

栽培食用菌重金属含量的测定及健康风险评价

王北洪, 刘 静, 姚真真, 付伟丽, 马智宏*

(北京农业质量标准与检测技术研究中心, 农业部农产品质量安全风险评估实验室(北京), 北京 100097)

摘 要: **目的** 研究某省栽培食用菌中重金属污染情况, 评价经食用菌膳食途径摄入重金属的人体健康风险。**方法** 采用原子吸收光谱法和原子荧光光谱法测定 4 种食用菌样品中 Pb、Cd、As、Hg 含量, 并与中国食品中污染物限量标准进行比较; 采用美国环保署(USEPA)2000 年提出的健康风险模型, 通过计算目标危害系数(THQ、TTHQ)的方法预测食用菌中重金属产生的健康风险。**结果** 151 份食用菌样品中, 1.45%香菇中的 Pb, 10.14%香菇和 1.82%平菇中的 Cd, 5.80%香菇、3.64%平菇和 11.11%黑木耳中的 As, 1.45%香菇中的 Hg 含量超过国家标准限量值, 金针菇中的 4 种重金属均不超标; 从单一重金属风险来看, 成人摄入所调查的 4 种栽培食用菌虽然尚属安全, 但 As 应引起重视, 尤其是香菇和黑木耳, 儿童经膳食途径摄入所调查的 4 种栽培食用菌可能存在 As 的膳食摄入潜在风险, 尤其是香菇、平菇和黑木耳。此外, 香菇中的 Cd 也应引起重视; 从多种重金属复合风险来看, 成人和儿童摄入所调查的 4 种栽培食用菌可能存在潜在健康风险, 成人和儿童的潜在复合健康风险主要由 As、Cd 引起。**结论** As 和 Cd 是该省 4 种栽培食用菌中的主要重金属污染物, 成人和儿童摄入香菇、平菇和黑木耳可能存在潜在健康风险, 儿童因摄食食用菌导致的重金属潜在健康风险高于成人。

关键词: 栽培食用菌; 重金属; 健康风险

Determination and health risk evaluation of heavy metals in cultivated edible mushrooms

WANG Bei-Hong, LIU Jing, YAO Zhen-Zhen, FU Wei-Li, MA Zhi-Hong*

(Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Risk Assessment Lab for Agro-products (Beijing), Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)

ABSTRACT: Objective To study the characteristics of heavy metals content and examine the human health potential risk of heavy metal in edible mushrooms produced and sold in a province. **Methods** The atomic absorption spectrometer (AAS) and atomic fluorescence spectrometer (AFS) were adopted to detect heavy metal concentrations of total lead (Pb), total cadmium (Cd), total arsenic (As) and total mercury (Hg) in 4 kinds of cultivated edible mushroom samples. The results were compared to main edible mushrooms standards of China. Under the help of healthy risk model proposed by USEPA (2000), the health risks of heavy metals were forecasted by the method of calculating the risk index (the target hazard quotient, THQ and TTHQ). **Results** Totally 1.45% of the Pb, 10.14% of the Cd, 5.80% of the As, and 1.45% of the Hg in *Lentinula edodes*, 1.82% of the Cd and 3.64% of the As in *Pleurotus mushrooms*, 11.11% of the As in *Auricularia auricular* exceeded the

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估重大专项(GJFP2015006)

Fund: Supported by National Agricultural Products Quality and Safety Risk Assessment of Major Projects (GJFP2015006)

*通讯作者: 马智宏, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测技术。E-mail: mazh@nrcita.org.cn

*Corresponding author: MA Zhi-Hong, Associate Research Fellow, Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Beijing 100097, China. E-mail: mazh@nrcita.org.cn

maximum allowable limits, respectively; four heavy metals in all *Flammulina velutipes* were less than the maximum allowable limits; for adults, 4 kinds of cultivated edible mushroom samples were safe by analyzing THQ, but total arsenic (As) should be paid attention to, in particular, *Lentinula edodes* and *Auricularia auricular*; 4 kinds of cultivated edible mushroom samples probably posed a potential health risk to children by analyzing THQ, in particular, *Lentinula edodes*, *Pleurotus mushrooms* and *Auricularia auricular*; in addition, Cd in *Lentinulaedodes* should be paid attention to; 4 kinds of cultivated edible mushroom samples might pose a potential health risk to adults and children by analyzing TTHQ; overall potential health risks were mainly caused by As and Cd. **Conclusion** As and Cd are the main heavy metal pollutants in edible mushrooms produced and sold in the province. *Lentinula edodes*, *Pleurotus mushrooms* and *Auricularia auricular* are likely to pose a potential health risk to adults and children. Potential health risks for children to consume edible mushrooms caused by heavy metals are bigger than adults.

KEY WORDS: cultivated edible mushroom; heavy metal; health risk

1 引言

据 2012 年中国食用菌产业发展大会通报, 我国是世界第一大食用菌生产国。但近年来, 食用菌重金属污染问题较为突出, 遭遇出口绿色壁垒的现象屡屡发生。仅 2010 年, 在我国出口欧盟被通报的 33 批蔬菜水果中, 因重金属超标的就占 19 批。此后至 2012 年间, 在美国 FDA、欧盟和日本又发生了 6 起因我国出口的香菇、黑木耳和蘑菇中重金属含量超标而导致的扣留案件。可见, 因重金属污染所致的质量安全问题不容乐观^[1]。

随着人们对食品安全的意识加强, 我国研究人员对食用菌中的重金属含量及其所带来的居民健康风险颇为关注。从近几年国内外公开发表的文献来看, 北京、天津、河北、山东、江苏、湖北、浙江、福建、广东、云南等地区均开展了栽培食用菌重金属污染调查与评价工作^[2-12], 结果表明, 不少地区存在食用菌重金属超标现象。像铅(Pb)、汞(Hg)、砷(As)、镉(Cd)等重金属, 对人类健康危害最大。人们暴露于重金属的主要途径是通过膳食摄入了被污染的食物。产地环境、用于食用菌生产的基质、食用菌品种及栽培方式是影响食用菌中重金属含量高低的主要原因。当食用菌所积累的污染物超过标准限量值后, 就会对人类健康产生威胁。

本文选择了我国的一个食用菌生产大省作为研究对象, 食用菌是该省农民增收的重要途径之一。目前, 有关该省栽培食用菌中重金属含量的报道仅见于对市场销售的食用菌重金属元素的测定和污染评

价, 尚缺乏食用菌种植基地和健康风险评价方面的文献资料。为了揭示该省栽培食用菌的重金属污染状况, 评价重金属经膳食摄入所带来的健康风险隐患, 为有关职能部门开展监管工作和引导科学消费提供依据, 我们开展了本项研究。本项研究工作能够为今后开展食用菌重金属来源排查, 研究重金属在食用菌生长过程中的含量变化规律, 为食用菌限量标准的制/修订, 食用菌重金属污染防控措施和技术规范的制定, 保证食用菌产品质量安全, 维护食用菌行业的长远发展利益提供数据储备和技术支撑。

2 材料与方法

2.1 样品的采集与检测

2.1.1 实验材料

2013 年~2015 年间, 在某省食用菌规模化种植区、农产品批发市场、农贸市场和大型超市内, 以随机取样的方法采集了香菇、平菇、黑木耳、金针菇等 4 个品种的 151 份栽培食用菌样品。

2.1.2 试剂

硝酸(HNO_3), $\rho=1.42 \text{ g/mL}$, BV-III级, 北京化学试剂研究所; 铅、镉、砷、汞 4 种标准贮备溶液, 浓度均为 $1000 \mu\text{g/mL}$, 来自中国计量科学研究院化学所(国家标准物质研究中心)。

2.1.3 仪器

采用 PinAAcle900T 型原子吸收分光光度计(PerkinElmer 公司)测定铅、镉, 采用 AFS 830 型间歇泵进样原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司)测定总砷、总汞。

2.1.4 实验方法

食用菌样品采集后装入洁净的聚乙烯塑料袋,立即置于保温箱中低温运送至室内。食用菌鲜品经去杂、清洁、匀浆后装入样品杯中,立即消解、检测,需要留存检测的鲜样冷冻保存。食用菌干品经去杂、清洁、自然干燥、粉碎后装入样品杯中,常温、密闭、避光保存待测。重金属检测铅、镉、总砷、总汞等4种元素,检测依据分别为:GB 5009.12-2010《食品安全国家标准食品中铅的测定》(第一法)、GB 5009.15-2003《食品中镉的测定(第一法)》、GB/T 5009.11-2003《食品中总砷及无机砷的测定》(第一法)、GB/T 5009.17-2003《食品中总汞及有机汞的测定》(第一法)。分析过程以国家生物成分分析标准物质 GBW 10021(GSB-12 豆角)和 GBW 10022(GSB-13 蒜粉)进行分析质量控制。对于食用菌干品,测定重金属含量之前,需要首先测定其含水量。

2.2 污染评价标准与方法

目前,我国现行有效的食用菌重金属污染的主要评价标准有:GB 2762-2012《食品安全国家标准食品中污染物限量》和 NY/T 749-2012《绿色食品食用菌》。相比之下,前者对重金属的限量更为严格。因此,食用菌重金属评价的临界值以 GB 2762-2012《食品安全国家标准食品中污染物限量》的相关限量标准值作为参照(表1)。

表1 栽培食用菌中重金属最高允许限量标准
Table 1 The maximum allowable limits of heavy metals in edible mushrooms

	食用菌类别(名称)	最高残留限量 (mg/kg)
铅(Pb)	食用菌及其制品	1.0
	新鲜食用菌(香菇和姬松茸除外)	0.2
镉(Cd)	香菇	0.5
	食用菌制品(姬松茸除外)	0.5
总砷(As)	食用菌及其制品	0.5
总汞(Hg)	食用菌及其制品	0.1

2.3 健康风险评价方法与指标

采用美国国家环保署(USEPA)提出并被广泛应用^[4,13-14]的目标危害系数(the target hazard quotient, THQ)法来评价食用菌中的重金属对人体所造成的健

康风险。其最大特点是既能评价单一重金属的潜在风险,更能评价多种重金属复合暴露的健康风险,所以,该方法特别适用于人体受到食用菌中多种重金属元素共同作用时的健康风险评价。此外,由于THQ法是按照成人及儿童的平均体重建立的风险分析方法,对于不同年龄的人群参数不同,更能体现出不同年龄人群存在的健康风险。因此,从这个角度来看,与其他健康风险评价模型相比,更加凸显其适用性。该方法假定污染物吸收剂量等于摄入量,以测定的污染物人体摄入量与参考剂量的比值作为评价标准,如果单一重金属风险THQ值 <1 ,则说明暴露人群没有明显的健康风险,反之,则说明相关暴露人群可能存在健康风险。THQ值越大,表明该污染物对人体的健康风险越大。鉴于重金属对人体健康的影响一般是由多种元素共同作用的结果,因此,人们用TTHQ值表示多种重金属复合风险。如果TTHQ值 <1 ,则表明没有明显的负面影响;反之,则说明对人体健康产生负面影响的可能性很大。计算公式见(1)和(2)。

单一重金属风险:

$$THQ = (E_F \times E_D \times F_{IR} \times C) / (R_{FD} \times W_{AB} \times T_A) \times 10^{-3} \quad (1)$$

多种重金属复合风险:

$$TTHQ = \sum THQ \quad (2)$$

公式(1)中各项参数缩写、名称及取值见表2。

3 结果与分析

3.1 栽培食用菌重金属含量及污染评价

从所抽检的151份样品来看(表3),食用菌中各有害重金属的总体平均含量从大到小依次为As、Cd、Pb、Hg。对照食用菌重金属限量标准(表1),4种重金属在食用菌中均存在不同比例的超标情况。1.45%香菇中的Pb,10.14%香菇和1.82%平菇中的Cd,5.80%香菇、3.64%平菇和11.11%黑木耳中的As,1.45%香菇中的Hg含量超过国家标准限量值。所调查的9份金针菇中,4种重金属均不超标。相比较而言,As、Cd的超标率高于Pb、Hg。

3.2 食用菌途径摄入重金属的人体健康风险评价

利用公式(1)和公式(2)分别计算成人和儿童通过食用菌摄入重金属的THQ值和TTHQ值,结果见表4、5。

表 2 栽培食用菌健康风险分析参数取值
Table 2 Values of the parameter used in the calculation of THQ for heavy metals

参数符号	参数名称	指标取值	指标取值来源
E_F (d/a)	暴露频率	365	[15]
E_D (a)	暴露区间	30 (成人) 7 (儿童)	[16] [14]
F_{IR} (g/d)	食用菌摄入量	122.5 (成人) 93.4 (儿童)	[4,17] [4,17]
C (mg/kg)	食用菌中重金属含量	见表 3	本文测定结果
T_A (d)	非致癌性平均暴露时间	10950 (成人) 2555 (儿童)	[16] [16]
W_{AB} (kg)	平均体重	63.45 (成人) 25.6 (儿童)	[17] [17]
R_{FD} (mg/kg·d)	参考剂量	R_{FD} (Pb)= 0.0035	[18]
		R_{FD} (Cd)= 0.001	[18]
		R_{FD} (As)= 0.0003	[18]
		R_{FD} (Hg)= 0.0003	[18]

注: F_{IR} 为估计值, 假设食用菌摄入量占蔬菜摄入量的 50%

表 3 栽培食用菌中重金属含量状况及污染评价
Table 3 Mass ratio and pollution assessment of heavy metals in cultivated edible mushrooms

食用菌	元素	$\bar{x} \pm s$ (mg/kg)	范围(mg/kg)	超标率(%)
总体(n=151)	Pb	0.083±0.190	<0.001~1.191	0.66
	Cd	0.103±0.229	<0.001~1.800	5.30
	As	0.155±0.241	<0.001~1.500	5.30
	Hg	0.006±0.012	<0.001~0.110	0.66
香菇(n=69)	Pb	0.063±0.169	<0.001~1.191	1.45
	Cd	0.192±0.312	<0.001~1.800	10.14
	As	0.202±0.272	0.012~1.400	5.80
	Hg	0.007±0.015	<0.001~0.110	1.45
平菇(n=55)	Pb	0.029±0.125	<0.001~0.910	0.00
	Cd	0.014±0.032	<0.001~0.220	1.82
	As	0.076±0.134	<0.001~0.830	3.64
	Hg	0.003±0.007	<0.001~0.034	0.00
黑木耳(n=18)	Pb	0.365±0.235	<0.001~0.896	0.00
	Cd	0.084±0.088	<0.001~0.420	0.00
	As	0.281±0.325	0.074~1.500	11.11
	Hg	0.012±0.010	0.005~0.041	0.00
金针菇(n=9)	Pb	0.065±0.047	0.002~0.220	0.00
	Cd	0.007±0.006	0.001~0.032	0.00
	As	0.030±0.043	<0.001~0.390	0.00
	Hg	0.002±0.002	<0.001~0.010	0.00

注: n 代表食用菌的样本数量

表4 栽培食用菌中单一重金属健康风险评价
Table 4 THQ of single heavy metal in cultivated edible mushrooms

食用菌	元素	成人 THQ			儿童 THQ		
		$\bar{x}\pm s$	范围	THQ 1 的份数(%)	$\bar{x}\pm s$	范围	THQ 1 的份数(%)
总体 (n=151)	Pb	0.046±0.105	<0.001~0.657	0(0.00)	0.087±0.198	0.001~1.241	1(0.66)
	Cd	0.199±0.443	<0.001~3.475	7(4.64)	0.376±0.836	<0.001~6.567	16(10.60)
	As	0.996±1.553	0.001~9.653	43(28.48)	1.883±2.935	0.002~18.242	57(37.75)
香菇 (n=69)	Hg	0.038±0.077	0.001~0.708	0(0.00)	0.071±0.146	0.001~1.338	1(0.66)
	Pb	0.035±0.093	<0.001~0.657	0(0.00)	0.066±0.176	0.001~1.241	1(1.45)
	Cd	0.370±0.603	<0.001~3.475	7(10.14)	0.699±1.139	<0.001~6.567	15(21.74)
平菇 (n=55)	As	1.301±1.748	0.077~9.010	28(40.58)	2.459±3.303	0.146~17.026	29(42.03)
	Hg	0.047±0.098	0.001~0.708	0(0.00)	0.088±0.186	0.001~1.338	1(1.45)
	Pb	0.016±0.069	<0.001~0.502	0(0.00)	0.031±0.130	0.001~0.949	0(0.00)
黑木耳 (n=18)	Cd	0.027±0.061	<0.001~0.425	0(0.00)	0.052±0.115	<0.001~0.083	0(0.00)
	As	0.490±0.865	0.001~5.341	5(9.09)	0.925±1.635	0.002~10.094	12(21.82)
	Hg	0.018±0.043	0.001~0.219	0(0.00)	0.034±0.082	0.001~0.413	0(0.00)
金针菇 (n=9)	Pb	0.202±0.129	0.001~0.494	0(0.00)	0.381±0.245	0.001~0.934	0(0.00)
	Cd	0.163±0.171	0.001~0.811	0(0.00)	0.307±0.322	0.001~1.532	1(5.56)
	As	1.810±2.091	0.476~9.653	10(55.56)	3.421±3.952	0.900~18.242	16(88.89)
	Hg	0.079±0.064	0.031~0.264	0(0.00)	0.149±0.121	0.059~0.499	0(0.00)
	Pb	0.002±0.002	0.001~0.008	0(0.00)	0.005±0.005	0.001~0.014	0(0.00)
	Cd	0.011±0.019	0.002~0.060	0(0.00)	0.020±0.035	0.004~0.114	0(0.00)
	As	0.129±0.080	0.039~0.245	0(0.00)	0.243±0.152	0.073~0.462	0(0.00)
	Hg	0.009±0.018	0.001~0.051	0(0.00)	0.017±0.034	0.001~0.097	0(0.00)

注: n 代表食用菌的样本数量

表5 栽培食用菌重金属复合健康风险评价
Table 5 TTHQ of heavy metal in cultivated edible mushrooms

食用菌	成人 TTHQ			儿童 TTHQ		
	$\bar{x}\pm s$	范围	TTHQ 1 的份数(%)	$\bar{x}\pm s$	范围	TTHQ 1 的份数(%)
总体(n=151)	1.279±1.785	0.007~9.918	53(35.10)	2.417±3.374	0.014~18.742	67(44.37)
香菇(n=69)	1.563±2.465	0.083~9.488	30(43.48)	2.953±4.658	0.156~17.931	36(52.17)
平菇(n=55)	0.551±0.921	0.007~5.343	8(14.55)	1.041±1.741	0.014~10.096	13(23.64)
黑木耳(n=18)	2.253±2.107	0.787~9.918	15(83.33)	4.258±3.981	1.486~18.742	18(100.00)
金针菇(n=9)	0.151±0.104	0.044~0.361	0(0.00)	0.285±0.197	0.083~0.683	0(0.00)

注: n 代表食用菌的样本数量

食用菌单一重金属的 THQ 结果见表 4。对于成人来说, 40.58%的香菇、9.09%的平菇和 55.56%的黑木耳中的 As, 10.14%的香菇中的 Cd, 存在 THQ 值 1 的情况, 对成人健康有风险。从单一重金属总体上的风险来看, 各元素在成人中的 THQ 算术平均值 \bar{x} 均 < 1, 成人摄入所调查的 4 种栽培食用菌虽然尚属安全, 但 As 的 THQ 算术平均值 \bar{x} 已接近 1, 存在安全隐患, 应引起重视。对于儿童来说, 1.45%的香菇中的 Pb, 21.74%的香菇和 5.56%的黑木耳中的 Cd, 42.03%的香菇、21.82%的平菇和 88.89%的黑木耳中的 As, 1.45%的香菇中的 Hg, 存在 THQ 值 1 的情况, 对儿童健康有风险, 且 As 在儿童中的 THQ 算术平均值 \bar{x} 已超过 1。说明从单一重金属总体上的风险来看, 儿童摄入所调查的 4 种栽培食用菌, 存在 As 的膳食摄入风险。

食用菌多种重金属的 TTHQ 结果见表 5。对成人和儿童来说, 除了金针菇之外, 另外 3 种食用菌均存在重金属 TTHQ 值 1 的情况, 而且, 4 种食用菌重金属的 TTHQ 总体算术平均值 \bar{x} 已超过 1。说明整体上从多种重金属复合风险来看, 成人和儿童摄入香菇、平菇和黑木耳存在健康风险。

由表 6 可知, 4 种某省栽培食用菌对成人和儿童的复合健康风险主要由 As 引起(贡献率最高), 暴露风险最大, 其次为 Cd。说明从多种重金属复合风险来看, As 和 Cd 是该省 4 种栽培食用菌中的主要重金属污染物。

4 结论与讨论

研究发现, 所调查的 4 种重金属中, As、Cd 的超标率高于 Pb、Hg。从单一重金属的总体风险来看, 成人摄入所调查的 4 种栽培食用菌虽然尚属安全, 但 As 应引起重视, 尤其是香菇和黑木耳。儿童摄入所调查的 4 种栽培食用菌, 存在 As 的膳食摄入风险, 尤其是香菇、平菇和黑木耳。此外, 香菇中的 Cd 也应引起重视。从多种重金属的总体复合风险来看, 成人和儿童摄入香菇、平菇和黑木耳存在健康风险。As 和 Cd 是该省 4 种栽培食用菌中的主要重金属污染物。

本研究发现, 儿童因摄食蔬菜导致的重金属健康风险(THQ、TTHQ)高于成人(表 4、5), 与刘焯潼等^[4]的研究结果一致, 这主要是与儿童的“食用菌摄入量(F_{IR})/平均体重(W_{AB})”高于成人所致。

表 6 单一重金属对成人和儿童的复合健康风险贡献率
Table 6 Contribution ratio of single heavy metal to TTHQ of adults and children in cultivated edible mushrooms

食用菌	元素	成人 (%)	儿童 (%)
总体 (<i>n</i> =151)	Pb	3.60%	3.60%
	Cd	15.56%	15.56%
	As	77.87%	77.91%
	Hg	2.97%	2.94%
香菇 (<i>n</i> =69)	Pb	2.00%	1.99%
	Cd	21.11%	21.11%
	As	74.22%	74.25%
	Hg	2.68%	2.66%
平菇 (<i>n</i> =55)	Pb	2.90%	2.98%
	Cd	4.90%	4.99%
	As	88.93%	88.77%
	Hg	3.27%	3.26%
黑木耳 (<i>n</i> =18)	Pb	8.96%	8.95%
	Cd	7.23%	7.21%
	As	80.30%	80.34%
	Hg	3.50%	3.50%
金针菇 (<i>n</i> =9)	Pb	1.32%	1.75%
	Cd	7.28%	7.02%
	As	85.43%	85.26%
	Hg	5.96%	5.96%

注: *n* 代表食用菌的样本数量

今后, 为了能够更好地为有关职能部门开展监管工作和制定重金属污染防控措施, 引导消费者科学消费提供参考, 仍需对食用菌进行预警监测和风险评估, 开展污染源溯源调查研究, 研究重金属在食用菌生长过程中的含量变化规律。

参考文献

- [1] 陆剑飞. 影响食用菌安全的风险因子分析及对策[J]. 中国食用菌, 2013, 32(4): 50-52.
Lu JF. Risk factor analysis and countermeasures on influence of edible safety [J]. China Edible Fungi, 2013, 32(4): 50-52.
- [2] 王兴进. 闽东古田地区 6 种常见食用菌中重金属含量测定及评价[J]. 化学工程与装备, 2015, (1): 197-200.
Wang XJ. Determination and evaluation of heavy metal contents in 6 kinds of edible fungi in Gutian area of Fujian [J]. Chem Eng Equ, 2015, (1): 197-200.

- [3] 潘子奇, 徐腾, 张代均, 等. 北京市海淀区市售两种食用菌重金属含量检测及部分居民知行调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2361–2367.
Pan ZQ, Xu T, Zhang DJ, *et al.* Detection of heavy metals in two kinds of edible fungi available in market and a related KAP survey in Haidian district in Beijing [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(6): 2361–2367.
- [4] 刘焯潼, 陈秋生, 张强, 等. 食用菌重金属污染对人体的健康风险分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(2): 440–443, 452.
Liu YT, Chen QS, Zhang Q, *et al.* Assessing Health risk of heavy metals in mushroom [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, 54(2): 440–443, 452.
- [5] Fang Y, Sun XY, Yang WJ, *et al.* Concentrations and health risks of lead, cadmium, arsenic, and mercury in rice and edible mushrooms in China [J]. *Food Chem*, 2014, 147: 147–151.
- [6] 刘贵巧, 王永霞, 王建明, 等. 4种食用菌中重金属含量及食用安全评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 268–270.
Liu GQ, Wang YX, Wang JM, *et al.* The content of heavy metals and the safety evaluation in 4 kinds of edible fungi [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2014, 42(9): 268–270.
- [7] 王纪娟, 陈贵菊. 济宁地区5种食用菌铅、镉、砷、汞重金属污染检测与评价[J]. 长江蔬菜, 2014, (8): 43–45.
Wang JJ, Chen GJ. Investigation and evaluation on pollution of heavy metals Pb, Cd, As and Hg in five edible fund from Jining city [J]. *J Changjiang Veget*, 2014, (8): 43–45.
- [8] 杨定国, 吴阳, 邱国强, 等. 湖北省香菇主产区子实体重金属含量测定[J]. 食药菌, 2014, 22(1): 45–47.
Yang DG, Wu Y, Qiu GQ, *et al.* Determination of heavy metal content in fruiting bodies of the main producing areas of Hubei Province [J]. *Edible Med Mushrooms*, 2014, 22(1): 45–47.
- [9] 叶雪珠, 赵首萍, 张永志, 等. 浙江省食用菌铅镉重金属污染风险研究[J]. 中国食用菌, 2013, 32(3): 50–53.
Ye XZ, Zhao SP, Zhang YZ, *et al.* Study on pollution and risk of Pb and Cd in edible fungi from Zhejiang Province [J]. *China Edible Fungi*, 2013, 32(3): 50–53.
- [10] 张徐惠群, 杨暄, 马丽艳, 等. 香菇和平菇中几种重金属元素的质量分数及其健康风险评估[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 163–171.
Zhang XHQ, Yang X, Ma LY, *et al.* Health risk evaluation on heavy metal concentrations in *Lentinus edodes* and *Pleurotus ostreatus* [J]. *J China Agric Univ*, 2013, 18(3): 163–171.
- [11] 刘宇飞, 陈萍萍. 香菇和平菇中几种重金属的质量分数及其健康风险评估[J]. 中国医学创新, 2013, 10(34): 145–146.
Liu YF, Chen PP. Health risk evaluation on heavy metals concentrations in *Lentinus edodes* and *Pleurotus ostreatus* [J]. *Med Innov China*, 2013, 10(34): 145–146.
- [12] 张玉洁, 胡国海, 李洪超. 云南省部分地区食用菌重金属含量的分析及评价[J]. 北方园艺, 2011, (20): 171–174.
Zhang YJ, Hu GH, Li HC. Analysis and assessment of heavy metal pollution in fresh edible mushrooms collected from several areas in Yunnan province [J]. *Northern Hortic*, 2011, (20): 171–174.
- [13] Hu WY, Chen Y, Huang B, *et al.* Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from a typical greenhouse vegetable production system in China [J]. *Hum Ecol Risk Assess*, 2014, 20: 1264–1280.
- [14] Chang CY, Yu HY, Chen JJ, *et al.* Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China [J]. *Environ Monit Assess*, 2014, 186: 1547–1560.
- [15] USEPA. Risk-based concentration table[R]. Philadelphia PA: United States environmental protection agency, Washington DC. 2000.
- [16] Song B, Lei M, Chen TB, *et al.* Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China [J]. *J Environ Sci-China*, 2009, 21: 1702–1709.
- [17] 金水高. 中国居民营养与健康状况调查报告之十-2002营养与健康状况数据集[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
Jin SG. Chinese National Nutrition and Health Survey Report (Volume No.10)– Dataset of Nutrition and Health in 2002 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008.
- [18] United States Environmental Protection Agency(USEPA). (2002). Region 9, preliminary remediation goals [EB/OL]. <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg>.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



王北洪, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测和风险评估。
E-mail: wangbh@nercita.org.cn



马智宏, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测技术研究。
E-mail: mazh@nercita.org.cn