

红平菇(*Pleurotus djamor*)的镉耐性及其对镉去除能力的研究

霍存录, 商圆圆, 竹文坤, 贺新生*

(西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘 要: 食用菌富集重金属是生物修复的一个重要研究方向。在培养料中投放不同浓度的重金属镉(0、1.0、2.0、10.0、20.0、100.0 mg·kg⁻¹ Cd)并做栽培试验,研究了 Cd 对红平菇菌丝体生长、子实体产量的影响及红平菇对培养料中 Cd 的去除能力。结果显示,培养料中初始 Cd 浓度越大,菌丝体的生长速度越慢,尽管两潮菇子实体平均产量有显著下降,但仍具有较好的 Cd 耐性。红平菇具有很强的 Cd 富集能力,并且 Cd 浓度越高,富集量越高,当 Cd 浓度从 1 mg·kg⁻¹ 增加到 100 mg·kg⁻¹ 时,一、二潮菇的子实体中 Cd 富集量分别从 3.58 mg·kg⁻¹ 和 9.51 mg·kg⁻¹ 增加到了 18 mg·kg⁻¹ 和 85.61 mg·kg⁻¹。红平菇对培养料中 Cd 的去除率随 Cd 浓度的增加而降低,当 Cd 浓度为 1 mg·kg⁻¹ 和 2 mg·kg⁻¹ 时总去除率高达 69.78%和 36.61%,100 mg·kg⁻¹ 时去除率为 6.04%。红平菇的 Cd 耐性较好,并对培养料中低浓度的 Cd 有较好的去除能力。

关键词: 红平菇;Cd;耐性;去除能力

中图分类号: X172 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2013)05-0966-06 doi:10.11654/jaes.2013.05.013

Tolerance and Removal Ability of *Pleurotus djamor* on Cadmium

HUO Cun-lu, SHANG Yuan-yuan, ZHU Wen-kun, HE Xin-sheng*

(School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: It is an emerging research field of bioremediation that heavy metals are enriched by edible fungi. We try to understand the effects of cadmium(Cd) on mycelium growth and yield of *Pleurotus djamor*, as well as the enrichment and removal rate of Cd by edible fungi *P. djamor* in present paper. Therefore, the *P. djamor* were cultivated on culture medium adding Cd with different concentration including 0 mg·kg⁻¹, 1.0 mg·kg⁻¹, 2.0 mg·kg⁻¹, 10.0 mg·kg⁻¹, 20.0 mg·kg⁻¹ and 100.0 mg·kg⁻¹. The results showed that the mycelium growth became slower and average yield reduced significantly with Cd concentration increasing. However, it also indicated that the *P. djamor* were well tolerant on Cd stress. On the other hand, Cd content of first and second flush reached 18 mg·kg⁻¹ and 85.61 mg·kg⁻¹ respectively in 100 mg·kg⁻¹ Cd culture medium, comparing with 3.58 mg·kg⁻¹ and 9.51 mg·kg⁻¹ in 1.0 mg·kg⁻¹ Cd culture medium, indicating strong Cd enrichment ability of *P. djamor* and the enrichment increased gradually with the increasing levels of Cd in the culture medium. The gross removal rates of Cd by *P. djamor* cultured in 1 mg·kg⁻¹, 2 mg·kg⁻¹, 100 mg·kg⁻¹ Cd medium were 69.78%, 36.61% and 6.04% respectively, indicating higher Cd removal rate with lower Cd medium of *P. djamor*. Therefore, we conclude that the *P. djamor* could well tolerant to Cd stress and was a good edible fungi for bioremediation to remove Cd, especially for low Cd concentration contamination.

Keywords: *Pleurotus djamor*; Cd; tolerance; removal ability

镉(Cadmium, Cd)是一种分布广泛、污染面积较大的重金属元素^[1],是生物毒性最强的重金属之一,它

在生物圈中移动性大、毒性强^[2-3]。重金属污染修复的方法有很多,其中生物修复法^[4]因成本低,不造成二次污染,适于大面积使用等优点,正越来越受到重视,而食用菌富集重金属是生物修复的一个重要研究方向,主要通过对重金属的吸收来降低其生态毒性,从而对重金属污染起到一定的修复作用。诸多研究发现,很多食用菌富集重金属能力很强,远超过绿色植物^[5-6]。

收稿日期:2012-09-25

基金项目:四川省科技厅重点项目(11zs2002)

作者简介:霍存录(1986—),男,甘肃永登人,硕士研究生,主要从事真菌对重金属吸附方面的研究。E-mail: hcl139@163.com

* 通信作者:贺新生 E-mail: hexinsheng@swust.edu.cn

一些研究表明,许多食用菌都具有富集重金属 Cd 的特性。李开本等^[7]的研究表明,通过人工栽培的巴西蘑菇,子实体中 Cd 含量普遍较高,达到 $13.0\sim 23.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Michelot 等^[8]检测了巴黎地区 92 种食用菌中重金属含量,结果发现,大部分食用菌中 Cd 的平均含量为 $5.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,在野生蘑菇中,Cd 含量甚至高达 $101\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由于食用菌菌体通常比较大,其重金属污染修复潜力也较大。

红平菇(*Pleurotus djamor*)又名红侧耳、桃红平菇,属于担子菌门,伞菌纲,伞菌目,侧耳科,侧耳属,是一种木腐性真菌,对纤维素、木质素等有较强的分解能力,菌丝生长快,出菇早,产量高。目前,利用食用菌去除环境中的 Cd 的研究较少,本文研究了有害重金属 Cd 对红平菇菌丝生长和子实体产量的影响以及红平菇对棉子壳培养基中 Cd 的富集量和去除率,以期为 Cd 污染环境的食用菌修复研究提供参考。

1 实验材料及方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌种

红平菇(*Pleurotus djamor*)菌种,由西南科技大学生命科学与工程学院微生物实验室提供。

1.1.2 培养料

培养料由棉子壳 79%、麦麸 20%、碳酸钙 1%组成,料水比为 1:(1.1~1.2),水分约为 63%。

1.1.3 试剂

二氯化镉($\text{CdCl}_2\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)和试验用硝酸等试剂均为国产优级纯试剂,试验用水均为去离子水。

1.2 试验设计

1.2.1 栽培试验

培养料中添加 Cd 的处理浓度分别为 1.0、2.0、10.0、20.0、100.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,以不添加 Cd 的培养料作对照。将配好的料装入 50 mL 的三角瓶,每瓶装料 40 g,试验共设 6 个处理,每个处理 3 次重复。

装瓶后 $121.6\text{ }^\circ\text{C}$ 灭菌 30 min,待冷却后接入红平菇菌种,放入培养箱中培养观察,培养温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为 65%。

将长满菌丝的菌瓶从培养箱中取出,控制室内温度和湿度,定期观察。子实体菌盖平展,边缘略变薄,颜色稍变浅即可采收,用利刀沿瓶口切下,注入适量清水,加强管理,等下潮菇出菇并采收。

1.2.2 菌丝生长速度测定

待菌丝长过三角瓶颈部时开始记录,每隔 2 d

用记号笔在菌丝前端划线,直到菌丝长满瓶,根据所划标线计算菌丝生长的速度。

1.3 样品分析

1.3.1 样品预处理

子实体收获后,去除菌柄上残留的培养料等杂质,用自来水冲洗干净后,再用去离子水清洗 3 遍,然后 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 烘 4~8 h,烘干后称干重,再用粉碎机粉碎,置于干燥器中备用。

1.3.2 测定方法

装瓶前收集的培养料和红平菇一、二潮子实体干样品均经微波消解仪(美国 CEM 公司生产)消解后,用 PEAA800 型原子吸收光谱仪(美国 Perkin Elmer 公司)测定单位质量样品中 Cd 的含量。

1.4 去除效果评价^[9]

红平菇对培养料中 Cd 的去除能力可用富集量和去除率两个指标来评价,计算公式分别如下:

$$\text{富集量 } Q = C_0 - C_e \quad (1)$$

式中: Q 是单位质量红平菇子实体对 Cd 富集量, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; C_0 是添加了 Cd 的培养料上采收的红平菇子实体单位质量所含的 Cd 量, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; C_e 是未添加 Cd 的空白培养料上采收的红平菇子实体单位质量所含的 Cd 的量, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

$$\text{去除率 } X = M(C_0 - C_e) / m \cdot C \times 100\% \quad (2)$$

式中: X 是红平菇对每瓶培养料中 Cd 的去除率,%; M 是每瓶收获的红平菇子实体干重, kg; C 是装料前每瓶培养料中 Cd 的实测添加量, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; m 是每瓶培养料的干料重, kg。其他参数同式(1)。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 Cd 对红平菇菌丝生长的影响

从图 1 可以看出,不加 Cd 时,菌丝生长的速度最快,随着培养料中初始 Cd 浓度从 $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 到 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 变化时,生长的速度越来越小,即 Cd 浓度越高越不利于菌丝的生长。当 Cd 浓度为 $0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时菌丝长满三角瓶所用的时间最短,平均需 9.67 d,浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时需 11.33 d 才能长满。可见浓度越高菌丝长满所需的时间越长,但无 Cd 和含 Cd $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 培养料的菌丝长满三角瓶仅有 1.66 d 的差距,说明 Cd 对红平菇菌丝的生长有一定的抑制作用,但影响不明显(图 1 中虚线对应的点为菌丝长满三角瓶所需的天数)。

2.2 不同浓度 Cd 对子实体产量的影响

红平菇是一种产量很高的真菌,同一料瓶可进行

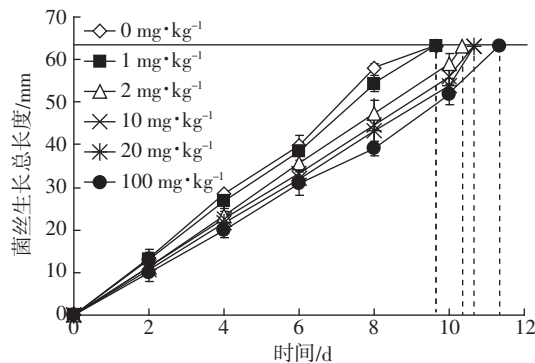


图 1 菌丝生长时间和菌丝长度的关系
Figure 1 The relationship between the time and the length of mycelium

多次采菇。从表 1 可以看出,在未添加 Cd 的培养料中,一、二潮菇子实体产量分别为 1.46 g 和 0.91g,生物学效率为 9.86%和 6.15%。当培养料中添加不同浓度 Cd 后,一潮菇的子实体产量和生物学效率有显著下降,子实体平均产量和生物学效率下降率均在 24.7%以上(除处理 6 外);二潮菇的平均产量和生物学效率除处理 5、6 外,下降率均在 10%以上,处理 4 的下降率甚至高达 39.6%,对处理 2~4 的影响较显著。两潮菇子实体平均产量也有很大的差异,一潮菇的平均产量基本都>1 g,而二潮菇平均产量则均<1 g。可见,Cd 对各潮菇产量的影响程度不同且影响都较大,但影响程度不随 Cd 初始浓度的增加呈一定的规律变化。

表 1 不同浓度 Cd 对红平菇子实体产量的影响
Table 1 Effect of various Cd treatments on the yield of fruit body

项目	处理 Treatment/ mg·kg ⁻¹	平均产量(干) Average yield/g	标准误差 Standard error/g	生物学效率 Biological efficiency/%	差异显著性 Significance level	
					P<0.05	P<0.01
一潮菇	1(0)	1.46	0.023 09	9.86	a	A
	2(1)	1.00	0.033 83	6.76	cd	C
	3(2)	1.06	0.034 80	7.16	cd	C
	4(10)	1.10	0.015 28	7.43	c	C
	5(20)	0.99	0.038 44	6.69	d	C
	6(100)	1.32	0.030 55	8.92	b	B
二潮菇	1(0)	0.91	0.041 63	6.15	a	A
	2(1)	0.74	0.029 63	5.00	b	BC
	3(2)	0.61	0.045 09	4.12	c	CD
	4(10)	0.55	0.043 59	3.72	c	D
	5(20)	0.85	0.026 46	5.74	a	AB
	6(100)	0.82	0.005 77	5.54	ab	AB

2.3 红平菇对培养料中不同浓度 Cd 的去除效果

2.3.1 培养料中 Cd 初始浓度对富集量的影响

从图 2 可以看出,随着培养料中初始 Cd 浓度从 1 mg·kg⁻¹ 增加到 20 mg·kg⁻¹ 时,一、二潮菇的富集量分别从 3.85 mg·kg⁻¹ 和 9.51 mg·kg⁻¹ 增至 10.05 mg·kg⁻¹ 和 65.48 mg·kg⁻¹,二潮菇的增速将近是一潮菇的 8.5 倍。当 Cd 浓度高于 20 mg·kg⁻¹ 时,两潮菇子实体中 Cd 的富集量仍在随 Cd 浓度的增加而增加,但增速明显减缓,Cd 浓度为 100 mg·kg⁻¹ 时,一、二潮菇的富集量高达 18 mg·kg⁻¹ 和 85.61 mg·kg⁻¹,即初始 Cd 浓度越大,子实体中富集的 Cd 越多。从图 2 中虚线还可看出,初始 Cd 浓度与子实体中 Cd 的含量有个

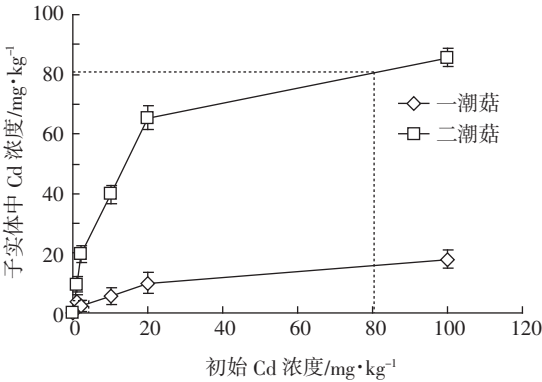


图 2 培养料中 Cd 初始浓度对子实体 Cd 富集量的影响
Figure 2 Effect of initial Cd treatments in the medium on the enrichment of fruit body

平衡浓度,粗略计算一、二潮菇的这个平衡浓度约为 $2.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $80.77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。当初始 Cd 浓度分别低于此浓度时,子实体中 Cd 的富集量要高于培养料中的初始浓度,而且初始浓度越低,相对培养料中的初始浓度越高。当高于此浓度时,虽然子实体对 Cd 的富集量仍在增加,但培养料中初始浓度要高于子实体中富集量。

2.3.2 培养料中 Cd 初始浓度对去除率的影响

从图 3 可以看出,当初始 Cd 浓度从 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 到 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 变化时,一、二潮菇的去除率从 24.68% 和 45.10% 分别降至 4.55% 和 14.30%,降幅较大。当 Cd 浓度大于 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增加,一潮菇的去除率在缓慢下降,一直下降到 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时的 1.53%,而二潮菇的去除率在 Cd 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时上升到 18.49%,然后又开始不断下降,当浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,去除率为 4.51%。可见,培养料中初始 Cd 浓度越小去除率越高。两潮菇在初始浓度分别为 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,共除去了培养料中 69.78% 和 36.61% 的 Cd,在 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,只能除去培养料中 6.04% 的 Cd,说明红平菇对培养料中低浓度的 Cd 有较好的去除效果。

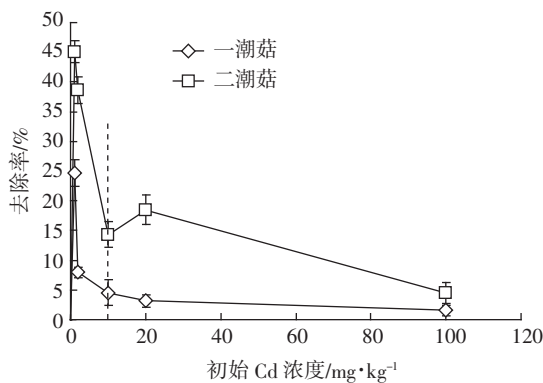


图 3 培养料中初始 Cd 浓度对去除率的影响

Figure 3 Effect of initial Cd treatments in the medium on the Cd removal rate

3 讨论

关于重金属 Cd 对食用菌菌丝生长和子实体产量影响的研究已有一些报道^[10-12],一般 Cd 对食用菌菌丝的生长有一定的抑制作用。由于 Cd 的存在,使得内部部分生理结构受到损害,从而阻碍了营养物质的运输路径,导致菌丝生长受阻^[13],也导致了子实体产量的下降。本研究的结果表明,当培养料中 Cd 浓度大于 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,Cd 对红平菇菌丝的生长有一定

抑制作用,但影响不明显,可能因吸收到体内的 Cd 对有些酶的活性没有影响或影响不大,所以对菌丝生长的影响较小。但在较低浓度时,Cd 对某些菌菌丝的生长有一定的促进作用。杨昕等^[11]的研究表明,在 Cd 浓度小于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,Cd 对金针菇菌丝的生长有不同程度的促进作用。可能是在低浓度 Cd 的作用下,菌体内的过氧化氢酶、过氧化物酶和酸性磷酸酶等可能被激活,酶活性的增强加速了菌体的生理生化活动,同时也促进了菌丝的生长^[12]。

培养料中 Cd 对红平菇子实体产量的影响较显著。一潮菇的平均产量均高于二潮菇,可能一潮菇出菇时消耗了培养料中大量营养物质,导致二潮菇的产量较低;也可能是随着时间的推移,Cd 对红平菇的毒害效应增强而导致二潮菇平均产量降低,因为当初始 Cd 浓度相同时,二潮菇中富集的 Cd 要比一潮菇多。当培养料中 Cd 浓度较高时,Cd 对红平菇子实体产量的影响相对杏鲍菇^[14]、金针菇^[12]和平菇^[15]等较低,而有些食用菌对 Cd 的耐受性非常低,甚至在稍高浓度下就会导致无法正常生长。徐丽红等^[16]的研究发现,当培养料 Cd 浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,香菇菌丝无法正常生长,产量为 0。可见,Cd 虽然对红平菇菌丝生长和子实体产量有一定的影响,但相比其他多种菌,红平菇对 Cd 有较强的耐受性,尤其在高浓度时。

红平菇对 Cd 有很强的富集能力,这与国内外曾报道的部分食用菌具有富集 Cd 的生物学特性相一致^[17-18]。以往研究多局限于食用菌对低浓度的 Cd 的富集作用,本实验研究发现红平菇不仅在低浓度对 Cd 有很强的富集能力,而且当培养料 Cd 浓度在 $20 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,仍具有较强的富集能力,并且随着 Cd 浓度的增加,子实体中 Cd 的富集量也在不断增加。红平菇对 Cd 的富集作用的机理可能主要有两个方面:一是生物吸附作用,细胞壁上的活性基团如巯基、羧基、羟基等通过共价、静电或分子力的作用将 Cd(II) 吸附在菌体表面;二是 Cd(II) 进入细胞质中,被氨基酸、金属硫蛋白等结合生成了对细胞中遗传物质等没有毒害作用的物质。江启沛^[19]分析姬松茸(*Agaricus blazei* Murrill.) 富镉的原因之一是细胞内特异的与 Cd(II) 结合的氨基酸含量高,并发现 Cd(II) 结合蛋白的存在;Collin-Hansen 等^[20-21]在含 Cd 很高的美味牛肝菌(*Boletinus edulis*) 中分离出了一种新的不属于硫蛋白的镉结合蛋白。

红平菇以较好的耐 Cd 和富 Cd 等特性显示具有较大的 Cd 污染修复潜力,但由于环境中的 Cd 存在

的形态比较复杂,在实际应用上还有一定的局限性。土壤中的Cd可以采用红平菇-化学结合的方法等进行修复,如EDTA可以提高土壤中Cd的生物有效性^[2],然后在土壤和培养料混合培养基^[23]上接入红平菇菌种,既可去除土壤中的Cd,同时也可弥补EDTA淋洗土壤重金属的一些不足等,废料可施入土壤增加土壤的肥力。对于水环境中的Cd(II),可以将Cd(II)污染水与干料制成培养基,然后利用红平菇对Cd富集作用来达到去除的目的。

4 结论

研究发现,Cd对红平菇菌丝的生长有一定的抑制作用,但不明显,对两潮菇的子实体产量有显著的影响,但相比其他菌对Cd仍有较强的耐性。红平菇对Cd有较强的富集能力,并且初始Cd的浓度越高,子实体中的富集量越高,但初始Cd浓度越低,对培养料中Cd的去除率越高,去除率随着初始浓度的增加而迅速下降,故红平菇对Cd的耐受性较好并对培养料中低浓度Cd有较强的去除能力。

参考文献:

- [1] 魏树和,周启星,刘睿. 重金属污染土壤修复中杂草资源的利用[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 432-440.
WEI Shu-he, ZHOU Qi-xing, LIU Rui. Utilization of weed resource in the remediation of soils contaminated by heavy metals[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(3): 432-440.
- [2] Moreno-Caselles J, Moral A, Perez-Espinosa R, et al. Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2000, 23(2): 234-250.
- [3] 段云青,雷焕贵. 小白菜富集Cd能力及对土壤Cd污染修复的能力研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25: 476-479.
DUAN Yun-qing, LEI Huan-gui. Uptake and accumulation of Cd by Pakchoi and its phytoremediation in contaminated soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25: 476-479.
- [4] 李飞宇. 土壤重金属污染的生物修复技术[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(12H): 148-151.
LI Fei-yu. Bioremediation in heavy metals contaminated soils[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(12H): 148-151.
- [5] Baldrian P, Gabriel J. Intraspecific variability in growth response to cadmium of the wood-rotting fungus *Piptoporus betulinus*[J]. *Mycologia*, 2002, 94: 428-436.
- [6] Demirbas A. Levels of trace element in the fruit bodies of mushroom growing in the East Black Sea Region[J]. *Energy Education Science & Technology*, 2006, 7: 67-81.
- [7] 李开本,陈体强,徐洁,等. 巴西蘑菇富镉特性研究初报[J]. 食用菌学报, 1999, 6(1): 55-57.
LI Kai-ben, CHEN Ti-qiang, XU Jie, et al. A primary study on the Cd enrichment characteristics of *Agaricus Blazei* Murrill.[J]. *Acta Edulis Fungi*, 1999, 6(1): 55-57.
- [8] Michelot D, Siobud E, Dore J C, et al. Update on metal content profile in mushrooms toxicological implications and tentative approach to the mechanisms of bioaccumulation[J]. *Toxicon*, 1998, 36(12): 1997-2012.
- [9] 莫瑜,潘蓉,黄海伟,等. 毛木耳和白木耳子实体对Cd(II)、Cu(II)、Pb(II)和Zn(II)的吸附特性研究[J]. 环境科学, 2010, 31(7): 1567-1573.
MO Yu, PAN Rong, HUANG Hai-wei, et al. Biosorption of Cd(II), Cu(II), Pb(II) and Zn(II) in aqueous solutions by fruiting bodies of Macrofungi (*Auricularia polytricha* and *Tremella fuciformis*)[J]. *Environmental Science*, 2010, 31(7): 1567-1573.
- [10] 杨春香,林新坚,林跃鑫. 镉(Cd)对姬松茸菌丝生长的影响[J]. 中国食用菌, 2004, 23(4): 36-39.
YANG Chun-xiang, LIN Xin-jian, LIN Yue-xin. Effects of cadmium on the mycelium growth of *Agaricus Blazei* Murrill.[J]. *Edible Fungi of China*, 2004, 23(4): 36-39.
- [11] 杨昕,胡清秀,刘明月. 培养料中重金属元素对金针菇生长和产量的影响[J]. 中国食用菌, 2008, 27(4): 46-49.
YANG Xin, HU Qing-xiu, LIU Ming-yue. Effect of heavy metal on growth and yield in *Flammulina velutipes*[J]. *Edible Fungi of China*, 2008, 27(3): 46-49.
- [12] 杨小红,胡清秀,韩立荣. 重金属对平菇菌丝生长、产量和质量的影响[J]. 中国食用菌, 2010, 29(6): 35-38.
YANG Xiao-hong, HU Qing-xiu, HAN Li-rong. Effect of heavy metals in substrates on the yield and quality of *Pleurotus ostreatus*[J]. *Edible Fungi of China*, 2010, 29(6): 35-38.
- [13] 陈素华. 微生物与重金属间的相互作用及其应用研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 239-242.
CHEN Su-hua. Interaction between microorganisms and heavy metals and its application[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 239-242.
- [14] 曲明清,邢增涛,程继红,等. 培养料中重金属元素对杏鲍菇子实体产量和质量的影响[J]. 食用菌学报, 2006, 13(2): 53-56.
QU Ming-qing, XING Zeng-tao, CHENG Ji-hong, et al. Effect of heavy metals in culture on the yield and quality of *Pleurotus eryngii*[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2006, 13(2): 53-56.
- [15] 施巧琴,林琳,陈哲超. 重金属在食用菌中的富集及其对生长代谢的影响[J]. 真菌学报, 1991, 10(4): 301-311.
SHI Qiao-qin, LIN Lin, CHEN Zhe-chao. Studies on the accumulation of heavy metals and their effect on the growth and metabolism in edible fungi[J]. *Mycosystema*, 1991, 10(4): 301-311.
- [16] 徐丽红,吴应森,陈俏彪,等. 香菇(*Lentinus 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 Li-hong, WU Ying-miao, CHEN Qiao-biao, et al. Investigation of cadmium uptake and accumulation by *Lentinus edodes* and its control technique[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2011, 30(7): 1300-1304.
- [17] Michelot D, Siobud E, Christophe J D, et al. Update on metal content profiles in mushrooms toxicological implications and tentative

- approach to the mechanisms of bioaccumulation[J]. *Toxicol*, 1998, 36(12):1997-2012.
- [18] Melgar M J, Alonso J, Perez-Lopez M, et al. Influence of some factors in toxicity and accumulation of cadmium from edible wild macrofungi in Northwest Spain[J]. *Environ Sci Health B*, 1998, 33(4):439-455.
- [19] 江启沛. 药食两用蕈菌姬松茸富镉特性及其拮抗抑制研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2003.
- JIANG Qi-pei. The study of Cd-rich characteristics and antagonistic inhibition on edible and medicinal mushroom *Agaricus blazei* [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2003.
- [20] Collin-Hansen C, Yttri K E, Andersen R A, et al. Mushrooms from two metal-contaminated areas in Norway: Occurrence of metals and metallothionein-like proteins[J]. *Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis*, 2002, 2(2):121-130.
- [21] Collin-Hansen C, Andersen R A, Steinnes E. Isolation and N-terminal sequencing of a novel cadmium-binding protein from *Boletus edulis*[J]. *Journal de Physique IV France*, 2003, 107:311-314.
- [22] 秦普丰, 廖柏寒, 雷鸣, 等. 两种形态分析法对 EDTA 萃取前后土壤重金属的生物可利用性分析[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3):722-727.
- QIN Pu-feng, LIAO Bo-han, LEI Ming, et al. Bioavailabilities of heavy metals in two contaminated soils before and after extracted with EDTA using two sequential extraction procedures[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3):722-727.
- [23] 林陈强, 林戎斌, 郑永标, 等. 土壤与人工食用菌生产的关系[J]. 中国食用菌, 2007, 26(1):7-9.
- LIN Chen-qiang, LIN Rong-bin, ZHENG Yong-biao, et al. Relation on soil and artificial cultivation of edible fungi[J]. *Edible Fungi of China*, 2007, 26(1):7-9.

第五届全国农业环境科学学术研讨会召开

由农业部环境保护科研监测所和中国农业生态环境保护协会主办,江苏省农业科学院农业资源与环境研究所、环保部南京环境科学研究所农村环境研究中心、中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室、南京农业大学土壤有机污染控制与修复研究所等四家单位承办的第五届全国农业环境科学学术研讨会于2013年4月19日至22日在江苏省南京市召开。《农业环境科学学报》副主任委员陈温福院士、农业部环境保护科研监测所所长/中国农业生态环境保护协会副理事长任天志研究员、江苏省农委李俊超副主任、江苏省农科院院长严少华研究员、环保部南京环境科学研究所书记/副所长赵克强研究员,以及来自全国各地的大专院校、科研院所等112个单位的约350位专家学者参加了会议,会议共收到学术论文及摘要180篇,其中168篇论文经评选后入编论文集,21篇被评为会议优秀论文。

会议开幕式由农业部环境保护科研监测所副所长/中国农业生态环境保护协会秘书长周其文主持。会议的主办、承办单位领导分别致辞,向大会的召开表示热烈祝贺,向各位代表的到来表示热烈欢迎。

中国工程院陈温福院士、环保部南京环境科学研究所夏家淇研究员、华南农业大学骆世明教授、南京大学王晓蓉教授、中科院南京土壤所陈怀满研究员、江苏省农业科学院杨林章研究员、浙江大学刘维屏教授、南开大学周启星教授、中科院南京地理与湖泊研究所范成新研究员、中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室周东美研究员、农业部环境保护科研监测所刘仲齐研究员、科技部中国农村技术开发中心卢兵友研究员、江苏省农科院严少华研究员共13位专家受邀从各自研究领域作了大会报告。第二天的学术报告共设三个分会场,分别围绕“污染生态与农产品安全”、“水土环境”、“面源控制及资源利用”三个方向,有来自全国不同研究机构的61位专家学者针对农业环境科学领域的研究热点分别作了精彩的学术报告,给与会人员带来了一场学术盛宴。

本届会议与前几届不同的是增加了一个研究生专场,共有14位研究生作了报告,通过专家的点评,拓宽了他们的研究思路,提高了他们的科研能力,为本学科研究培养后备人才提供了交流平台。

农业环境科学是农学、环境科学、生态学的交叉学科,与会专家从各自的角度很好地阐述了“农业环境与生态安全”这一会议主题,学术交流达到了预期目的。继会场交流后,代表们到农业面源污染治理技术研发基地进行现场交流,通过实地参观和基地人员的精彩讲解,代表们对野外实验基地的规划、建设与管理等一系列问题有了切实的体会和深入的了解,为农业环境科学技术的田间推广,实现理论与实践相结合,真正把农业环境科学技术转化为生产力提供了示范。代表们收获很大,纷纷表示不虚此行。

本次学术会议的成功召开不仅为全国从事农业环境科学研究的专家学者提供了一个交流最新学术成果的平台,也为广大科研工作者结交同行朋友、寻求项目合作搭建了桥梁,成为本行业产、学、研相结合的纽带。

(《农业环境科学学报》编辑部供稿)