

香菇 (*Lentinus edodes*) 对重金属镉 (Cd) 的吸收规律及控制技术研究

徐丽红¹, 吴应淼², 陈俏彪², 叶长文², 王钢军¹, 张永志¹

(1. 浙江省农业科学院农产品质量标准研究所, 杭州 310021 2. 浙江省庆元县食用菌科研中心, 浙江 庆元 323800)

摘要 通过在香菇培养料中投放一定浓度的重金属镉 (Cd), 研究香菇子实体对 Cd 的吸收富集规律。结果表明, 香菇子实体对培养料中 Cd 的吸收富集规律为 $y=541.77x^{2.9382}$ ($R^2=0.9135$) (x, y 分别为培养料、香菇中 Cd 的含量), 富集系数达到 10.39~18.00, 当香菇子实体中 Cd 的含量为 $y=1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 培养料中 Cd 的临界含量值 $x=0.1347 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。分别选择 3 个香菇主栽品种、两种不同栽培方式进行比较试验, 研究香菇对 Cd 的积累特性。结果表明, Cd 低富集的品种为“庆元 9015”, 比对镉积累最多的“庆科 20”Cd 含量降低 33.19%, Cd 低富集的栽培方式为“离地层架栽培方式”。据此形成了香菇中重金属 Cd 的综合控防技术, 为香菇质量安全控制提供依据。

关键词 香菇 重金属 Cd 培养料 吸收富集规律

中图分类号 X503.231 **文献标志码** A **文章编号** 1672-2043(2011)07-1300-05

Investigation of Cadmium Uptake and Accumulation by *Lentinus edodes* and Its Control Technique

XU Li-hong¹, WU Ying-miao², CHEN Qiao-biao², YE Chang-wen², WANG Gang-jun¹, ZHANG Yong-zhi¹

(1. Institute of Quality and Standard for Farm Products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. Qingyuan Science & Research Center of Edible Fungi, Qingyuan 323800, China)

Abstract The heavy metal cadmium (Cd) was added into the culture medium at certain concentration in order to study the uptake and accumulation by *Lentinus edodes* during two consecutive growth years. The tested *Lentinus edodes* strain was “*Lentinus edodes* L26” during May, 2004 to May 2005 and the tested *Lentinus edodes* strain was “Qing Ke 20” during May 2005 to May 2006. The results showed that Cd uptake and accumulation by *Lentinus edodes* could be fitted by equation of $y=541.77x^{2.9382}$, (the correlation coefficient $R^2=0.9135$), where x was culture materials ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) and y was Cd content in the fruit body. When $y=1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, the threshold content of Cd in the culture material $x=0.1347 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. In addition, three additional different species of *Lentinus edodes* were also investigated on their Cd uptake and accumulation capacity, the species namely were “Qing Ke 20”, “QingYuan 241” and “QingYuan 9015”, and *Lentinus edodes* “QingYuan 9015” showed the lowest accumulation of Cd, so *Lentinus edodes* strain “QingYuan 9015” could be chosen as the optimal variety. Two other different cultivation patterns were also investigated on Cd uptake and accumulation by *Lentinus edodes*, and “the cultivation pattern of shelf-planting” showed the lowest accumulation of Cd, which could be chosen as the optimal cultivation pattern. This study is helpful for development of Cd integrated control techniques and provides basis for safety of *Lentinus edodes*.

Keywords *Lentinus edodes*; heavy metal; Cd; culture medium; uptake and accumulation

近几年,我国食用菌栽培规模每年以 15% 的速度增长,浙江省作为世界人工栽培香菇的发源地,一直是省内山区农村经济发展的一大支柱产业,尤其是代料香菇的栽培规模一直在全国领先^[1]。随着食用菌的

营养功能、医药保健功能逐步被欧美等国的了解和接受,食用菌的全球消费量、栽培量急剧增加。自上世纪 90 年代以来,我国食用菌产业迅速发展,引起国际食用菌界的关注。2008 年,我国食用菌产量 1 800 多万 t, 占全球总产量的 70% 以上,已成为国际食用菌生产大国和出口大国^[2]。代料栽培食用菌所用的主要原料也从单纯使用木屑、段木等原料转向农副产品(如棉子壳、稻草、废棉、野草、桑枝、甘蔗渣、甜菜渣、花生壳、葵花籽壳、树根)、工业废料(如废纸浆、烟草茎秆、

收稿日期 2010-11-19

基金项目 浙江省自然科学基金项目(Y304080) 国家科技部科技兴贸项目(2004EE990049)

作者简介 徐丽红(1962—),女,浙江丽水人,学士,副研究员,主要从事农产品质量安全方面的研究。E-mail: Xlh3888@163.com

砷糠、酒糟、柠檬酸废液)、城市废旧物品(如废旧家具、废旧衣服、地毯、城市行道树的剪枝、茶叶渣)等。这些原料由于来源不同重金属 Cd 的含量也有很大差异。

据陈黎^[3]、黎勇^[4]、蔡一新^[5]等研究结果:食用菌中重金属含量的变异系数极大,说明环境条件、品种和栽培技术都影响重金属在食用菌中的累积,控制好培养料及其生长环境中的重金属含量可以提高食用菌的质量。在食用菌对有害重金属的吸收富集规律研究方面,国内外对蘑菇、平菇等食用菌的研究比较多,而对香菇的研究较少^[6-7]。据徐丽红等检测调研^[8]浙江省食用菌主要质量安全问题是重金属超标,香菇主要是 Cd 超标,主要污染源为原辅材料和土壤。目前国内虽有人开展香菇对培养料中多种有害重金属的吸收富集规律研究^[9-11],但对香菇培养料中有害重金属 Cd 污染的临界含量值至今没有系统研究,更缺乏香菇中有害重金属 Cd 的综合防控技术。本试验选择我国出口量最大的香菇作为试验材料,系统地研究了香菇对培养料中有害重金属 Cd 的吸收富集规律、临界含量值及有害重金属 Cd 低积累的香菇品种、栽培方式,以形成香菇中 Cd 的综合防控技术,为香菇生产质量安全控制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

连续两个生长年度开展了香菇对培养料中有害重金属 Cd 的吸收富集规律试验,2004 年 5 月至 2005 年 5 月供试香菇品种为香菇 L26,2005 年 5 月至 2006 年 5 月供试香菇品种为庆科 20;开展了不同香菇品种对 Cd 的积累特性比较试验,供试香菇品种为“庆科 20”、“庆元 241”、“庆元 9015”;开展了不同栽培方式香菇 Cd 的累积特性比较试验,供试香菇品种为香菇 241-1。以上试验供试香菇菌种均为庆元县食用菌科研中心收藏。

检测所用的盐酸、氢氟酸、硝酸、高氯酸等化学试剂均为优级纯。所用检测仪器为美国 Thermo Elemental 公司生产的 Soloar MKII-M6 火焰/石墨炉原子吸收光谱仪。

投放在香菇培养基中的重金属 Cd 标准溶液的配制:精确称取干燥过的硫酸镉($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 2.282 4 g(纯度 99.0%),分次加 20 mL 硝酸(1+1)溶解,加 2 滴硝酸,移入 1 000 mL 容量瓶,用蒸馏水定容至刻度,混匀。此溶液含镉 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,在投放前按实际

要求配制不同浓度的标准溶液,拌料时按培养基含水量 58%加水稀释后,充分拌匀。

香菇固体培养基组成:木屑 78%、麸皮 20%、红糖 1%、石膏 1%。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地点

香菇栽培试验在浙江省庆元县食用菌科研中心试验场,重金属检测在浙江省农业科学院农产品质量标准研究所进行。

1.2.2 栽培条件

室内温度为 $25 \sim 26^\circ\text{C}$,室外为自然气温。除不同栽培方式香菇 Cd 累积特性比较试验外,其他均采用高棚层架袋栽方式。

1.2.3 栽培试验设计

1.2.3.1 香菇对培养料中 Cd 的吸收富集试验

第一年度初步试验,在常用的培养料理化条件下,外源添加的有害重金属 Cd 设 5 个较大范围的浓度 0、0.5、1、5、10、50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,每个处理各投加 10 kg 培养料(按风干计),每个处理生产菌段 12 袋,6 个处理共 72 袋。在初步试验明确培养料中有害重金属 Cd 的临界含量值大约为 $0.085 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 后,第二年度开展精密试验:外源添加的有害重金属 Cd 在临界含量值左右设 5 个浓度 0、0.08、0.09、0.10、0.11、0.12 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,每个处理各投加 50 kg 培养料(按风干计)。

1.2.3.2 不同品种对 Cd 的积累特性比较试验

在培养料中 Cd 含量大于“临界含量值”的栽培环境中,进行不同香菇品种对 Cd 的积累特性比较试验。试验所用的香菇菌种均为浙江香菇主栽品种,在常用的培养料理化条件下,在原辅材料中添加有害重金属 Cd $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,使原辅材料中 Cd 的含量大于“临界含量值”(0.134 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),每个品种为 1 个处理,共 3 个品种设 3 个处理,每处理各添加 30 kg 培养料,制成 39 袋菌棒,分别以不添加有害重金属 Cd 的处理为对照(CK),共 6 个处理,不设重复(详见表 1)。

1.2.3.3 不同栽培方式对 Cd 的累积特性比较试验

设高棚层架、露地畦床式栽培方式分别为处理 1、处理 2,每个处理各在 30 kg 培养料中添加浓度为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 Cd 标准溶液 60 mL,使培养料的理论添加量为 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。以不添加外源 Cd 的高棚层架、露地畦床式栽培方式作 CK1、CK2。选择自然污染土壤(土壤 Cd 本底值 $0.349 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)作试验田,培养料中 Cd 的本底含量为 $0.135 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,不设重复(详见表 2)。

表 1 品种试验处理设置
Table 1 Trial arrangement for different variety

处理	品种	培养料中 Cd 的本底含量/mg·kg ⁻¹	添加 Cd 的浓度/mg·kg ⁻¹	添加 Cd 量/mL	培养料添加量/kg	理论添加量/mg·kg ⁻¹
处理 1	庆科 20	0.135 0	0.5	60	30	1.0
CK1	庆科 20	0.135 0	—	0	30	0
处理 2	庆元 9015	0.135 0	0.5	60	30	1.0
CK2	庆元 9015	0.135 0	—	0	30	0
处理 3	庆元 241	0.135 0	0.5	60	30	1.0
CK3	庆元 241	0.135 0	—	0	30	0

1.2.4 样品采集及检测

香菇对培养料中有害重金属 Cd 的吸收富集规律试验 取栽培前培养料、土壤,检测分析培养料、土壤中 Cd 的本底含量。第一年试验于第二潮菇出菇时取香菇样品,60℃烘干,检测分析香菇子实体中有害重金属 Cd 的含量 第二年试验于第二潮菇出菇时取样,60℃烘干,每个处理重复检测 10 次。其他试验均于第二潮菇出菇时取样,60℃烘干,每处理检测分析香菇子实体中有害重金属 Cd 的含量。

香菇产品中有害重金属 Cd 含量参照国家标准 GB/T 5009.15—2003 食品中镉的测定^[12],香菇生产基地土壤、培养料中有害重金属 Cd 含量参照国家标准 GB/T 17141—1997 土壤质量铅、镉的石墨炉原子吸收分光光度法测定^[13]。

1.2.5 数据处理

所有实验数据均采用 Microsoft Excel 处理。

2 结果与讨论

2.1 香菇对培养料中有害重金属 Cd 的吸收富集规律

2003—2005 年徐丽红等对浙江省各地 268 个食用菌样品检测调研^[8],调查并检测了香菇生产基地灌溉用水、土壤、培养料及香菇产品中 Cd 的污染状况,明确了香菇中重金属 Cd 污染主要来自培养料和土壤。临界含量值即指香菇产品中某种有害重金属的含量等于国家卫生标准限量值时,所对应的培养料中某种有害重金属的含量值。富集系数,即指香菇产品中

某种有害重金属的含量与相应培养料中有害重金属的含量之比,富集系数越大,则富集能力越强。根据国家标准 GB/T 19087—2008 地理标志产品 庆元香菇^[14] 干香菇中 Cd 的含量不得高于 1.5 mg·kg⁻¹,鲜香菇不得高于 0.5 mg·kg⁻¹。

第一年度初步试验结果,得出香菇对培养料中 Cd 的吸收富集规律为 $y=11.725x^{0.8344}$ ($r^2=0.9877$),式中 x 、 y 分别为培养料、香菇中镉的含量,且富集系数较大,为 7.0~15.7。当干香菇中 Cd 的含量 $y=1.5$ mg·kg⁻¹ 时,培养料中临界含量值大约为 $x=0.085$ mg·kg⁻¹,数值较低与空白对照中的数值接近,说明香菇对 Cd 的富集能力特别强,即使一般生长的香菇中 Cd 的含量都普遍较高(详见表 3)。

第二年度在临界含量大约值 0.085 mg·kg⁻¹ 附近,各添加 5 个浓度 Cd 继续进行有害重金属在香菇—原辅材料系统中的吸收富集规律试验,试验结果 香菇对培养料中 Cd 的吸收富集规律为 $y=541.77x^{2.9382}$ ($r^2=0.9135$),式中 x 、 y 分别为培养料、香菇中镉的含量,且富集系数较大,为 10.39~18.00。当干香菇中 Cd 的含量 $y=1.5$ mg·kg⁻¹ 时,通过计算得出其培养料中 Cd 的临界含量值为 0.1347 mg·kg⁻¹ (详见表 4)。

经过 2a 的连续试验研究,探明了香菇对培养料中 Cd 的吸收富集规律及临界含量值,为食用菌质量安全控制提供理论依据。

2.2 不同品种香菇对 Cd 的吸收富集能力

由表 5 可知,与徐燕玲等在水稻中研究结果^[15]相

表 2 栽培方式试验处理设置
Table 2 Trial arrangement for different cultivation pattern

处理	栽培方式	添加 Cd 的浓度/mg·kg ⁻¹	添加 Cd 的量/mL	培养料添加量/kg	培养料理论添加量/mg·kg ⁻¹	段数
处理 1	高棚	0.5	60	30	1.0	39
CK1	高棚	0	0	30	0	39
处理 2	露地	0.5	60	30	1.0	39
CK2	露地	0	0	30	0	39

注 培养料中 Cd 的本底含量 0.135 0 mg·kg⁻¹ 土壤 Cd 本底值 0.349 mg·kg⁻¹。

表 3 香菇对培养料中有害重金属 Cd 的吸收富集规律 (第一年度初步试验)

Table 3 The absorption and accumulation of *L.edodei* to heavy metals (Cd) in cultivate medium

Cd 投放量/mg·kg ⁻¹	0	0.5	1	5	10	50
培养料中 Cd 实测值/mg·kg ⁻¹	0.120	0.528	1.040	4.624	10.789	47.19
香菇中 Cd 含量/mg·kg ⁻¹	1.640	8.269	14.089	41.228	75.922	—
香菇对 Cd 的富集系数	13.667	15.661	13.547	8.916	7.037	—

类似,香菇品种间对镉积累存在较大差异。“庆科 20”、“庆元 241”、“庆元 9015”对 Cd 的富集系数分别为 12.49、12.09、8.57,富集能力以“庆科 20”为最强,其次为“庆元 241”。“庆科 20”子实体中 Cd 平均含量比“庆元 9015”的平均 Cd 含量高 33.19%,其次为“庆元 241”,比“庆元 9015”的平均 Cd 含量高 20.08%。3 个香菇品种对 Cd 的富集能力,以“庆元 9015”为最弱。表明香菇对培养料中 Cd 的累积量与香菇品种有较大关系,上述 3 个品种中,以“庆元 9015”对重金属 Cd 的吸收富集能力为最弱,生产上应首选庆元 9015 为抗重金属 Cd 的香菇品种。

2.3 不同栽培方式香菇对 Cd 的累积特性

试验结果表明:当培养料中镉的理论添加量为 1 mg·kg⁻¹ 时,以高棚层架栽培方式对 Cd 的富集能力较强,比露地畦床式栽培方式 Cd 的含量高 16.2% (表 6);当培养料中镉的理论添加量为 0 mg·kg⁻¹ 时,以露地畦床式栽培方式对 Cd 的富集能力较强,比高棚层

架栽培方式 Cd 含量高 4.0%。说明当培养料中 Cd 含量较高时,高棚层架栽培方式香菇子实体中的 Cd 含量主要来源于培养料中的 Cd;当培养料中 Cd 含量较低时,露地畦床式栽培方式香菇子实体中的 Cd 含量主要来源于土壤中的 Cd,本底值较高的土壤中的 Cd 可能通过毛细管作用进入培养料为香菇子实体所吸收富集。通过不同栽培方式香菇 Cd 累积特性的比较试验,筛选出 Cd 低富集的栽培方式为“离地层架栽培方式”。

3 结 论

通过 2 a 试验,探明了香菇子实体对培养料中 Cd 的吸收富集规律为 $y=541.77x^{2.9382}$ ($r^2=0.9135$, x 、 y 分别为培养料、香菇子实体中 Cd 的含量),且富集系数较大,为 10.39~18.00,当香菇子实体中 Cd 的含量为 $y=1.5$ mg·kg⁻¹ 时,临界含量值 $x=0.1347$ mg·kg⁻¹,说明香菇对 Cd 的富集能力特别强,培养料中

表 4 香菇对培养料中 Cd 的吸收富集规律

Table 4 The Uptake and accumulation of heavy metals (Cd) by *Ledodei* in culture medium

处理	培养料			香菇		富集系数
	Cd 投放量/mg·kg ⁻¹	Cd 实测值/mg·kg ⁻¹	标准偏差	Cd 含量/mg·kg ⁻¹	标准偏差	
(CK)	0	0.135 0	0.02	1.403 3	0.84	10.39
处理 1	0.08	0.145 0	0.01	2.190 8	0.74	15.11
处理 2	0.09	0.154 5	0.01	2.432 7	0.82	13.75
处理 3	0.10	0.156 5	0.02	2.266 8	0.52	14.48
处理 4	0.11	0.162 6	0.01	2.404 4	0.34	14.79
处理 5	0.12	0.173 3	0.01	3.119 4	0.20	18.00

表 5 不同品种香菇子实体中 Cd 的含量

Table 5 Content of heavy metal (Cd) in Different *Lentinus edodes* strains

品种	处理	培养料中添加 Cd 含量/ mg·kg ⁻¹	子实体中 Cd 含量/ mg·kg ⁻¹	平均富集系数	子实体中 Cd 平均含量/ mg·kg ⁻¹	比庆元 9015±%
庆科 20	处理 1	1.0	10.479 5	12.47	6.30	+33.19
	CK1	0	2.118 0			
庆元 241	处理 2	1.0	9.192 9	12.09	5.68	+20.08
	CK2	0	2.165 3			
庆元 9015	处理 3	1.0	8.100 0	8.57	4.73	—
	CK3	0	1.351 4			

注 培养料中 Cd 的本底含量为 0.135 0 mg·kg⁻¹。

表 6 不同栽培方式对香菇子实体中 Cd 的含量
Table 6 Content of heavy metal (Cd) in different *Lentinus edodes* cultivation patterns

处理	培养料理论添加量/ mg·kg ⁻¹	栽培方式	培养料中 Cd 本底含量/ mg·kg ⁻¹	土壤 Cd 本底值/ mg·kg ⁻¹	香菇子实体中 Cd 含量/ mg·kg ⁻¹	培养料理论添加量 相同时±%
处理 1	1.0	高棚	0.135 0	0.349	8.08	+16.2%
处理 2	1.0	露地	0.135 0	0.349	6.95	-
CK 2	0	露地	0.135 0	0.349	1.54	+4.0%
CK1	0	高棚	0.135 0	0.349	1.48	-

Cd 的含量对子实体的镉含量存在较大影响,控制好培养料中 Cd 的含量能够降低香菇子实体中 Cd 的含量。

通过 3 个不同香菇品种 Cd 积累特性比较试验,筛选出 Cd 低富集的香菇品种为“庆元 9015”,比对 Cd 积累最多的“庆科 20”Cd 含量降低 33.19%,可作为香菇栽培中控制 Cd 含量的优选菌种。

通过不同栽培方式香菇 Cd 累积特性比较研究,筛选出 Cd 低富集的栽培方式为“离地层架栽培方式”。

综合以上研究结果,形成了香菇中重金属 Cd 的综合控防技术,为香菇质量安全控制,提升我国出口香菇产品质量等级和竞争力提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 周樟平,潘明冬.香菇的干制与贮藏技术[J].浙江食用菌,2009,17(4):53-54.
ZHOU Zhang-ping, PAN Ming-dong. Dried and storage technology of *Lentinus edodes*[J]. *Edible Fungi of Zhejiang*, 2009, 17(4):53-54.
- [2] 我国食用菌年产量居世界第一位 [J]. 食品与发酵工业, 2009, 11: 127.
Food and fermentation industries, 2009, 11, 127
- [3] 陈黎,江勇,王明亮,等.四川部分地区 3 种食用菌中 7 种重金属含量测定[J].中国食用菌,2009,28(2):39-42.
CHEN Li, JIANG-yong, WANG Ming-liang, et al. The determination of 7 heavy metals of 3 edible fungi in part area of Sichuan Province[J]. *Edible Fungi of China*, 2009, 28(2):39-42.
- [4] 黎勇,黄建国,袁玲,等.重庆市主要食用菌的重金属含量及评价[J].西南农业大学学报(自然科学版),2006,28(2):231-235.
LI Yong, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, et al. Analysis and assessment of heavy metal pollution in edible mushrooms from Chongqing[J]. *Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2006, 28(2):231-235.
- [5] 蔡一新,华永有.福建省食用菌铅、砷、镉污染状况研究[J].卫生研究,2003,32(6):588-589.
CAI Yi-xin, HUA Yong-you. Studies on Fujian mushroom lead, arsenic, cadmium status of contamination[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2003, 32(6):588-589.
- [6] 袁瑞奇,孟祥芬,康源春,等.平菇对重金属富集机理的研究[J].河南农业大学学报,2006,40(2):181-185.
YUAN Rui-qi, MENG Xiang-fen, KANG Yuan-chun, et al. Study on heavy metal accumulation mechanism in *pleurotus ostreatus*[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2006, 40(2):181-185.
- [7] 黄晨阳,张金霞.食用菌重金属富集研究进展[J].中国食用菌,2004,23(4):7-9.
HUANG Chen-yang, ZHANG Jin-xia. Studies on heavy metal accumulation in edible mushroom[J]. *Edible Fungi of China*, 2004, 23(4):7-9.
- [8] 徐丽红,张永志,王钢军,等.浙江省食用菌质量安全现状调查研究[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):679-683.
XU Li-hong, ZHANG Yong-zhi, WANG Gang-jun, et al. The quality and safety of edible fungi from Zhejiang Province[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(suppl):679-683.
- [9] 袁瑞奇,李自刚,屈凌波,等.食用菌栽培中重金属污染与控制技术研究进展[J].河南农业大学学报,2001,35(2):159-162.
YUAN Rui-qi, LI Zi-gang, QU Ling-bo, et al. Studies on the contamination of heavy metals and the controlling techniques during the cultivation of edible fungi[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2001, 35(2):159-162.
- [10] 施巧琴,林琳,陈哲超,等.重金属在食用菌中的富集及其对生产代谢的影响[J].真菌学报,1991,10(4):301-311.
SHI QIAO-qin, LIN Lin, CHEN Zhe-chao, et al. Studies on the accumulation of heavy metals and their effect on the growth and metabolism in edible fungi mycosystema[J]. *Acta Mycologica Sinica*, 1991, 10(4):301-311.
- [11] 邢增涛,王晨光,潘迎捷,等.食(药)用菌中重金属的研究进展[J].食用菌学报,2000,7(2):58-64.
XING Zeng-tao, WANG Chen-guang, PAN Ying-jie, et al. The progress in the research of the heavy metal elements contained in edible fungi[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2000, 7(2):58-64.
- [12] 中华人民共和国卫生部.中国国家标准化管理委员会. GB/T5009.15—2003 食品中镉的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
Ministry of Health, National Standardization Management Committee. GB/T5009.15—2003 Determination of Cadmium [S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.
- [13] 国家环境保护局. 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].北京:中国标准出版社,1997.
National Environmental Protection Agency. GB/T 17141—1997 Soil quality—Determination of lead, Cadmium—Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry [S]. Beijing: Standards Press of China, 1997.
- [14] 国家质量监督检验检疫局. GB/T 19087—2008 地理标志产品 庆元香菇[S].北京:中国标准出版社,2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ). GB 19087—2003 Product of designations of origin or geographical indication—Qingyuan xianggu[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [15] 徐燕玲,陈能场,徐胜光,等.低镉积累水稻品种的筛选方法研究—品种与类型[J].农业环境科学学报,2009,28(7):1346-1352.
XU Yan-ling, CHEN Neng-chang, XU Sheng-guang, et al. Breeding rice cultivars with low accumulation of cadmium Cultivars versus types[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(7):1346-1352.