

# 河南地区香菇中重金属镉含量检测及风险分析

李淑芳<sup>1,2,3</sup>, 尹海燕<sup>1,2,3</sup>, 司敬沛<sup>1,2,3</sup>, 尚兵<sup>1,2,3</sup>, 马莹<sup>1,2,3</sup>,  
周玲<sup>1,2,3\*</sup>, 刘继红<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 河南省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 郑州 450002; 2. 河南省粮食质量安全与检测重点实验室, 郑州 450002; 3. 农业部农产品质量安全风险评估实验室, 郑州 450002)

**摘要:** **目的** 分析河南地区香菇子实体及其栽培基质中的重金属镉含量, 初步确定香菇中重金属镉的风险等级, 并估算在自然生长状态下香菇中镉的富集系数。**方法** 通过随机及定点方式采集样品, 采用原子吸收光谱法进行重金属镉的测定, 根据国家食品安全风险评估中心(CFSA)的风险矩阵方法进行镉风险等级分析。**结果** 香菇子实体及栽培基质中镉的含量范围分别为: 鲜品: N.D.~0.83 mg/kg, 干品: 0.11~1.9 mg/kg, 栽培基质: N.D.~0.29 mg/kg。香菇中重金属镉的风险等级为中风险。自然生长状态下, 香菇子实体中镉的平均含量约为拌料中的4.6倍。**结论** 香菇中的镉来自于栽培基质, 自然生长状态下富集系数约为4.6, 栽培者可以从源头上控制栽培料中的重金属限量来控制子实体中的镉含量。风险矩阵方法对香菇中重金属镉风险等级的评价结果为中风险, 为质量安全管理 and 科学消费提供了参考。

**关键词:** 香菇; 重金属; 镉; 风险分析

## Detection and risk assessment of heavy metal of cadmium in *Lentinula edodes* from Henan province

LI Shu-Fang<sup>1,2,3</sup>, YIN Hai-Yan<sup>1,2,3</sup>, SI Jing-Pei<sup>1,2,3</sup>, SHANG Bing<sup>1,2,3</sup>, MA Ying<sup>1,2,3</sup>,  
ZHOU Ling<sup>1,2,3\*</sup>, LIU Ji-Hong<sup>1,2,3\*</sup>

(1. Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Key Laboratory of Grain Quality and Safety and Testing, Zhengzhou 450002, China; 3. Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-Products (Zhengzhou), Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the content of cadmium (Cd) in the fruit body and cultivated substrate of *Lentinula edodes* from Henan province, preliminarily confirm the risk level of Cd in *Lentinula edodes*, and estimate the enrichment coefficient of Cd in *Lentinula edodes* under natural growth conditions. **Methods** All samples were collected by random or constant sampling mode. The heavy metal of Cd was determined by atomic absorption spectrometry. The risk analysis and level were confirmed according to the risk matrix method of China National Center for Food Safety

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估项目(GJFP201600601)、河南省科技攻关计划项目(152102110135)

**Fund:** Supported by the Project of Risk Assessment of Agro-product Quality and Safety (GJFP201600601) and Scientific and Technological Project of Henan Province (152102110135)

\*通讯作者: 周玲, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。E-mail: Zlnk252@aliyun.com

刘继红, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测技术。E-mail: ljha3100@163.com

\*Corresponding author: ZHOU Ling, Researcher, Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Science, No. 116, Huayuan Road, Jinshui District, Zhengzhou 450002, China. E-mail: Zlnk252@aliyun.com

LIU Ji-Hong, Researcher, Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Science, No. 116, Huayuan Road, Jinshui District, Zhengzhou 450002, China. E-mail: ljha3100@163.com

Risk Assessment (CFSA). **Results** The results showed that the content of Cd in fruit body and cultivated substrate of *Lentinula edodes* were as follows: fresh product: N.D.~0.83 mg/kg, dried product: 0.11~1.9 mg/kg, and cultivated substrate: N.D.~0.29 mg/kg. The risk level of Cd in *Lentinula edodes* was medium risk. Under natural growth conditions, the average content of Cd in fruit body was about 4.6 times of the Cd content in mixing materials. **Conclusion** The Cd in the fruit body of *Lentinula edodes* is mainly derived from the cultivated substrate. The enrichment coefficient of Cd in *Lentinula edodes* is 4.6 under natural growth conditions. The final Cd content of *Lentinula edodes* can be adjusted by controlling the heavy metal limit of its cultivated substrate. The evaluation of risk level of Cd in *Lentinula edodes* is medium risk by the risk matrix method of CFSA, which will provide some references for the quality and safety management and scientific consumption.

**KEY WORDS:** *Lentinula edodes*; heavy metals; cadmium; risk assessment

## 1 引言

随着代料栽培技术的推广普及, 全国各地均有香菇 (*Lentinula edodes*) 种植。作为我国食用菌产业中的大宗品种, 香菇具有很高的营养价值和经济价值, 是我国入世后具有国际市场竞争优势的出口创汇农产品之一。据中国食用菌协会统计, 2014 年我国香菇总产量 769 万吨, 在所有食用菌品种中位列第一, 其中河南省产量最大, 年产 240 万吨, 占全国香菇年产量的 31%。河南省立足本地独特的区位优势 and 资源优势, 大力发展香菇生产, 现已发展成为以南阳西峡、驻马店泌阳、三门峡灵宝等香菇种植区为代表的香菇生产大省<sup>[1-4]</sup>。

香菇富含蛋白质、氨基酸和维生素等多种营养物质, 具有抗肿瘤、抗病毒、降血压等功效, 以香菇为代表的食用菌产品在人们的膳食结构中占据着越来越重要的地位。然而, 由于香菇对有害重金属有较强的富集能力, 重金属可积累在香菇的可食部分, 通过食物链进入人体, 危害人体健康。土壤、培养料、大气环境的污染导致香菇产品在生产过程中不可避免的受到污染, 曾经发生一些国家和地区拒绝进口我国被污染的香菇产品事件。香菇中最常见的重金属污染元素是镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)和砷(As), 其中, 镉污染问题最为突出<sup>[5,6]</sup>。近几年, 有文献报道了浙江、天津、北京等香菇主产区或消费区的香菇产品中镉含量及其富集规律、污染风险等<sup>[7-14]</sup>。随着香菇消耗量的增加, 有必要对香菇第一大省河南地区的香菇产品开展评价研究。

本研究通过分析河南地区香菇子实体及其栽培基质中的重金属镉含量, 并采用国家食品安全风险评估中心(CSFA)发布的《食品中化学物健康风险分级技术指南》<sup>[15]</sup>中的风险矩阵方法进行镉风险等级分析, 初步确定香菇中镉的风险等级为中风险, 估算出在无外源污染的自然生长状态下香菇中镉的富集系数, 为香菇质量安全管理 and 科学消费提供参考, 促进香菇产业的健康发展。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

香菇产品从河南地区的规模化合作社、批发市场及农户基地采集。采集的香菇品种以 9608、808、灵仙 1 号等种植量较大的品种为主, 香菇基质包括木屑、麦麸等主料, 石灰、石膏等辅料, 以及栽培覆沙(地栽模式)等。采用随机取样与定点追踪取样相结合的方法。本研究共采集样品 178 份, 包括香菇产品 120 份, 香菇基质样品 34 份, 定点追踪样品 24 份。采集的样品均使用清洁食品袋保存, 避免样品间交叉污染。

#### 2.1.1 随机取样样品

香菇产品: 共计 120 份, 香菇干品 39 份, 香菇鲜品 81 份。

香菇基质样品: 共计 34 份, 包括 21 份主料(木屑及麦麸, 木屑有栎木屑、枣木屑、苹果木屑等硬木屑)、10 份辅料(石灰、石膏)、3 份河沙(地栽模式覆沙)。

#### 2.1.2 定点追踪样品

选择驻马店泌阳县泌阳真菌研究所实验基地(A)、泌阳县泌水街道办事处玉田村基地(B)进行全程定点跟踪取样。两家基地香菇生产模式相同, 均为层架式袋料栽培, 栽培原辅料配方均为: 木屑 80%、麸皮 19%、石灰/石膏 1%。香菇栽培全程主要包括培养料准备阶段、菌丝培养阶段及出菇期等 3 个环节。定点追踪样品包括木屑、麦麸、石膏/石灰、水、拌料、菌棒、香菇子实体产品等 12 种样品, 两套共计 24 份。两家基地的菇棚内香菇生产规模均有 1 万棒以上, 菌棒及香菇子实体取样采用五点取样法进行。

### 2.2 仪器与试剂

Ethos One 微波消解/萃取系统(意大利 MILESTONE 公司); ZENit® 650P 高级石墨炉原子吸收光谱仪(德国 Analytik Jena 公司)。

硝酸(HNO<sub>3</sub>)、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)(UPS 级, 苏州晶瑞化学有限公司)。国家一级标准物质(菠菜(GBW10015, 35 g/瓶)、

柑橘叶(GBW10020, 35 g/瓶)、土壤(GBW07456, 70 g/瓶), 国家标准物质中心)。

## 2.3 实验方法

### 2.3.1 样品制备

香菇鲜品剪去根部去除残留基质和杂质后, 简单冲洗、擦净晾干后, 切碎混匀, 使用 BaRun 调理机粉碎。香菇干品、木屑、麦麸等烘干后, 采用高速万能粉碎机粉碎后过筛。

### 2.3.2 重金属镉含量检测方法及镉污染判定标准

香菇产品中重金属镉含量检测采用国家标准方法 GB/T 5009.15-2014<sup>[16]</sup>, 测试过程中插入国家一级标准物质菠菜及柑橘叶进行质量控制。栽培基质中重金属镉含量的测定参照国家标准方法 GB/T 17141-1997<sup>[17]</sup>, 测试过程中插入国家一级标准物质土壤进行质量控制。

镉污染判定依据参照 GB 2762-2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[18]</sup>中的规定, 香菇中镉限量值为 0.5 mg/kg, 食用菌制品(姬松茸制品除外)镉限量值为 0.5 mg/kg。根据 NY/T 749-2012《绿色食品 食用菌》<sup>[19]</sup>中规定香菇干品的限量值为 2 mg/kg。

## 2.4 重金属镉风险等级评价方法

根据 CSFA 食品中化学物健康风险分级技术指南(简称“风险分级指南”)<sup>[15]</sup>, 化学物健康风险分级通常按照以下 3 个步骤进行: (1)确定潜在健康损害的程度或等级; (2)确定健康损害发生的可能性等级; (3)确定健康风险等级。

### 2.4.1 潜在健康损害程度或等级

确定潜在健康损害程度或等级的步骤包括 Ha 分级赋值、Hb 分级赋值、计算潜在健康损害的程度或等级分值, 具体为:

#### (1) Ha 分级赋值

检索化学物的经口 LD<sub>50</sub> 等急性毒理学资料, 依据 GB15193.3-2014《食品安全国家标准 急性经口毒性试验》<sup>[20]</sup>确定化学物急性毒性分级, 对效应指标 Ha 进行赋值(见表 1)。

对于可导致其他急性毒性的化学物, 必要时可参照上述标准对相应指标进行急性毒性分级。

#### (2) Hb 分级赋值

检索化学物致癌、致突变、生殖/发育毒性、神经毒性以及亚慢性和慢性毒性等资料, 参照国际癌症研究机构(IARC)致癌物分级、欧盟(EU)致突变物分级、EU 生殖毒性(包含发育毒性)物质分级、美国环境保护署(EPA)神经毒

性物质分级、世界卫生组织(WHO)化学品全球统一分类与标签制度(GHS)等分级标准, 确定化学物 Hb 指标的分级及赋值。本研究中对重金属镉的分级赋值参照亚慢性/慢性毒性分级赋值标准(表 2)。

### (3) 化学物的潜在健康损害的等级分值

基于 Ha 和 Hb 的分值或等级, 采用加权平均法计算化学物的潜在健康损害等级分值, 计算公式为: 潜在健康损害等级分值=(Ha 赋值+Hb 赋值)/2。分值是分数时, 结果进位取整。等级分值 1-5 对应的潜在健康损害等级分别为“-”、“+”、“++”、“+++”、“++++”。

### 2.4.2 健康损害发生的可能性等级

确定健康损害发生的可能性等级的步骤包括 Pa/Pb 分级赋值和计算可能性的等级分值, 具体为:

#### (1) Pa 分级赋值

利用暴露评估结果, 根据目标人群暴露量与健康指导值的比值, 为指标 Pa 赋值 1~5, 见表 3。

#### (2) Pb 分级赋值

利用暴露评估结果, 根据个体暴露量超过健康指导值的人群比例, 为指标 Pb 赋值 1~5, 见表 4。

#### (3) 计算健康损害发生的可能性的等级分值

基于指标 Pa 和 Pb 的分值或等级, 采用加权平均法计算健康损害发生的可能性总分值, 计算公式为: 健康损害发生的可能性分值 =  $\frac{Pa \text{ 赋值} + Pb \text{ 赋值}}{2}$ 。分值是分数时, 结果进位取整。健康损害发生的可能性分值 1-5 对应的可能性等级分别为“-”、“+”、“++”、“+++”、“++++”。

表 1 急性毒性分级赋值标准

Table 1 Assignment standard of the classification with respect to acute toxicity

急性毒性等级	大鼠经口 LD <sub>50</sub> (mg/kg·bw)	Ha 赋值
极毒	< 1	5
剧毒	1~50	4
中等毒	51~500	3
低毒	501~5000	2
实际无毒	> 5000	1

表 2 亚慢性/慢性毒性分级赋值标准

Table 2 Assignment standard of the classification with respect to sub-chronic/chronic toxicity

亚慢性/慢性毒性分类	分类依据	赋值
第 1 类	对人类产生显著亚慢性/慢性毒性的物质, 或者根据实验动物研究得到的证据, 可推测在重复接触之后又可能对人类产生显著毒性的物质	4
第 2 类	根据实验动物研究的证据, 可推测在重复接触之后又可能危害人类健康的物质	3

表 3 目标人群暴露量与健康指导值的比值分级赋值标准  
Table 3 Assignment standard of the classification with respect to the ratio of target population exposure level and health guidance value

目标人群暴露量与健康指导值的比值(Pa)	赋值
1	5
0.8~1	4
0.5~0.8	3
0.1~0.5	2
0.1	1

注: 当评估化学物的慢性毒性时, 用平均暴露量描述全人群或年龄组人群暴露量。

表 4 个体暴露量超过健康指导值的人群比例分级赋值标准  
Table 4 Assignment standard of the classification with respect to the proportion of population that individual exposure level exceed health guidance value

个体暴露量超过健康指导值的人群比例(Pb)	赋值
50%	5
21%~50%	4
11%~20%	3
5%~10%	2
5%	1

### 2.4.3 健康风险等级

在获得化学物潜在健康损害的程度或等级(分值)和健康损害发生的可能性等级(分值)后, 采用风险矩阵(risk matrix)方法确定健康风险等级。

风险矩阵是一个二维矩阵模型, 横轴表示潜在健康损害的程度或等级(分值), 纵轴表示健康损害发生的可能性等级, 两个参数在模型上的交叉点对应着健康风险的分值。健康风险分值是定量描述食品中某种危害因素存在健康损害的风险状况的无量纲数值。可以依据健康风险分值将化学物健康风险分为低、中、高 3 个等级。不同等级的

健康风险划分规则参照风险矩阵图(见图 1)。

可能性等级(分值)	潜在健康损害的等级(分值)				
	- (1)	+(2)	++(3)	+++ (4)	++++(5)
++++(5)	中(5)	中(10)	高(15)	高(20)	高(25)
+++ (4)	低(4)	中(8)	中(12)	高(16)	高(20)
++(3)	低(3)	中(6)	中(9)	中(12)	高(15)
+(2)	低(2)	低(4)	中(6)	中(8)	中(10)
- (1)	低(1)	低(2)	低(3)	低(4)	中(5)

图 1 风险矩阵图

Fig.1 Diagram of risk matrix

## 3 结果与分析

### 3.1 香菇基质中重金属镉含量

香菇基质样品中的重金属镉含量结果见表 5。结果表明, 基质样品总体检出率为 64.7%, 检出范围 0.012~0.29 mg/kg。木屑、麦麸等基质主料通常占香菇栽培拌料的 98% 以上, 采集的 21 个基质主料中 17 个样品检出重金属镉, 镉检出率为 81%, 表明培养料中通常含有一定量的重金属镉, 是香菇子实体内重金属镉的主要来源。

### 3.2 香菇产品中重金属镉含量

香菇产品中的重金属镉含量结果见表 6。120 份香菇产品中有 119 份检出重金属镉, 1 份鲜品超过国家限量。其中, 所有香菇干品均检出镉, 检出率 100%, 检出范围为 0.11~1.9 mg/kg, 香菇干品均未超过限量值 2.0 mg/kg。81 份香菇鲜品中有 80 份样品检出重金属镉, 检出率为 98.8%, 检出范围为 N.D.~0.83 mg/kg, 1 份香菇鲜品(含量为 0.83 mg/kg)超过国家限量值 0.5 mg/kg。数据结果显示, 采集的香菇产品中 99.2% 的样品重金属镉均未超过限量, 总体上安全, 但有小部分样品的重金属含量超过或接近限量值, 值得关注。

表 5 香菇基质产品重金属镉含量结果  
Table 5 Results of Cd content in cultivated substrate of *Lentinula edodes*

类型	样品总数(份)	检出个数(份)	检出值范围(mg/kg)	平均值(mg/kg)	检出率(%)	
主料	木屑	13	10	0.027~0.29	0.1	76.9
	麦麸	8	7	0.012~0.092	0.06	87.5
辅料	石灰	5	1	N.D.~0.03	0.03	20
	石膏	5	1	N.D.~0.05	0.05	20
河沙	3	3	0.029~0.12	0.064	100	
总计	34	22	0.012~0.29	0.077	64.7	

注: N.D.为未检出, 本文中镉检出限为 0.005 mg/kg, 低于检出限的检出值为未检出。

表 6 香菇产品重金属镉含量结果  
Table 6 Results of Cd content in fruit body of *Lentinula edodes*

类型	样品总数(份)	检出个数(份)	检出值范围(mg/kg)	高于国家限量值个数(份)	平均值(mg/kg)	检出率(%)
干品	39	39	0.11~1.9	0	0.726	100
鲜品	81	80	N.D.~0.83	1	0.177	98.8

注: N.D.为未检出, 本文中镉检出限为 0.005 mg/kg, 低于检出限的检出值为未检出。

### 3.3 香菇重金属镉风险等级评价

根据 CFSA 风险分级指南中的风险矩阵方法对重金属镉进行风险分级。

#### 3.3.1 确定镉的潜在健康损害程度或等级

##### (1) 镉的急性毒性健康危害(Ha)

大鼠经口 LD<sub>50</sub> 为 2330 mg/kg, 参照表 1 中急性毒性分级赋值标准, Ha 赋值为 2。

##### (2) 镉的慢性毒性健康危害(Hb)

查看表 2 中亚慢性/慢性毒性分级赋值标准, 镉慢性毒性属于显著慢性毒性(第 1 类), 因此 Hb 赋值为 4。

##### (3) 根据公式计算潜在健康损害等级分值

$(2+4)/2=3$ , 即潜在健康损害等级分值为 3, 属于“+ +”等级。

#### 3.3.2 确定健康损害发生的可能性等级

##### (1) 健康损害发生的可能性(Pa)

健康指导值: 2010 年, FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)第 73 次会议对镉的暂定每月耐受摄入量(provisional tolerance monthly intake, PTMI)为 25  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}$ <sup>[21]</sup>。按照普通个体体重 60 kg, 折合成普通个体每日耐受摄入量(provisional tolerance daily intake, PTDI)为 50  $\mu\text{g}/\text{d}$ 。

普通人群暴露量: 暴露量可根据: 暴露量=消费量\*镉污染水平来计算。其中, 消费量为香菇产品日消费水平, 假设食用菌摄入量占深色蔬菜摄入量的 50%, 深色蔬菜摄入量参照 2002 年中国居民营养与健康状况调查结果<sup>[22]</sup>, 本研究香菇日消费取值 45 g/d。NY/T 749-2012《绿色食品 食用菌》<sup>[19]</sup>中规定食用菌干品的干湿比范围为 1:7~1:10, 在本文中按照干湿比为 1:9 将所有香菇干品折合为鲜品后, 计算河南地区香菇产品中镉总体平均含量为: 0.144 mg/kg。因此, 暴露量为: 45 g/d\*0.144 mg/kg = 6.48  $\mu\text{g}/\text{d}$ 。

Pa=暴露量/PTDI=0.1296, 再对照表 3 进行赋分。参照表 3 目标人群暴露量与健康指导值的比值分级赋值标准, Pa 赋值为 2。

##### (2) 健康损害发生的可能性(Pb):

就个体镉摄入量而言, 取全国均值, 全国约有 23.8% 的人镉摄入量超过 PTMI<sup>[15]</sup>。假设因食用菌摄入引起的镉暴露量等同于全国均值, 由此可判断“暴露量超过健康指导值的人群比例为 21%~50%”, 因此 Pb=4。

##### (3) 健康危害可能性属于“++”级

综上所述, 对照风险矩阵模型图, 镉总体健康风险等

级为中风险(9 分)。

评估普通人群镉膳食摄入水平, 采用的消费量数据来自“2002 年中国居民营养与健康状况调查”, 随着居民饮食结构的变迁, 目前的食用菌消费模式和消费量与参考数据存在一定差异; 另外, 平均镉污染水平数据是根据初级农产品来估算, 未考虑经过清洗、浸泡、烹调等加工方式对膳食镉含量的影响。这些不确定因素可能会给评估带来误差。

### 3.4 定点追踪样品重金属含量分析

已有文献报道通过添加回收试验方式对香菇中镉富集规律进行研究<sup>[5,6,8,10]</sup>, 本文通过对香菇栽培全程定点取样方式研究了在无外源重金属添加的自然生长状态下香菇中镉的富集系数。定点追踪样品重金属含量结果见表 7。在层架式香菇生产模式中, 香菇产品中的重金属可能来源主要为原辅料及水。结果显示, 生产用水没有检出重金属

表 7 香菇栽培全程定点取样重金属含量结果  
Table 7 Results of Cd content in samples collected by constant sampling mode

时期	样品名称	镉(mg/kg)	
		基地 A	基地 B
培养料准备	木屑	0.064	0.034
	麦麸	0.048	0.091
	石膏/石灰	0.05	0.03
	水	N.D.	N.D.
	拌料	0.044	0.034
	按照配比折合的配料浓度	0.061	0.045
菌丝培养	袋料(灭菌后)	N.D.	0.041
	菌丝长满后菌棒	0.038	N.D.
	移入菇房前菌棒	0.029	0.023
	香菇(菇蕾)	0.2	0.23
出菇期	香菇(中菇)	0.16	0.13
	香菇(大菇)	0.2	0.14
	香菇产品平均含量		0.18
	水	N.D.	N.D.

镉。根据原辅料配比以及原料中镉含量计算各原料、辅料对培养料中镉含量的贡献, 木屑贡献率最高。可以说明香菇中的镉来自于栽培主料木屑。两个基地出菇期的香菇菇蕾、中菇、大菇中均有重金属镉检出, 检出范围为: 0.13~0.23 mg/kg, 平均含量略高于估算的河南地区香菇产品中镉总体平均含量 0.144 mg/kg。从检出值看, 阶段产品中镉含量变化不大, 菇蕾期稍高, 所有样品镉含量均低于国家限量值 0.5 mg/kg。自然生长状态下, 香菇子实体中镉的平均含量约为拌料中的 4.6 倍, 即自然生长状态下镉富集系数约为 4.6。在常规管理模式下, 采用镉含量低的原料可以在源头上保证产出的香菇产品的质量安全。

#### 4 结 论

河南省香菇产品的质量安全对本省乃至全国香菇产品的消费安全有重要影响, 河南地区香菇子实体及其栽培基质中的重金属镉含量范围: 香菇鲜品: N.D.~0.83 mg/kg, 香菇干品: 0.11~1.9 mg/kg, 栽培基质: N.D.~0.29 mg/kg。所抽取的 120 份香菇产品中仅有 1 份鲜品超出国家限量值 0.5 mg/kg, 99.2% 的香菇产品未超过国家限量标准, 香菇总体上是安全的, 消费者可放心购买。采用国家食品安全风险评估中心的风险矩阵方法进行镉风险等级分析, 初步确定普通人群香菇消费镉暴露风险等级为中风险, 需要对香菇产品镉含量风险加强监管、提前防范。由于膳食资料和数据方面原因存在不确定因素, 未考虑消费模式、消费量及清洗、浸泡、烹调等加工方式对膳食镉含量的影响, 会对评估结果造成部分偏差, 但对于科学消费仍有指导意义。消费者选购质量安全的产品并注意合理膳食可有效降低风险。通过对香菇全程追踪定点采集样品, 得到自然生长状态下香菇中镉的富集系数约为 4.6。目前栽培上尚未对培养料中的重金属限量做出明确规定, 栽培者可以从源头上控制栽培料中的重金属限量来控制子实体中的镉含量, 保障香菇产品质量安全。

#### 参考文献

- [1] 李月梅. 香菇产业具有良好的发展前景 [J]. 食品科学, 2005, 26(7): 261-266.  
Li YM. The good prospects in *Lentinula edodes* industry [J]. Food Sci, 2005, 26(7): 261-266.
- [2] 耿建立. 对 2014 年度全国食用菌统计调查结果的分析[DB/OL]. <http://www.cefa.org.cn/2015/12/17/9168.html>.  
Geng JL. The analysis of the annual national survey results on edible fungus in 2014 [DB/OL]. <http://www.cefa.org.cn/2015/12/17/9168.html>.
- [3] 魏银初, 班新河, 王震, 等. 河南省香菇产业现状与发展对策 [J]. 食用菌, 2011(5): 4-6.  
Wei YC, Ban XH, Wang Z, et al. The present situation and development strategies of *Lentinula edodes* industry in Henan province [J]. Edible Fungi, 2011(5): 4-6.
- [4] 王传福, 郑明立, 陈文予. 河南省香菇生产发展概况及思考[J]. 中国食用菌, 2010, 29(3): 57-59.  
Wang CF, Zheng ML, Chen WY. The development situation and thinking of *Lentinula edodes* production in Henan province [J]. Edible Fungi China, 2010, 29(3): 57-59.
- [5] 魏海龙, 吴学谦, 曹群, 等. 重金属元素在香菇栽培基质和子实体中迁移特性研究 [J]. 中国食用菌, 2009, 28(3): 43-46, 52.  
Wei HL, Wu XQ, Cao Q, et al. Transportation characteristics of heavy metals in cultivated substrate and fruit body of *Lentinula edodes* [J]. Edible Fungi China, 2009, 28(3): 43-46, 52.
- [6] 徐丽红, 吴应森, 叶长文, 等. 重金属镉在香菇品种中的积累比较[J]. 食用菌学报, 2006, 13(4): 91-92.  
Xu LH, Wu YM, Ye CW, et al. Comparison of the accumulation of heavy metal cadmium in the different *Lentinula edodes* varieties [J]. Acta Edulis Fungi, 2006, 13(4): 91-92.
- [7] 柴振林, 吴学谦, 魏海龙, 等. 浙江省鲜香菇重金属背景值及安全质量评价[J]. 中国食用菌 2008, 27(4): 31-33.  
Chai ZL, Wu XQ, Wei HL, et al. Studies on the background levels of heavy metal contents and the evaluation of quality and safety in fresh *Lentinula edodes* from Zhejiang province [J]. Edible Fungi China, 2008, 27(4): 31-33.
- [8] 徐丽红, 陈俏彪, 叶长文, 等. 食用菌对培养基中有害重金属的吸收富集规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, (24)(增刊): 42-47  
Xu LH, Chen QB, Ye CW, et al. Regularity of heavy metal absorption and accumulation in the cultivated fungi [J]. J Agro-Environ Sci, 2005, 24(suppl): 42-47.
- [9] 曹群, 吴学谦, 柴振林, 等. 浙江省干香菇重金属背景值及安全质量评价研究 [J]. 浙江林业科技, 2008, 28(6): 6-10.  
Cao Q, Wu XQ, Chai ZL, et al. Study on background value of heavy metals content and assessment on safety and quality in dried *Lentinula edodes* in Zhejiang [J]. J Zhejiang Sci Technol. 2008, 28(6): 6-10.
- [10] 何旭孔, 白冰, 邢增涛, 等. 香菇对培养料中镉的富集作用研究 [J]. 食品科学, 2013, 34(21): 183-187.  
He XK, Bai B, Xing ZT, et al. Accumulation of cadmium in *Lentinula edodes* from its compost [J]. Food Sci, 2013, 34(21): 183-187.
- [11] 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]. Edible Fungi China, 2013, 32(3): 50-53.
- [12] 徐丽红, 吴应森, 陈俏彪, 等. 香菇(*Lentinula edodes*)对重金属镉(Cd)的吸收规律及控制技术研究 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1300-1304.  
Xu LH, Wu YM, Chen QB, et al. Investigation of cadmium uptake and accumulation by *Lentinula edodes* and its control technique [J]. J Agro-Environ Sci, 2011, 30(7): 1300-1304.
- [13] 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): 440-452.  
Liu YT, Chen QS, Zhang Q, et al. Assessing health risk of heavy metals in mushroom [J]. Hubei Agric Sci, 2015 54(2): 440-452.
- [14] 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, 2016, 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*, 2016, 6(6): 2361–2367.
- [15] 国家食品安全风险评估中心. 食品中化学物健康风险分级技术指南 [EB/OL], 2015 年. <http://www.cfsa.net.cn/Article/News.aspx?id=E7DC079B3209D04E8335E6C4719FC9CF133815C10DEE7BAF>.  
China National Center for Food Safety Risk Assessment. Guidance for risk classification of food chemicals [EB/OL], 2015. <http://www.cfsa.net.cn/Article/News.aspx?id=E7DC079B3209D04E8335E6C4719FC9CF133815C10DEE7BAF>.
- [16] GB/T 5009.15-2014 食品中镉的测定 [S].  
GB/T 5009.15-2014 Determination of cadmium [S].
- [17] GB/T 17141-1997 土壤质量铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法 [S].  
GB/T 17141-1997 Determination of lead, cadmium for soil quality Graphite furnace atomic absorption spectrometry [S].
- [18] GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].  
GB 2762-2012 National food safety standards-Maximum levels of contaminants in foods.
- [19] NY/T 749-2012 绿色食品 食用菌 [S].  
NY/T 749-2012 Green food-Edible fungi [S].
- [20] GB 15193.3-2014 食品安全国家标准 急性经口毒性试验 [S].  
GB 15193.3-2014 National food safety standards-Acute oral toxicity test [S].
- [21] FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants (Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 960, 2011.
- [22] 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. Nutrition and health survey of chinese residents(10)-nutrition and health data set in 2002 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008.

(责任编辑: 杨翠娜)

### 作者简介



李淑芳, 助理研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。  
E-mail: shufang1216@126.com



周玲, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。  
E-mail: Zlnk252@aliyun.com



刘继红, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测技术研究及农产品质量安全风险评估。  
E-mail: ljha3100@163.com