

## 铬胁迫下平菇对铬的富集及生长特性研究

余婷婷, 吴映明\*, 生书晶, 余丹, 陈晓, 陈桐, 刘子晴

(广东第二师范学院生物与食品工程学院, 广东广州 510303)

**摘要** 通过瓶装栽培的方法研究在不同浓度(5、50、250、500 mg/kg)  $\text{Cr}^{3+}$  胁迫下, 平菇对铬的吸收、富集作用以及铬对其生长特性(鲜重、干重、菌丝生长速度、生物学效率等)的影响。结果表明, 栽培料中添加 5~250 mg/kg  $\text{Cr}^{3+}$  对平菇的生物量和生长有促进作用, 250 mg/kg 达到最大,  $\text{Cr}^{3+}$  浓度为 500 mg/kg 时起抑制作用; 平菇子实体的  $\text{Cr}^{3+}$  富集含量随  $\text{Cr}^{3+}$  浓度的增加而增加, 栽培料添加 500 mg/kg  $\text{Cr}^{3+}$  平菇子实体含量已超过国家食用安全标准。

**关键词** 平菇; 子实体; 铬; 生长特性

**中图分类号** S646.1<sup>+</sup>4 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)10-0053-02

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.10.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research on the Bioaccumulation Characteristics to Chromium and Growth Characteristics of *Pleurotus ostreatus* under Chromium Stress

SHE Ting-ting, WU Ying-ming, SHENG Shu-jing et al (College of Biology and Food Engineering, Guangdong University of Education, Guangzhou, Guangdong 510303)

**Abstract** Bottled cultivation was used to study the bioaccumulation of chromium by *Pleurotus ostreatus* and the effects of the growth characteristics (fresh weight, dry weight, sporophore growth rate and biological efficiency) under the stress of  $\text{Cr}^{3+}$  with different concentrations (5, 50, 250, 500 mg/kg). The results showed that the growth characteristics of *Pleurotus ostreatus* could be promoted by adding  $\text{Cr}^{3+}$  at the concentration of 5-250 mg/kg, and 250 mg/kg reached the maximum. When chromium concentration reached 500 mg/kg, it inhibited the growth characteristics of *Pleurotus ostreatus*. The concentration of  $\text{Cr}^{3+}$  in sporophore of *Pleurotus ostreatus* increased with the increase of  $\text{Cr}^{3+}$  concentration in planting material, and 500 mg/kg exceeded the food safety standard.

**Key words** *Pleurotus ostreatus*; Sporophore; Chromium; Growth characteristics

平菇(*Pleurotus ostreatus*)又名美味侧耳、鲍鱼菇等,具有提高人体免疫功能、降低胆固醇以及防癌抗癌等作用<sup>[1]</sup>,研究表明食用菌极易富集重金属<sup>[2]</sup>,工业三废大量排放和含大量重金属的化肥和农药的过度使用等问题导致重金属污染问题也越来越严重<sup>[3]</sup>,铬污染是其中之一。铬是一种多价态的金属离子,广泛存在于自然界中,有二价、三价和六价。六价铬  $\text{Cr(VI)}$  有毒害性,在体内会引起氧化应激、DNA 损害、细胞凋亡、基因突变,且具有致癌性和致突变作用;三价离子  $\text{Cr(III)}$  最稳定,生物活性高,是人和动物体所必需的微量元素之一,在正常补给剂量下无毒,对机体维持正常的生理机能具有重要作用<sup>[4-5]</sup>。食用菌的栽培原料来源广泛,工业废水的乱排放使得栽培原料更容易受到重金属污染,如何减少和控制食用菌中重金属含量已成为目前亟待解决的问题。笔者研究在重金属铬胁迫下,平菇对铬的吸收、富集的作用以及铬对平菇生长特性的影响,找出平菇在铬胁迫下的铬安全浓度,旨在对平菇生产提供科学依据和参考。

## 1 材料与方

### 1.1 材料

**1.1.1 平菇菌株。**平菇,购自广东省微生物研究所菌种保藏中心。

**1.1.2 培养料配方。**培养料由棉籽壳 30%、麸皮 9.2%、石膏

粉 0.8%、水 60% 组成。

**1.1.3 试剂和仪器。**试剂:三氯化铬 [ $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] (AR)、65%硝酸、35%双氧水。仪器:KH-45A 电热恒温干燥箱(康恒仪器有限公司)、YXQ.WY21-600 卧式圆形压力蒸汽灭菌器(广州市华南医疗器械有限公司)、FA1104B 电子天平(上海越平科学仪器有限公司)、LRH-250-G 光照培养箱(韶光市泰宏医疗器械有限公司)、WX-8000 消解仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司)、Varian Spectr AA 220FS/220Z 原子吸收光谱仪(美国瓦里安公司)。

## 1.2 方法

**1.2.1 工艺流程。**工艺流程:配料→拌料→发酵→分装→灭菌→接种→恒温培养→出菇→采收、称量→烘干→称量、打粉→消解→测量含量<sup>[1]</sup>。培养料配制:按棉籽壳 30%、麸皮 9.2%、石膏粉 0.8%、水 60% 的比例混合拌料,拌料后,按试验设置分组处理分别加入不同浓度的重金属  $\text{Cr}^{3+}$  溶液后浸料 8 h。培养料分装:分别装入 200 mL 果酱瓶,每瓶培养料重量为 136 g,每个浓度 5 次重复。灭菌处理:培养料装瓶加盖后 126 °C 灭菌 1 h。接种量:灭菌后待自然冷却后进行接种,接种量为 2%。菌丝培养:培养箱 26 °C 培养 20 d,每 5 d 记录一次菌丝生长速度。出菇管理:环境湿度为 80%、温度为 15 °C,待菌丝长满整瓶开盖两潮出菇,出菇后适时收割,及时测量并记录生长指标和出菇时间,试验总时长为 35 d。

菌丝生长速度 = 5 d 菌丝生长长度 / 5 d

生物学效率 = (子实体鲜重 / 培养料干重) × 100%

**1.2.2 样品处理。**前期处理:将收割子实体置于 55 °C 烘干箱内烘干 8 h,烘干后剪下平菇的菇盖粉碎成粉末状装袋。

**基金项目** 国家自然科学基金青年科学基金项目(31600236);广州市科技计划项目(201707010459);广东第二师范学院博士专项(2015ARF20)。

**作者简介** 余婷婷(1984—),女,广东汕头人,实验师,从事微生物技术与应用研究。\*通信作者,副教授,从事微生物学研究。

**收稿日期** 2019-01-08

消解处理<sup>[6]</sup>:精准称取样品 0.020~0.029 9 g,以 3 mL 65%硝酸和 2 mL 35%过氧化氢作为消解液,采取梯度升温方式进行消解:80 ℃,消解 6 min;100 ℃,消解 4 min;120 ℃消解 2 min。消解后将所得消解液定容为 20 mL 测试液,并进行含量的测定。

**1.3 数据分析** 试验数据采用 SPSS V19.0 软件进行分析<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 不同浓度 Cr<sup>3+</sup>对平菇菌丝生长速度的影响** 由表 1 可知,在不同浓度 Cr<sup>3+</sup>胁迫下,平菇菌丝生长速度也不同。低浓度 0~250 mg/kg Cr<sup>3+</sup>胁迫对平菇菌丝生长有促进作用,且促进作用随着浓度的增加而增加,250 mg/kg 时达到最有效促进,菌丝生长速度比空白对照提高 38.9%;高浓度 500 mg/kg Cr<sup>3+</sup>胁迫对平菇菌丝生长具有明显的抑制作用,与 250 mg/kg Cr<sup>3+</sup>胁迫下菌丝生长速度相比下降 62.4%;Cr<sup>3+</sup>浓度 250 mg/kg 与 500 mg/kg 间菌丝生长速度具有显著差异 ( $P<0.05$ )。

表 1 不同浓度 Cr<sup>3+</sup>对平菇菌丝生长速度、鲜重、生物学效率和干重的影响

Table 1 Effects of different chromium concentrations on mycelial growth rate, fresh weight, biological efficiency and dry weight of *Pleurotus ostreatus*

Cr <sup>3+</sup> 浓度 Cr <sup>3+</sup> concentration//mg/kg	菌丝生长速度 Mycelium growth rate//cm/d	鲜重 Fresh weight g	生物学效率 Biological efficiency %	干重 Dry weight g
CK	0.339±0.087 ab	37.997±1.187 d	50.041±4.529 c	3.632±0.218 c
5	0.342±0.027 ab	41.497±0.788 c	54.129±2.641 bc	5.030±0.381 b
50	0.373±0.061 ab	49.207±1.017 b	56.138±3.781 b	5.355±0.347 b
250	0.471±0.149 a	56.065±0.493 a	64.986±5.213 a	7.562±0.253 a
500	0.290±0.020 b	35.485±0.886 e	46.685±2.194 d	3.015±0.307 d

注:同列不同小写字母表示不同浓度间差异显著 ( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant differences between different concentrations at 0.05 level

**2.2 不同浓度 Cr<sup>3+</sup>对平菇产量和干重的影响** 平菇产量是一潮菇、二潮菇的鲜重之和,干重和为一潮菇、二潮菇的干重之和。由表 1 可知,低浓度 0~250 mg/kg Cr<sup>3+</sup>胁迫对平菇产量和干重具有促进作用,且随着浓度的增加而增加,250 mg/kg 时产量和干重均达到最高,鲜重、干重和菌丝生长速度保持一致。Cr<sup>3+</sup>浓度 500 mg/kg 胁迫下,平菇的产量和干重与空白对照组相比显著降低,具有明显的抑制作用。Cr<sup>3+</sup>各个浓度梯度与空白对照组之间均具有显著差异 ( $P<0.05$ ),在不同浓度梯度中 250 mg/kg 有效促进平菇的产量和干重,为最适浓度。

**2.3 不同浓度 Cr<sup>3+</sup>对平菇生物学效率的影响** 由表 1 可知,低浓度 0~250 mg/kg Cr<sup>3+</sup>对平菇生物学效率具有促进作用,且随着浓度的增加而增加,250 mg/kg 达到最高,高浓度 500 mg/kg Cr<sup>3+</sup>与空白对照相比,平菇生物学效率相对降低,具有抑制作用。Cr<sup>3+</sup>各个浓度梯度与空白对照组之间具有显著差异 ( $P<0.05$ ),在设置的浓度梯度下 250 mg/kg 最有效促进平菇生物学效率,为最适浓度。

## 3 结论与讨论

(1) 该试验结果表明在不同浓度 Cr<sup>3+</sup>胁迫下,平菇的鲜重、干重、菌丝生长速度、生物学效率等具有不同的影响,其中 5~250 mg/kg Cr<sup>3+</sup>对平菇的鲜重、干重、菌丝生长速度、生物学效率具有明显的促进作用。其中 250 mg/kg Cr<sup>3+</sup>对平菇的鲜重、干重、菌丝生长速度、生物学效率促进作用最强。这与陈庆榆等<sup>[8]</sup>研究结果一致,柴红梅等<sup>[9]</sup>研究表明,低浓度的 Cr<sup>3+</sup>对食用菌有严重的抑制作用,但平菇能起明显促进作用,这与食用菌对重金属的耐受及富集能力与环境因素和大型真菌自身因素有关,如菌丝体和子实体的组织结构、形态特征、生长发育特性等<sup>[10]</sup>。研究表明所有生物包括微生物本身的耐受性就有金属特异性<sup>[11-13]</sup>,即对 Cr<sup>3+</sup>等有毒金属有耐受性,通过细胞成分如几丁质、纤维素、纤维素衍生物等与金属结合,金属离子进入菌丝内后,以及菌丝内特定金属络合蛋白与金属离子结合,从而起到金属耐受作用<sup>[14-15]</sup>。

增加,空白对照无添加 CrCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 菌盖铬含量已达 0.73 mg/kg,表明原来栽培料已受到 Cr<sup>3+</sup>污染,这与 Baldrian 等<sup>[16]</sup>研究结果不同,Baldrian 等<sup>[16]</sup>研究发现侧耳 (*Pleurotus ostreatus*) 在实验室条件下 1 mmol/L Cr<sup>3+</sup>时不能生长,但在稻草或土壤中能够耐受 5 mmol/L Cr<sup>3+</sup>。随着环境中铬污染的日益严重以及食用菌组织结构、形态特征、生长发育特性的变化,平菇耐铬能力已发生重大变化。Cr<sup>3+</sup>浓度 500 mg/kg 对平菇生长特性起抑制作用,子实体中 Cr<sup>3+</sup>的含量已超过国家限量标准(国家标准:≤ 0.3~2.0 mg/kg),因而平菇栽培过程中栽培料中铬含量应不超过 250 mg/kg。铬对于人体而言属于微量元素,正常人体内仅含有 6~7 mg,推荐摄入量为 10~50 μg/d,可耐受最高摄入量 200~500 μg/d<sup>[17]</sup>,因此,严格控制培养料中的重金属 Cr<sup>3+</sup>含量对有效控制平菇重金属 Cr<sup>3+</sup>的质量安全具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 王贺祥.食用菌栽培学[M].北京:中国农业大学出版社,2009:107-116,289-290.
- [2] 邵满超,陈城超,陈康,等.广州市石牌市场食用菌重金属含量及评价[J].安徽农业科学,2010,38(23):12673-12675.
- [3] 吴庆其,吴学谦,魏海龙,等.金针菇的重金属富集作用与累积规律的研究[C]//第二届全国食用菌中青年专家学术交流会论文集.北京:中国菌物学会,2008:205-210.

(2) 平菇菌盖中的 Cr<sup>3+</sup>富集含量随着 Cr<sup>3+</sup>浓度的增加而

(下转第 59 页)

片未利用地可实施坡改梯工程,通过各类工程措施可开发未利用地增加耕地面积;若有分布零散、规模不足的未利用地,可与其他土地整治类型相结合,融入农用地整理、建设用地整理、土地复垦等工程开展土地综合整治,保障土地整治的效益最大化;针对坡度过陡、交通不便、土壤不宜耕种等无法开发成耕地的未利用地,进行植树造林,有利于保水保土防风防沙,保护生态环境;对于有泄洪等生态功能的滩涂,禁止开发。未利用地开发始终坚持“在保护中开发,在开发中保护”的原则,开发与保护并行,做到土地开发与生态建设、环境保护相协调,保障生态环境安全。

**3.6 以综合型土地整治方式开展生态环境建设** 以多种整治类型融合、多种整治措施综合为导向开展生态环境建设,促进土地数量、质量、生态“三位一体”保护,改善土地整体生态环境,落实生态文明建设。陕南秦巴山区山大沟深,地形地貌复杂,耕地质量相对较低,坡耕地较多,集中连片度不高,农村居民点分布零散,聚集度低,适宜将高标准农田建设与新农村建设相结合,推进田、水、路、林、村土地综合整治,将农田基础设施建设和农村生活配套设施建设相结合,将腾退宅基地复垦和农田景观建设相结合,提升耕地的生态功能,改善农村整体面貌,实现增加耕地面积,提高耕地质量,改善人居环境的目的,建成规模化的生态型农田和美丽宜居的新农村。此外,农用地整理可与土地复垦、土地开发相结合,加大损毁耕地整理复垦、宜耕后备资源开发与周边耕地连片配套建设,提高土地利用效率。结合山区自然条件,开展小流域治理和水土保持工作,加强生态防护林、水源涵养林和农田保土保肥建设,推进退耕还林还草综合治理,防止和减少水土流失,维护生物多样性,严格落实水源保护制度,依法严控水源保护区的土地开发利用;保持农村风貌,保留传统农耕文化和民俗文化中的积极元素,提升乡村景观风貌;结合地方特色农业,发展农业生态旅游;加强自然保护区和文化遗产、名胜古迹保护,自然保护区范围内禁止开展土地整治活动,避免整治活动破坏文化遗产、历史遗迹。土地生态综合整治,坚持“在保护中整治,在整治中保护”,充分发挥

各类用地的生产、生态、景观等功能,促进土地资源的可持续利用,改善生态环境,构筑生态安全屏障。

综上所述,以往的单一类型整治越来越少,以一种或几种整治类型为主的综合整治方式更加适合当前形势下的生态环境建设。在新形势下,落实生态文明建设战略,实施山水林田湖草生态保护修复工程,实施土地综合整治,打造生态农田、建设美丽乡村和特色城镇、着力生态环境建设。

#### 4 结语

经过 20 多年的发展,土地整治的范畴、内涵等都发生了深刻变化<sup>[10]</sup>,在范围上从相对独立分散的整治发展为综合整治;在内涵上从增加耕地数量的单一任务到增加耕地数量、提高耕地质量、改善生态环境三者统一任务;在手段上由田、水、路、林、村等单项工程措施向综合整治措施转变。在新形势下,陕南秦巴山区土地整治应综合考虑区域生产、生态、景观功能,涵养水源,防止水土流失,保护生物多样性,以建设高标准农田、优化城乡用地结构、增加有效耕地面积、提高耕地质量和改善生态环境为重点,积极推广生态型土地综合整治方式。

#### 参考文献

- [1] 严金明, 夏方舟, 马梅. 中国土地整治转型发展战略导向研究[J]. 中国土地科学, 2016, 30(2): 3-10.
- [2] 冯应斌, 杨庆媛. 转型期中国农村土地综合整治重点领域与基本方向[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 175-182.
- [3] 张勇, 汪应宏, 包婷婷, 等. 土地整治研究进展综述与展望[J]. 上海国土资源, 2014, 35(3): 15-20.
- [4] 刘向东, 陈溪涛, 郭毛选. 我国土地整治效益评价研究进展与展望[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(19): 10144-10146, 10196.
- [5] 鄢宛琪, 朱道林, 汤怀志. 中国土地整治战略重塑与创新[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 1-8.
- [6] 安静, 郝润梅. 近期我国土地整治研究综述及未来展望[J]. 西部资源, 2015(4): 25-29.
- [7] 国土资源部规划司. 县级土地整治规划编制规程: TD/T 1035—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [8] 许明军, 杨子生. 我国西南边疆山区农村土地整治模式初探: 以云南省为例[J]. 国土资源科技管理, 2014, 31(5): 149-154.
- [9] 陈晓军, 郑刚, 牛德利, 等. 重庆武陵山区农村土地整治问题与对策[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(18): 3977-3979, 3986.
- [10] 王晓健, 钱程, 邹秋华. 土地整治研究进展综述与展望[J]. 时代农机, 2017, 44(6): 136, 138.
- [11] LEYVAL C, TURNAU K, HASELWANDTER K. Inhibition of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: Physiological, ecological and applied aspects[J]. Mycorrhiza, 1997, 7(3): 139-153.
- [12] BAKER A J M. Metal tolerance[J]. New Phytol, 1987, 106: 93-111.
- [13] TURNAU K, KOTTKE I, DEXHEIMER J. Toxic element filtering in *Rhizopogon roseolus*/*Pinus sylvestris* mycorrhizas collected from calamine dumps[J]. Mycol Res, 1996, 100(1): 16-22.
- [14] GALLI U, SCHÜEPP H, BRUNOLD C. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi[J]. Physiol Plant, 1994, 92(2): 364-368.
- [15] TURNAU K, KOTTKE I, DEXHEIMER J, et al. Element distribution in mycelium of *Pisolithus tinctorius* treated with cadmium dust[J]. Ann Bot, 1994, 74(2): 137-142.
- [16] BALDRIAN P, GABRIEL J. Lignocellulose degradation by *Pleurotus ostreatus* in the presence of cadmium[J]. FEMS Microbiology Letters, 2003, 220(2): 235-240.
- [17] 孙远明. 食品营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 423-424.

(上接第 54 页)

- [4] 唐海燕, 肖清贵, 徐红彬, 等. 有机铬营养生物学研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 378-383.
- [5] 李雪, 严全鸿, 李祚. 不同价态铬检测技术及废水、明胶、皮革及织物前处理方法的研究进展[J]. 药学研究, 2016, 35(10): 605-606, 613.
- [6] 陈伟珍, 苏文义, 杨桂珍, 等. 微波消解 ICP-AES 联用测定食用菌中锌、铁、锰和铜的含量[J]. 食用菌学报, 2012, 19(2): 69-72.
- [7] 杨小红, 胡清秀, 韩立荣. 平菇对培养料中有害重金属的富集及临界含量值研究[J]. 食用菌学报, 2009, 16(3): 67-71.
- [8] 陈庆榆, 张娟. Cr<sup>3+</sup>元素在平菇栽培中的应用研究[J]. 中国林副特产, 2005(5): 41-42.
- [9] 柴红梅, 汪禄祥, 和丽忠, 等. 黑木耳菌丝及子实体对铬的富集研究[J]. 中国食用菌, 2012, 31(5): 45-48.
- [10] 周启星, 安鑫龙, 魏树和. 大型真菌重金属污染生态学进展与展望[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1848-1853.