

巫仁高. 黑木耳对 4 种重金属的吸收富集[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 223–225.

doi:10. 15889/j. issn. 1002–1302. 2016. 08. 063

黑木耳对 4 种重金属的吸收富集

巫仁高

(福建省南平市农业科学研究所, 福建建阳 354200)

摘要:在培养料中添加不同浓度的铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)栽培黑木耳, 研究黑木耳子实体对 Pb、Cd、Hg、As 4 种有害重金属的吸收富集特性, 提出安全限量值。结果表明: 黑木耳子实体对 Cd、Hg 有强富集作用, 对 Pb 富集作用很弱; 在无人添加重金属时, 黑木耳子实体中 Pb、Cd、Hg、As 的含量都很低, 符合无公害食品及绿色食品标准要求。提出黑木耳产品符合无公害食品和绿色食品要求下培养料中 Pb、Cd、Hg、As 的限量值。

关键词:黑木耳; 重金属; 富集; 安全限量值

中图分类号: S646. 601 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2016)08–0223–03

黑木耳有“菌中瑰宝”“素中之荤”之誉, 又是我国传统的保健食品和出口商品。因黑木耳生长于腐木之上, 形似人耳, 且为黑色, 故名黑木耳^[1]。黑木耳质软味鲜, 滑而带爽, 营养丰富, 对人体有清涤胃肠和消化纤维素的作用。我国是黑木耳的主要生产国, 产量从 2007 年的 111.3 万 t 增至 2014 年的 595.7 万 t, 年均增长率 27.08%。但我国加入世界贸易组织(WTO)后, 随着国际贸易摩擦不断升级, 出口产品的质量引起了强烈关注, 技术性壁垒已成为限制进口的主要手段, 而黑木耳重金属超标问题已成为制约其出口贸易的主要障碍^[2]。本研究通过对黑木耳培养料基质中人为添加不同浓

度的铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)4 种有害重金属溶液, 探讨黑木耳子实体对重金属的吸收富集特性, 以为黑木耳安全生产及产品质量控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株为黑木耳 916。

培养料配方: 78.5% 杂木屑、12% 麸皮、8% 棉籽壳、1% 碳酸氢钙、0.5% 石灰粉, 含水量为 52%。

1 g/L Pb、Cd、Hg、As 标准溶液, 购自中国标准样品物质中心。

1.2 试验设计

设 20 个重金属添加量处理(表 1), 以不添加重金属为对照, 每个处理设 3 个重复, 每个重复设 20 个菌袋。配制培养料时, 先将配好的不同重金属药液与水混合均匀, 添加到培养料中搅拌均匀, 然后再加水搅拌, 直至培养料含水量达到 52%。

收稿日期: 2016–01–15

基金项目: 国家科技支撑计划(编号 2013BAD16B03); 福建省现代农业食用菌产业技术体系项目(编号: K83139295); 福建省科技厅项目(编号: 2015S0031)。

作者简介: 巫仁高(1968—), 男, 福建南平人, 硕士, 高级农艺师, 研究方向为食用菌品种选育及栽培技术。E-mail: wurengao7881@163.com。

3.2.4 重视品牌建设, 提升产品的市场影响力和竞争力, 提高生产效益 江苏水生蔬菜各主产区的土壤、空气和水资源条件均十分优越, 几乎无污染, 稍加整治, 即能满足无公害甚至绿色食品生产的要求。因此, 加强对可能造成生产基地的土壤、水源、空气等污染的企业和单位的整治, 确保产地环境符合无公害和绿色食品生产的要求, 保障水生蔬菜产品的安全质量。产品加工方面, 应加大资金、技术等投入力度, 加强生产企业与科研院所的合作, 对加工工艺进行必要的改造提升, 开发出种类、品种多、技术含量高、高附加值的产品供应市场, 努力在短时间内使水生蔬菜系列加工制品扩容提质, 增强江苏水生蔬菜产品在国内外市场上的竞争力。销售上, 在加强产地市场建设、规范市场管理, 保证市场健康发展的基础上, 努力开拓外地市场, 尤其要注重开拓我国栽培面积小、产品供应不足的北方市场; 应根据国人的消费习惯, 学习湖北等地“藕带”产品的开发经验, 生产出更多适合国内消费、更方便的水生蔬菜制品, 扩大国内水生蔬菜加工产品的消费量; 国际市场方面, 应花大力气疏通出口渠道, 积极开拓欧美及东南

亚等地市场, 稳步发展日本和韩国的市场; 通过国内、国外 2 个市场的拓展, 促进江苏省水生蔬菜产业的快速健康发展。

参考文献:

- [1] 叶静渊. 我国水生蔬菜的栽培起源与分布[J]. 长江蔬菜, 2001(增刊 1): 4–12.
- [2] 赵有为, 孔庆东, 曹碚生, 等. 中国水生蔬菜[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 2–40.
- [3] 宋建华. 苏州水生蔬菜溯源[J]. 长江蔬菜, 2001(增刊 1): 13–14.
- [4] “蔬菜出口技术保障措施研究”课题组. 蔬菜出口技术保障措施(一)[J]. 中国蔬菜, 2002(2): 1–3.
- [5] 鲍忠洲, 严龙. 话说“南茭”及其开发[J]. 长江蔬菜, 2001(增刊 1): 30–31.
- [6] 李良俊, 林惠鸣, 曹碚生. 江苏省莲藕无公害生产中存在的几个问题[J]. 中国农学通报, 2003, 19(4): 156–158.
- [7] 李良俊, 程立宝, 陈学好. 莲藕种质评价与创新应用研究进展[J]. 蔬菜, 2013(7): 1–5.

表 1 重金属添加量处理

	添加量 (mg/kg)			
	Pb	Cd	Hg	As
1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.5	0.5	0.5	1
5	1	1	1	5
10	2	2	2	10
50	20	20	20	15

1.3 栽培试验

菌袋为聚乙烯塑料袋,规格为 15 cm × 55 cm × 0.004 5 cm;套袋为聚乙烯塑料袋,规格为 17 cm × 55 cm × 0.001 cm。每筒湿料质量 1.4 kg,装料松紧度适中,料筒紧直,塑料袋无膨胀变形现象。培菌温度控制在 24 ~ 26 ℃,湿度 70% 以下,接种口菌丝蔓延至直径 6 ~ 8 cm 时翻堆,剔除污染菌筒。菌丝走满袋后脱去套袋养菌 5 ~ 7 d 后,进行刺孔。刺孔后,棚内养菌 5 ~ 7 d 下地排场。大田出菇管理按黑木耳“干干湿湿”交替管理方法进行^[3]。

1.4 重金属样品检测

1.4.1 培养料样品的前处理 待灭菌后的培养料冷却后取样,80 ℃ 烘干至恒质量,收集备用。

1.4.2 子实体样品的前处理 先将采集的黑木耳子实体样品晒干,然后在烘干箱内于 80 ℃ 烘干至恒质量,再用粉碎机粉碎至约 30 目大小的颗粒,收集备用。

1.4.3 样品检测分析 铅、镉、汞、砷含量的测定方法分别参考 GB/T5009.12—2003《食品中铅的测定》、GB/T5009.15—2003《食品中镉的测定》、GB/T5009.17—2003《食品中总汞及有机汞的测定》、GB/T5009.11—2003《食品中总砷及无机砷的测定》。

富集系数的计算公式:富集系数 = 子实体中重金属含量/培养料中重金属含量。

1.5 数据分析

采用 Excel 软件分析数据。

2 结果与分析

2.1 黑木耳栽培生产中培养料及子实体重金属含量情况

从表 2 可见,黑木耳栽培料中 Pb 含量较高,达 0.19 mg/kg,但子实体中 Pb 含量很低;Cd、As 在培养料及子实体中的含量都很低;黑木耳对 Hg 有一定富集效果,富集系数为 2.05,但子实体中 Hg 含量很低,为 0.041 mg/kg。说明在没有人添加重金属情况下,黑木耳栽培生产中子实体中的 Pb、Cd、Hg、As 含量都很低,均未超过 NY 5095—2006《无公害食品 食用菌》、NY 749—2012《绿色食品 食用菌》中对这 4 种重金属限量的规定,符合无公害食品、绿色食品要求^[4-5]。

表 2 黑木耳栽培生产中培养料及子实体的重金属含量

指标	重金属含量 (mg/kg)			
	Pb	Cd	Hg	As
培养料中的含量	0.19	<0.05	0.020	0.012
子实体中的含量	<0.10	<0.05	0.041	<0.10
无公害干制品指标	≤2.00	≤0.20	≤0.20	≤1.00
绿色食品干制品指标	≤1.00	≤1.00	≤0.10	≤0.50
富集系数	—	—	2.05	—

注:“—”表示微弱到可忽略不计。表 3 同。

2.2 黑木耳子实体对 Pb 的吸收富集情况

由表 3 可见,黑木耳对 Pb 的富集能力很弱,在 Pb 添加量为 1 ~ 50 mg/kg 时,子实体的 Pb 含量随着培养料中 Pb 含量的增大稍有增加,但均未超 NY 5095—2006《无公害食品 食用菌》、NY 749—2012《绿色食品 食用菌》中对 Pb 限量的规定;黑木耳对 Pb 的富集系数随着 Pb 含量的增大反而降低。所以在生产上可以不考虑 Pb 在黑木耳子实体上的富集作用,至于 Pb 对菌丝生长及出菇的影响,有待进一步研究。

表 3 黑木耳子实体对 Pb 的吸收富集情况

	Pb 含量 (mg/kg)			富集系数
	添加	培养料实际	子实体	
1	1.190	<0.100	—	—
2	2.190	0.160	0.073	0.073
5	5.190	0.140	0.027	0.027
10	10.190	0.260	0.026	0.026
50	50.190	0.735	0.015	0.015

2.3 黑木耳子实体对 Cd 的吸收富集情况

由表 4 可见,黑木耳对 Cd 的富集能力很强,培养料的 Cd 含量为 0.1 ~ 20 mg/kg 时,子实体的 Cd 含量随着培养料中 Cd 含量的增加而增加,富集系数反而下降;在培养料 Cd 含量为 0.1 mg/kg 时,富集系数达到最大值,为 1.900。黑木耳培养料中 Cd 含量超过 0.1 mg/kg 时,子实体 Cd 含量超过无公害食品的 Cd 含量标准,所以在黑木耳栽培生产上要注意培养料中 Cd 含量。

表 4 黑木耳子实体对 Cd 的吸收富集情况

	Cd 含量 (mg/kg)			富集系数
	添加	培养料实际	子实体	
0.1	0.1	0.190	1.900	1.900
0.5	0.5	0.330	0.660	0.660
1.0	1.0	0.540	0.540	0.540
2.0	2.0	0.870	0.435	0.435
20.0	20.0	3.370	0.169	0.169

2.4 黑木耳子实体对 Hg 的吸收富集情况

由表 5 可见,黑木耳对 Hg 有很强的富集能力,培养料的 Hg 含量为 0.1 ~ 20 mg/kg 时,子实体的 Hg 含量随着培养料中 Hg 含量的增加而增加。在培养料 Hg 含量为 0.120 mg/kg 时,富集系数最大,为 1.833。在黑木耳培养料 Hg 含量为 0.1 mg/kg 时,子实体 Hg 含量已经超过无公害食品的 Hg 含量标准,所以在黑木耳生产栽培上也要注意培养料中的 Hg 含量。

表 5 黑木耳子实体对 Hg 的吸收富集情况

	Hg 含量 (mg/kg)			富集系数
	添加	培养料实际	子实体	
0.1	0.120	0.220	1.833	1.833
0.5	0.520	0.280	0.538	0.538
1.0	1.020	0.490	0.481	0.481
2.0	2.020	1.100	0.545	0.545
20.0	20.020	10.100	0.504	0.504

2.5 黑木耳子实体对 As 的吸收富集情况

由表 6 可见,黑木耳对 As 有一定的富集能力,当培养料

的 As 含量为 0.1~15 mg/kg 时,子实体的 As 含量随着培养料中 As 含量的增加而增加;在培养料 As 含量为 0.1 mg/kg 时,富集系数最大,为 1.071。在生产上黑木耳培养料中 As 含量不能超过 1 mg/kg,否则子实体的 As 含量可能超过绿色食品 As 含量标准。

表 6 黑木耳子实体对 As 的吸收富集情况

As 含量(mg/kg)			富集系数
添加	培养料实际	子实体	
0.1	0.112	0.120	1.071
1.0	1.012	0.390	0.385
5.0	5.012	1.420	0.283
10.0	10.012	3.000	0.299
15.0	15.012	4.670	0.311

2.6 重金属添加量与子实体重金属含量关系的数学模型

以重金属添加量(x)和子实体重金属含量(y)之间的关系建立 Logistic 数学模型,该模型通式为 $y = c / (1 + e^{a-bx})$ 。从表 7 中可以看出,Pb、Cd、Hg、As 的回归方程决定系数都在 0.96 以上,说明该模型能够很好地体现黑木耳子实体对培养料中重金属元素的吸收富集情况^[6]。

表 7 培养料中重金属含量与黑木耳子实体含量关系的数学模型

重金属	回归方程	r ²
Pb	$y = 0.7359 / (1 + e^{2.3842 - 0.1771x})$	0.9658
Cd	$y = 3.3696 / (1 + e^{2.6046 - 0.7897x})$	0.9988
Hg	$y = 10.1002 / (1 + e^{4.4213 - 1.5244x})$	0.9999
As	$y = 5.4130 / (1 + e^{2.7791 - 0.3027x})$	0.9934

对曲线方程 $y = c / (1 + e^{a-bx})$ 进行数据分析,当 $x = 0$ 时, $y = c / (1 + e^a)$,即培养料中重金属添加量为 0 时,子实体的重金属含量是非污染条件下食用菌的背景值含量。当 $x \rightarrow \infty$ 时, $y \rightarrow c$,即当培养料中重金属含量最大时,食用菌对重金属的积累趋于一个极限值,即最大可能积累量,它是一个理论值,实际中要考虑重金属污染环境对食用菌生长的抑制作用(表 8)。

表 8 黑木耳对重金属的最大可能积累量及子实体重金属背景值

重金属	背景值(mg/kg)	最大积累量(mg/kg)
Pb	0.0620	0.7359
Cd	0.2320	3.3696
Hg	0.1200	10.1002
As	0.3160	5.4130

利用回归方程 $y = c / (1 + e^{a-bx})$ 的反函数 $x = b^{-1} \times [a - \ln(c/y - 1)]$,以无公害食品标准或绿色食品标准为依据,预测出黑木耳在符合无公害标准或绿色标准的情况下,培养料

中的重金属污染限值(表 9)。

表 9 无公害食品、绿色食品标准对应黑木耳培养料中的重金属限值

重金属	无公害食品标准限值(mg/kg)		绿色食品标准限值(mg/kg)	
	干制品指标	培养料限量	干制品指标	培养料限量
Pb	≤2.0	无要求	≤1.0	无要求
Cd	≤0.2	不得检出	≤1.0	≤2.2057
Hg	≤0.2	≤0.3410	≤0.1	不得检出
As	≤1.0	≤4.2770	≤0.5	≤1.6324

3 结论与讨论

在黑木耳栽培生产上,其子实体中 Pb、Cd、Hg、As 含量都很低,符合无公害食品及绿色食品对这 4 种重金属含量的标准。但由于培养料的来源地不同,培养料有可能遭受非人为的重金属污染,使黑木耳子实体重金属含量超标,因此利用本研究中的模型预测出黑木耳符合无公害食品标准或绿色食品标准条件下培养料中重金属污染的限值,可在生产上提前对培养料重金属含量进行检测,为生产无公害食用菌或绿色食品提供技术支持^[7-8]。

黑木耳子实体对上述 4 种重金属都具有一定的吸收富集能力,其中对 Cd、Hg 有强富集作用,对 Pb 的富集作用很弱。

依据 NY 5095—2006《无公害食品 食用菌》、NY 749—2012《绿色食品 食用菌》对这 4 种重金属限量的规定,提出黑木耳生产过程中培养料中这 4 种重金属含量的要求:符合无公害食品条件下,对 Pb 含量无要求,Cd 含量不得检出,Hg 含量≤0.3410 mg/kg,As 含量≤4.2770 mg/kg;。符合绿色食品要求条件下,对 Pb 含量无要求,Cd 含量≤2.2057 mg/kg,Hg 含量不得检出,As 含量≤1.6324 mg/kg。

参考文献:

[1]吕作舟. 食用菌栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:160-176.

[2]江玉姬,黎志银,谢宝贵,等. 四种重金属在金针菇栽培过程中的迁移规律[J]. 菌物学报,2014,33(2):449-455.

[3]巫仁高. 福建黑木耳栽培关键技术[J]. 食用菌,2014(5):52-53.

[4]张孔金,黎志银,谢宝贵,等. 秀珍菇对培养基中重金属富集规律的研究[J]. 食用菌,2012,34(5):52-53.

[5]蔡一新,华永有,吴晶文. 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.

[6]谢福泉,黎志银,陈仁财,等. 4 种重金属元素在茶树菇栽培过程中的迁移特性研究[J]. 福建农业学报,2015,30(3):303-306.

[7]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.

[8]施巧琴,林琳,陈哲超,等. 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.