $0.000 \sim 180.000 \text{ ng}$, 相关系数 $r=0.9996$, 表明该方法测量范围较广。为了验证该方法可靠性和准确性, 实验过程中测定 3 种已知 Hg 含量的标准物质, 同时每测定 6 个样品设置 1 个空白样品以减小或消除不同样品间的干扰和仪器对高含量样品的记忆性^[19-20]。

1.4 数据分析

根据联合国粮农组织和世界卫生组织 (FAO/WHO) 规定的每周 Hg 允许摄入量 (provisional tolerable weekly intake, PTWI) 标准评价疣柄牛肝菌食用安全性。

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 标准物质的 Hg 含量

表 1 为冷原子吸收光谱, MA-2000 测汞仪测定 3 种已知总 Hg 含量的标准物质的结果, 3 种标准物质测定值均在标准值范围内, 且与标准值无限接近。标准物质 CS-M-4 重复测定 11 次, 平均含量与标准值差异较小; 标准物质 INCT-MPH-2 重复测定 3 次的平均值与标准值十分接近, 表明该方法稳定、可行。

2.2 疣柄牛肝菌属真菌中总 Hg 含量分析

表 2 为疣柄牛肝菌属真菌中总 Hg 含量测定结果。由表 2 可知不同产地、不同种类及不同采集时间疣柄牛肝菌属真菌中总 Hg 含量差异明显; 菌盖中总 Hg 含量最高的是 2011 年采自昆明五华区的红疣柄牛肝菌, 为 $4.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dry weight (dw)}$, 含量最低的是 2012 年采自迪庆普达措的异色疣柄牛肝菌, 为 $0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$, 最大值是最小值的 8.9 倍。菌柄中总 Hg 含量在 $0.32 \sim 2.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$ 之间, 最高的是 2012 年采自玉溪江川的红疣柄牛肝菌, 最低的是 2014 年采自玉溪峨山的远东疣柄牛肝菌。Falandyisz 等^[21]测定不同产地不同年份褐疣柄牛肝菌 (*Leccinum scabrum*) 菌盖总 Hg 含量在 $0.072 \sim 2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$ 之间, 菌柄总 Hg 含量在 $0.028 \sim 1.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$ 之间, 本实验样品中 Hg 的最低含量和最高含量均大于褐疣柄牛肝菌的含量。与 Falandyisz 等^[22]测定的红褐疣柄牛肝菌 (*Leccinum rufum*) 总 Hg 含量 (菌盖 $0.29 \sim 2.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$, 菌柄 $0.062 \sim 1.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$) 相比, 本实验测定样品菌盖中总 Hg 含量最低值和最高值是其 2 倍, 菌柄含量是其 5.1 倍和 1.5 倍。

2.3 同一物种不同产地牛肝菌样品总 Hg 含量分析

以皱盖疣柄牛肝菌样品为例, 分析不同产地牛肝菌样品对总 Hg 的富集特征; 由图 1、表 2 可知不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌盖总 Hg 含量介于 $2.1 \sim 4.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$ 之间, 2011 年采自普洱思茅地区、昆明富民及 2012 年采自大理弥渡、昆明安宁的皱盖疣柄牛肝菌菌盖中总汞含量较高, 均在 $4.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 与其余样品菌盖的总汞含量具有显著差异 ($P < 0.05$)。菌柄总 Hg 含量在 $0.56 \sim 2.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dw}$ 之

表 1 标准物质 Hg 含量测定结果

Table 1 The results of total Hg contents in the certified reference materials

编号 No.	标准物质 Reference materials	标准值/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Standard values/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	测定值/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Estimated value/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
CS-M-4	褐疣柄牛肝菌 <i>Leccinum scabrum</i>	0.465 ± 0.024	$0.449 \pm 0.026, n=11$
INCT-MPH-2	波兰香草混合物 Mixture of Polish herbs	0.018 ± 0.002	$0.0183 \pm 0.002, n=3$
INCT-TL-1	茶叶 Tea leaves	0.0050 ± 0.0007	$0.0045 \pm 0.00053, n=3$

注: n 为平行测定次数。

Note: n is number of parallel determination.

表2 疣柄牛肝菌属真菌中总Hg含量,菌盖与菌柄含量比及Hg摄入量估计
Table 2 The total Hg contents in *Leccinum* mushrooms, cap to stipe concentration quotient ($Q_{(CS)}$) and Hg intake estimates

编号 No.	名称 Name	产地 Origins	采集时间 Acquisition time	子实体数 Number of fruiting body		Hg/(mg·kg ⁻¹ dw)		$Q_{(CS)}$	Hg摄入量/mg*	
				菌盖 Cap	菌柄 Stipe	菌盖 Cap	菌柄 Stipe		菌盖 Cap	菌柄 Stipe
1	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	曲靖会泽 Huize, Qujing	2011	10	1.4	3.3	1.4	2.36	0.099	0.042
2	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	玉溪易门 Yimen, Yuxi	2011	10	0.75	2.1	0.75	2.8	0.063	0.023
3	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	普洱思茅区 Simao region, Puer	2011	10	1.7	4.7	1.7	2.76	0.141	0.051
4	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	昆明富民 Fumin, Kunming	2011	10	0.68	4.2	0.68	6.18	0.126	0.02
5	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	红河石屏 Shiping, Honghe	2012	10	1.4	3.1	1.4	2.21	0.093	0.042
6	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	大理弥渡 Midu, Dali	2012	10	1	4.2	1	4.2	0.126	0.03
7	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	昆明安宁 Anning, Kunming	2012	10	2.1	4.2	2.1	2	0.126	0.063
8	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	迪庆维西 Weixi, Diqing	2012	7	2.7	3.4	2.7	1.26	0.102	0.081
9	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	昆明石林 Shilin, Kunming	2012	8	0.79	2.8	0.79	3.54	0.084	0.024
10	皱盖疣柄牛肝菌 <i>Leccinum rugosiceps</i>	楚雄元谋 Yuanmou, Chuxiong	2012	7	0.56	2.7	0.56	4.82	0.081	0.017
11	远东疣柄牛肝菌 <i>Leccinum extremorientale</i>	玉溪峨山 Eshan, Yuxi	2014	11	0.32	2.8	0.32	8.75	0.084	0.0096

续表2

编号 No.	名称 Name	产地 Origins	采集时间 Acquisition time	子实体数 Number of fruiting body		Hg/(mg·kg ⁻¹ dw)		Hg摄入量/mg* Hg intake/mg*	
				菌盖 Cap	菌柄 Stipe	菌盖 Cap	菌柄 Stipe	菌盖 Cap	菌柄 Stipe
12	远东疣柄牛肝菌 <i>Leccinum extremiorientale</i>	玉溪九龙池 Jiulongchi, Yuxi	2013	9	2.1	3	1.43	0.09	0.063
13	远东疣柄牛肝菌 <i>Leccinum extremiorientale</i>	玉溪黄草坝 Huangcaoba, Yuxi	2013	12	1.3	3.5	2.69	0.105	0.039
14	远东疣柄牛肝菌 <i>Leccinum extremiorientale</i>	楚雄南华 Nanhua, Chuxiong	2013	10	0.83	2.2	2.65	0.066	0.025
15	红疣柄牛肝菌 <i>Leccinum chromapes</i>	玉溪江川 Jiangchuan, Yuxi	2012	7	2.8	4.1	1.46	0.123	0.084
16	红疣柄牛肝菌 <i>Leccinum chromapes</i>	昆明富民 Fumin, Kunming	2011	10	0.85	2.6	3.06	0.078	0.026
17	红疣柄牛肝菌 <i>Leccinum chromapes</i>	昆明五华区 Wuhua region, Kunming	2011	10	1.4	4.8	3.43	0.144	0.042
18	灰疣柄牛肝菌 <i>Leccinum griseum</i>	昆明五华区 Wuhua region, Kunming	2011	7	0.83	3.6	4.34	0.108	0.025
19	灰疣柄牛肝菌 <i>Leccinum griseum</i>	楚雄武定 Wuding, Chuxiong	2011	10	0.7	3.2	4.57	0.096	0.021
20	异色疣柄牛肝菌 <i>Leccinum versipelle</i>	迪庆普达措 Pudacu, Diqing	2012	7	0.43	0.54	1.26	0.016	0.013
21	黑鳞疣柄牛肝菌 <i>Leccinum atrospiatium</i>	迪庆普达措 Pudacu, Diqing	2012	7	0.7	1.1	1.57	0.033	0.021

注：“*”指食用300g新鲜牛肝菌所摄入的Hg。

Note：“*” is Hg intake estimates when consumption of 300 g fresh boletes.

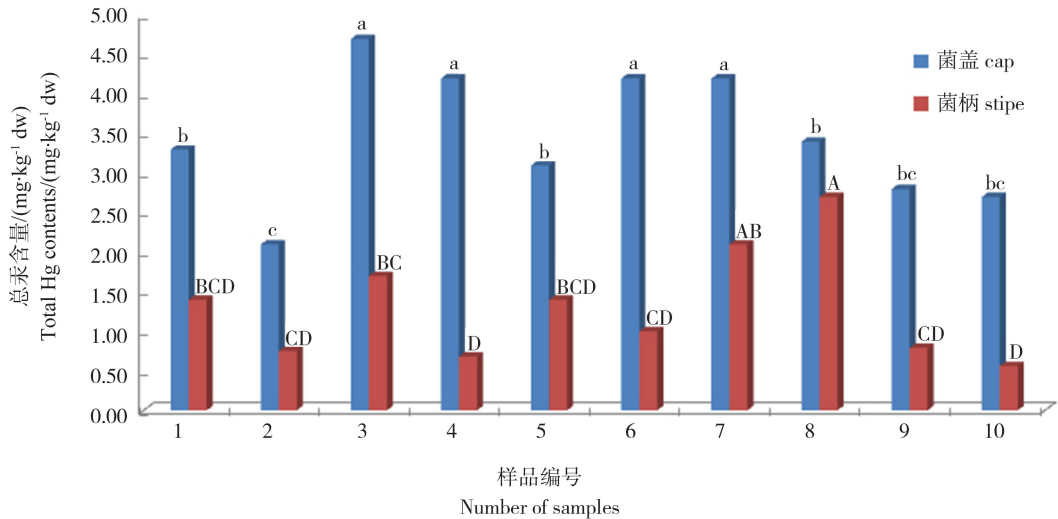


图 1 不同产地皱盖疣柄牛肝菌的总汞含量

注:图中不同小写字母表示菌盖中总 Hg 含量差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示菌柄中总 Hg 含量差异显著($P<0.05$)。

Fig. 1 The total Hg contents in *Leccinum rugosiceps* from different origins

Note: Different lowercase letters denote significant difference of total Hg contents in caps ($P<0.05$), and different capital letters denote significant difference of total Hg contents in stipes ($P<0.05$).

间,其中 2012 年采自迪庆维西的样品总汞含量最高,与 2012 年采自昆明安宁的样品总汞含量具有差异但未达到显著水平。不同产地皱盖疣柄牛肝菌菌盖和菌柄总 Hg 含量差异较大,2011 年采自普洱思茅区的样品菌盖总汞含量是 2011 年采自玉溪易门的 2.2 倍;2012 年采自迪庆维西的皱盖疣柄牛肝菌菌柄中总 Hg 含量是采自楚雄元谋的 4.8 倍。测定波兰不同地区、不同采集年份橙黄疣柄牛肝菌(*Leccinum aurantiacum*)总 Hg 含量,显示不同产地样品菌盖、菌柄的总 Hg 含量差异明显,菌盖、菌柄最高含量与最低含量分别相差 13 倍和 11 倍^[23],与本文结果相似。Jarzyńska 等^[24]测定不同产地灰疣柄牛肝菌(*Leccinum griseum*)中多种矿质元素,显示不同产地样品中矿质元素含量不同,其中菌盖、菌柄中总 Hg 含量分别在 $0.12\sim 0.65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ dw}$ 和 $0.067\sim 0.44\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ dw}$ 之间。同一物种不同产地皱盖疣柄牛肝菌总 Hg 含量差异明显,这可能与不同地区牛肝菌的生长环境如土壤背景、气候条件等存在差异有关。

2.4 不同部位牛肝菌总 Hg 含量分析

大量研究显示野生食用菌的不同部位对重金属的富集能力不同,多数食用菌菌盖的重金属含量高于菌柄^[25-29]。同一种牛肝菌菌盖、菌柄中总 Hg 含量比 $Q_{(c/s)}$ 可以反映牛肝菌不同部位对 Hg 富集情况的差异。由表 2 可知,同一种疣柄牛肝菌属真菌中菌

盖和菌柄的总 Hg 含量差异比较明显,所有测试样品菌盖中总 Hg 含量均高于菌柄($Q_{(c/s)}>1$),其中 2014 年采自玉溪峨山的远东疣柄牛肝菌不同部位总 Hg 含量差异最大,菌盖总 Hg 含量是菌柄的 8.75 倍;差异最小的是 2012 年采自迪庆维西的皱盖疣柄牛肝菌和采自迪庆普达措异色疣柄牛肝菌,菌盖总 Hg 含量仅为菌柄的 1.26 倍。表明疣柄牛肝菌属真菌菌盖对 Hg 的富集能力强于菌柄,而菌盖、菌柄中总含量差异大小因产地、物种、采集时间等的不同而有差异。

2.5 健康风险评估

2010 年 FAO/WHO 综合考虑 Hg 摄入量与疾病发生的临床实验数据及 Hg 的毒理学实验数据,建立了每周 Hg 允许摄入量暂行标准;每周 Hg 摄入量 $\leq 0.004\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ body weight (bw)}$ ^[8],用该标准评价通过食物摄入 Hg 的安全风险更具科学性。以成人平均体重 60 kg 计算,则 FAO/WHO 规定的每人一周允许摄入的 Hg 为 $60\text{ kg}\times 0.004\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}=0.24\text{ mg}$ 。

新鲜牛肝菌水分含量较高约占其质量的 90%,干重约占 10%^[30],因此 300 g 新鲜牛肝菌的干重为 $300\text{ g}\times 10\%=30\text{ g}$;由表 2 可知,食用 300 g 新鲜疣柄牛肝菌属真菌的菌盖或菌柄,摄入的 Hg 分别在 $0.016\sim 0.144\text{ mg}$ 和 $0.0096\sim 0.084\text{ mg}$ 之间;若每周食用 300 g 新鲜牛肝菌菌盖或菌柄所摄入的 Hg 远低于 FAO/WHO 规定的每周 Hg 允许摄入量标准,

说明人体的 Hg 暴露风险较低。根据疣柄牛肝菌属真菌总 Hg 含量及每周 Hg 允许摄入量(0.24 mg)计算,则每人(60 kg)每周允许食用的牛肝菌菌盖、菌柄鲜品分别为:500~4 400 g 和 850~7 500 g 之间,表明疣柄牛肝菌属真菌的允许食用量因物种、产地、采食时间及食用部位等的差异而不同,如 2011 年采自昆明五华区的红疣柄牛肝菌菌盖因 Hg 含量较高,每周食用量应该控制在 500 g(鲜重)以下,才能确保食用安全,而 2014 年采自玉溪峨山的远东疣柄牛肝菌菌柄每周允许食用量达 7 500 g(鲜重)。

综上所述,分析测定云南不同地区、不同种类及不同采集时间疣柄牛肝菌属真菌的总 Hg 含量,结果显示疣柄牛肝菌属真菌总 Hg 含量因产地、种类、采集时间等不同而差异明显,菌盖中总 Hg 含量在 0.54~4.80 mg·kg⁻¹ dw 之间,菌柄总 Hg 含量在 0.32~2.80 mg·kg⁻¹ dw 之间;同一物种不同部位总 Hg 含量具有差异,菌盖与菌柄总 Hg 含量比(Q_(CS))均大于 1,其中 2014 年采自玉溪峨山的远东疣柄牛肝菌菌盖总 Hg 含量是菌柄的 8.75 倍,表明疣柄牛肝菌属真菌对 Hg 的积累量与生长环境、种类、部位等因素有关。根据 FAO/WHO 暂行的每周 Hg 允许摄入量标准(0.004 mg·kg⁻¹ bw),每人(60 kg)每周食用 300 g 新鲜牛肝菌,Hg 摄入量远低于该标准,对人体的 Hg 暴露风险较低。

通讯作者简介:王元忠(1981—),男,硕士,助理研究员,主要从事药用植物和药用真菌资源评价和利用研究。发表学术论文 180 余篇,其中 SCI 收录 70 余篇。

参考文献 (References):

- [1] Pichler J, Ziegler J, Aldrian U, et al. Evaluating levels of knowledge on food safety among food handlers from restaurants and various catering businesses in Vienna, Austria 2011-2012 [J]. Food Control, 2014, 35(1): 33-40
- [2] Huang Z, Pan X D, Wu P G, et al. Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China [J]. Food Control, 2014, 36(1): 248-252
- [3] Perugini M, Visciano P, Manera M, et al. Heavy metal (As, Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Se) concentrations in muscle and bone of four commercial fish caught in the central Adriatic Sea, Italy [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186(4): 2205-2213
- [4] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001
- [5] 徐争启,倪师军,庾先国,等.潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J].环境科学与技术,2008,31(2): 112-115
Xu Z Q, Ni S J, Tuo X G, et al. Calculation of heavy metals toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 31(2): 112-115 (in Chinese)
- [6] Bose-O'Reilly S, Lettmeier B, Gothe R M, et al. Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas [J]. Environmental Research, 2008, 107(1): 89-97
- [7] Zhang H, Yin R, Feng X, et al. Atmospheric mercury inputs in montane soils increase with elevation: Evidence from mercury isotope signatures [J]. Scientific Reports, 2013, 3: 1-8
- [8] Hamann C R, Boonchai W, Wen L, et al. Spectrometric analysis of mercury content in 549 skin-lightening products: Is mercury toxicity a hidden global health hazard? [J]. Journal of the American Academy of Dermatology, 2014, 70(2): 281-287
- [9] El-Shenawy S M A, Hassan N S. Comparative evaluation of the protective effect of selenium and garlic against liver and kidney damage induced by mercury chloride in the rats [J]. Pharmacological Reports, 2008, 60(2): 199-208
- [10] Adams D H, Sonne C, Basu N, et al. Mercury contamination in spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*: An assessment of liver, kidney, blood, and nervous system health [J]. Science of The Total Environment, 2010, 408(23): 5808-5816
- [11] Wang X M, Zhang J, Wu L H, et al. A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China [J]. Food Chemistry, 2014, 151: 279-285
- [12] Thetsrimuang C, Khammuang S, Sarnthima R. Antioxidant activity of crude polysaccharides from edible fresh and dry mushroom fruiting bodies of *Lentinus* sp. Strain RJ-2 [J]. International Journal of Pharmacology, 2011, 7(1): 58-65
- [13] Kalač P. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review [J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 9-16
- [14] Kalač 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
- [15] Falandysz J, Borovička J. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: Health benefits and risks [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(2): 477-501
- [16] 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
- Li T H, Song B. Species and distributions of Chinese edible boletes [J]. Acta Edulis Fungi, 2002, 9(2): 22-30 (in Chinese)
- [17] 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 等. 中国食用菌名录[J]. 菌物学报, 2010(1): 1-21
- Dai Y C, Zhou L W, Yang Z L, et al. A revised checklist of edible fungi in China [J]. Mycosystema, 2010(1): 1-21 (in Chinese)
- [18] Joint FAO. Seventy-second meeting, Rome, 16-25 February 2010: Summary and conclusions [R]. Rome: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2010, 16 p
- [19] Jarzyńska G, Falandysz J. The determination of mercury in mushrooms by CV-AAS and ICP-AES techniques [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2011, 46(6): 569-573
- [20] Maćkiewicz D, Falandysz J. Total mercury in yellow knights (*Tricholoma equestre*) mushrooms and beneath soils [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2012, 89(4): 755-758
- [21] Falandysz J, Bielawski L. Mercury and its bioconcentration factors in brown birch scaber stalk (*Leccinum scabrum*) from various sites in Poland [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 635-640
- [22] Falandysz J, Lipka K, Kawano M, et al. Mercury content and its bioconcentration factors in wild mushrooms at Lukta and Morag, northeastern Poland [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(9): 2832-2836
- [23] Falandysz J, Kowalewska I, Nnorom I C, et al. Mercury in red aspen boletes (*Leccinum aurantiacum*) mushrooms and the soils [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2012, 47(11): 1695-1700
- [24] Jarzyńska G, Falandysz J. Metallic elements profile of Hazel (Hard) Bolete (*Leccinum griseum*) mushroom and associated upper soil horizon [J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 11(20): 4588-4594
- [25] Falandysz J, Frankowska A, Mazur A. Mercury and its bioconcentration factors in king bolete (*Boletus edulis*) Bull. Fr [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2007, 42(14): 2089-2095
- [26] Falandysz J, Kojta A K, Jarzyńska G, et al. Mercury in bay bolete (*Xerocomus badius*): Bioconcentration by fungus and assessment of element intake by humans eating fruiting bodies [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2012, 29(6): 951-961
- [27] Chojnacka A, Drewnowska M, Jarzyńska G, et al. Mercury in yellow-cracking boletes *Xerocomus subtomentosus* mushrooms and soils from spatially diverse sites: Assessment of bioconcentration potential by species and human intake [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2012, 47(13): 2094-2100
- [28] Ostos C, Pérez-Rodríguez F, Arroyo B M, et al. Study of mercury content in wild edible mushrooms and its contribution to the Provisional Tolerable Weekly Intake in Spain [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 37: 136-142
- [29] Falandysz J, Kunito T, Kubota R. et al. Multivariate characterization of elements accumulated in King Bolete *Boletus edulis* mushroom at lowland and high mountain regions [J]. Journal of Environmental Sciences and Health, Part A, 2008, 43(14): 1692-1699
- [30] 周玲仙, 殷建忠. 云南野生食用牛肝菌营养成分分析及评价[J]. 食用菌, 2008, 30(4): 61-62
- Zhou L X, Yin J Z. Analysis and evaluation of nutritional components of wild edible mushrooms collected from Yunnan [J]. Edible Fungi, 2008, 30(4): 61-62 (in Chinese)

