

# 黑木耳对铅中毒大鼠促排铅作用的研究

黄兹英<sup>1, 2, 3</sup>, 黎其万<sup>1</sup>, 王继良<sup>3</sup>, 和丽忠<sup>1</sup>, 王伟<sup>3</sup>, 李波<sup>4</sup>

(1. 云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 云南昆明 650223) (2. 海南省农垦那大医院药学部, 海南儋州 571700) (3. 昆明医科大学药学院暨云南省天然药物药理重点实验室, 云南昆明 650500)

(4. 昆明医科大学实验动物中心, 云南昆明 650500)

**摘要:** 本文研究了黑木耳对铅中毒大鼠的促排铅作用。采用预防性高铅大鼠模型分别进行黑木耳促排铅试验和黑木耳提取物促排铅试验, 分析黑木耳排铅试验各组中血铅、脑铅、肝铅、肾铅、骨铅、尿铅和粪铅含量及清除率, 以及黑木耳不同提取物排铅试验各组中血铅、脑铅、肝铅、肾铅、骨铅、尿铅和粪铅含量及清除率。经统计学分析发现, 黑木耳能显著降低铅中毒大鼠中骨铅、血铅、肝铅、肾铅和脑铅的含量 ( $P < 0.05$ ), 平均清除率依次为 28.61%、59.94%、59.64%、15.84%、29.41%。黑木耳乙醇提取物能显著降低血铅含量 (清除率为 63.47%), 使尿铅排出量增加 (清除率为 -55.45%); 水提取物粪铅排出量显著增加 (清除率为 -26.60%); 提取物残渣能显著降低骨铅、肝铅、肾铅和脑铅含量 (清除率分别为 49.82%、74.21%、74.76% 和 80.59%), 研究结果表明黑木耳对铅中毒大鼠具有良好的排铅作用, 且通过其多组分协同作用达到促排铅效果。

**关键词:** 黑木耳; 排铅; 清除率

文章编号: 1673-9078(2015)7-25-31

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.005

## Lead-eliminating Function of *Auricularia auricular* in Lead-poisoned Rats

HUANG Zi-ying<sup>1,2,3</sup>, LI Qi-wan<sup>1</sup>, WANG Ji-liang<sup>3</sup>, HE Li-zhong<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, LI Bo<sup>4</sup>

(1. Quality Standard and Testing Technology Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China)

(2. Department of Pharmacy, Nongken Nada Hospital of Hainan Province, Danzhou 571700, China) (3. School of Pharmaceutical Science & Yunnan Key Laboratory of Pharmacology for Natural Products, Kunming Medical University, Kunming 650500,

China) (4. Laboratory Animal Center, Kunming Medical University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Elimination of lead by *Auricularia auricular* and its extracts was investigated using a preventive, high-lead rat model. Lead content and lead clearance rates in the blood, brain, liver, kidney, femur, urine, and feces of experimental groups treated with *A. auricular* and its various extracts were analyzed. The results showed that *A. auricular* could decrease lead content in the femur, blood, liver, kidneys and brain of lead-poisoned rats ( $P < 0.05$ ), with clearance rates of 28.61%, 59.94%, 59.64%, 15.84%, and 29.41%, respectively. The *A. auricular* ethanol extract decreased lead content in blood (clearance rate: 63.47%) and increased lead content in urine (clearance rate: -55.45%); aqueous extract caused an increase in lead content in feces (clearance rate: -26.60%). Moreover, the extract residue showed a decrease in lead content in the femur, liver, kidneys, and brain (clearance rates: 49.82%, 74.21%, 74.76%, and 80.59%, respectively). These results indicate that *A. auricular* exerts good lead-eliminating effects in lead-poisoned rats, achieved by the synergistic action of its multiple components.

**Key words:** *Auricularia auricular*; lead-eliminating; clearance rate

铅是环境中广泛存在的一种具有多系统和多器官毒性的重金属。铅可以通过皮肤、呼吸道以及消化道进入人体, 分布于全身组织和脏器中, 95%以不溶性磷酸铅盐形式沉积于骨骼中, 由于肝肠循环, 排泄出体外的铅量很少, 蓄积在人体内的铅通过与钙、铁、锌等二价金属离子竞争受体、产生自由基氧化损伤及

收稿日期: 2014-10-06

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2009BADB7B06)

作者简介: 黄兹英 (1988-), 男, 药师, 研究方向: 天然药物开发及产品质量控制

通讯作者: 王继良 (1963-), 男, 教授, 研究方向: 天然药物化学研究

基因损伤、引起细胞凋亡等方式损伤机体<sup>[1]</sup>, 其中铅对婴幼儿的身体生长和智力发育影响最明显。随着我国工业、农业和交通运输业的发展, 生活环境中蓄积的铅逐渐增加, 造成人体内的铅也随之不断升高<sup>[2]</sup>。目前我国儿童铅中毒的发生率为 30%~50%, 远高于美国儿童铅中毒 4.4%的水平<sup>[3]</sup>。据统计, 我国儿童血铅平均值为 92.9  $\mu\text{g/L}$ , 有 33.8%的儿童血铅平均水平超过 100  $\mu\text{g/L}$ <sup>[4]</sup>。铅中毒已成为我国现阶段一种职业病和常见慢性病, 必须采取综合措施从根本上进行防治。

目前国内外排铅的主要方法有: 西药、中药和天然产物驱铅。西药驱铅周期短, 治疗快, 同时有肝肾

毒性,会导致钙、铁和锌等人体必需元素的损失<sup>[5]</sup>,不能长期连续用药。中药驱铅以传统中医理论和中医处方为主,胡孔友<sup>[6]</sup>等用茯苓、菊花、绿豆、魔芋等提取物对染铅动物学习记忆和消化功能具有改善作用,但是中药需煎煮,服用不方便,而且疗效不够显著,剂量难以控制。而天然产物在排铅方面有显著效果,国外报道了大蒜中蒜氨酸可结合铅降低铅中毒大鼠的毒性<sup>[7]</sup>;魔芋精粉可与铅特异性结合并促使其排出而不影响钙、铁、锌等元素吸收,因此魔芋精粉可作为防治铅毒保健食品<sup>[8]</sup>。由此可见,驱铅药物研发的重点应转向治疗效果好,副作用低,服用方便,可供日常保健的天然驱铅药物。木耳是一种营养价值极高的药食两用大型真菌,研究发现从富硒木耳中分离得到的木耳硒多糖可以降低各组织铅和汞含量<sup>[9]</sup>,墨瑜<sup>[10]</sup>发现毛木耳和白木耳子实体对铅的吸附率分别为20.33 mg/g和19.16 mg/g。综上所述,木耳对铅具有一定吸附作用,而将木耳直接进行动物排铅实验还未见报道,本研究参考我国颁布的《促进排铅功能评价方法》,采用更接近慢性低剂量铅中毒人群现状的预防性高铅动物模型来设计黑木耳的促排铅功能实验。采用GF-AAS法测定大鼠组织中铅含量,通过比较高、中、低剂量治疗组与模型对照组和阳性对照组中血铅、脑铅、肝铅、肾铅、骨铅、尿铅和粪铅的含量及清除率,以此评价黑木耳的促排铅作用。本研究进一步以黑木耳不同提取物对铅中毒大鼠进行试验,通过比较黑木耳不同提取物治疗组与模型对照组中血铅、脑铅、肝铅、肾铅、骨铅、尿铅和粪铅的含量及清除率,确证黑木耳的排铅主要组分。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

SPF级成年雌性SD健康大鼠,体重180~220 g,由昆明医科大学动物实验中心提供

(许可证号:SCXK(滇)2005-0008,合格证号:滇实动证字第2005018号)。

黑木耳(产地:吉林,批号:KP495)为云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所购自集贸市场的栽培干燥黑木耳子实体,将其粉碎成大约100目的均一黑木耳粉待用;依地酸钙钠注射液5 mL:1 g(天津金耀氨基酸有限公司);盐酸普鲁卡因注射液10 mL:0.1 g(常州兰陵制药有限公司);生理盐水(昆明市宇斯药业有限公司);醋酸铅(分析纯)购自北京红星化工厂;石油醚(分析纯)购自天津永大化学试剂公司;乙酸乙酯(分析纯)购自天津风船化学试剂公

司;甲醇(分析纯)购自天津永大化学试剂公司;吐温80(分析纯)购自成都化学试剂厂;硝酸、高氯酸(优级纯)均购自国药集团化学试剂厂;氩气(纯度 $\geq 99.99\%$ )购自昆明梅塞尔气体产品有限公司;铅标准储备液1000 mg/mL(国家标准物质研究中心);实验用水为超纯水。

AA700型石墨炉原子吸收分光光度计(美国Perkin Elmer公司);Arium-611型超纯水器(德国Sartorius公司);XS104型电子分析天平(METTLER TOLEDO公司);HS3120型超声仪(HENGGAO公司);DHG-9203A型电热鼓风干燥箱(上海一恒科技有限公司);EG35A型数显微控电热板(LabTech公司);铅空心阴极灯(美国Perkin Elmer公司);一次性使用真空采血管(江西格兰斯医疗器械有限公司);热解涂层石墨管、自动进样器、微量移液枪、聚乙烯加盖容量管、聚四氟乙烯消解缸、手术器械、1.5 mL PE离心管等。所用容量器皿均用10%硝酸浸泡过夜,冲洗干净,晾干后备用。

### 1.2 溶液制备

#### 1.2.1 药液制备

称取一定量的醋酸铅,加超纯水搅拌均匀,配制成浓度为0.1%醋酸铅溶液。移取一定量的依地酸钙钠注射液,加盐酸普鲁卡因注射液摇匀,配制成浓度为50.7 mg/mL的依地酸钙钠溶液。称取一定量的黑木耳粉末,加超纯水搅拌均匀,配制成浓度为66.7 mg/mL的黑木耳溶液。

#### 1.2.2 黑木耳提取物及其溶液制备

称取100 g黑木耳粉2份分别置于大烧杯中,依次分别加入10倍体积石油醚、乙酸乙酯、乙醇,搅拌器上搅拌浸提12 h后,再超声20 min,过滤,取滤液,滤渣按上述方法再提取2次,合并滤液并浓缩干燥至恒重,分别得到石油醚提取物6.2 g、乙酸乙酯提取物3.8 g、得到乙醇提取物15.0 g;再将收集的滤渣置于大烧杯中,加入10倍体积蒸馏水,60 °C水浴搅拌浸提12 h,再超声20 min,过滤,取滤液,滤渣按上述方法再提取4次,合并滤液并浓缩干燥至恒重,得到水提取物25.0 g。合并滤渣并干燥至恒重,即得黑木耳提取物残渣。

分别称取一定量的黑木耳石油醚提取物和乙酸乙酯提取物的混合物(即醚酯提取物)、乙醇提取物、水提取物加热熔融后,醚酯提取物和乙醇提取物分别加入适量2%吐温80溶液,水提取物组加入适量超纯水,分别置于80 °C水浴中搅拌,使浸膏完全溶解于水相中,再超声20 min,加超纯水定容,配制成浓度

为 20.0 mg/mL 醚酯提取物溶液、30.0 mg/mL 的乙醇提取物溶液、50.0 mg/mL 的水提取物溶液。称取一定量黑木耳残渣，加超纯水适量，搅拌均匀，配制成浓度为 66.7 mg/mL 的残渣物溶液。

### 1.2.3 铅标准溶液制备

精密移取 0.1 mL 铅标准储备液，于 100 mL 容量瓶中，加 2% 硝酸定容至刻度，制备成浓度为 1  $\mu\text{g/mL}$  铅标准中间液。精密移取 5.0 mL 铅标准中间液，置于 100 mL 容量瓶中，加 2% 硝酸定容至刻度，制备成浓度为 50  $\mu\text{g/L}$  的铅标准应用液。制备标准空白溶液。

### 1.2.4 样品溶液制备

称取一定量的大鼠血样（约 0.1 g），脑、肝、肾、骨和粪样（各约 0.02 g），并精密称定，精密移取大鼠尿样 0.1 mL，分别置于聚四氟乙烯消解缸锅中，加 5 mL 硝酸，0.5 mL 高氯酸，盖上盖子，放置过夜后置于电热板上 200  $^{\circ}\text{C}$  加热消解，消化至透明无色后，打开盖子继续加热使高氯酸分解完全至溶液剩余约 0.5 mL 左右，取下放冷，将消化好的样品溶液转移至 50 mL 聚乙烯容量管中，用 2% 硝酸润洗聚四氟乙烯消解缸锅三次，并定容至 25 mL，摇匀，取适量用于 GF-AAS 检测，同法同时做空白对照。

## 1.3 黑木耳排铅试验动物分组与给药方法

成年雌性 SD 大鼠 48 只，体重约 180~220 g，清洁级环境中适应性饲养一周后，利用随机分组法分为 6 组，每组 8 只。各组给药方法如下：空白对照组自由饮水和基础饲料；其余 5 组每日饮用 0.1% 醋酸铅溶液，制备预防性铅中毒大鼠模型，其中模型对照组每日灌胃给予 10 mL/kg 生理盐水；阳性对照组第三天开始每日肌注 50.7 mg/kg 依地酸钙钠溶液（连续肌注 3 天，停药 4 d 为一疗程，给药 4 个疗程）；排铅高、中、低剂量组每日分别灌胃给予黑木耳溶液 1333 mg/kg、667 mg/kg 和 333 mg/kg，各组给药前均禁食 12 h，每日称重一次以调整给药剂量。各组受试样品给予时间为 30 d，并于末次给予受试样品 24 h 后，称量大鼠体重，取晨尿、粪，取全血并处死大鼠，取大鼠脑、肝、肾、双侧股骨。将收集的大鼠尿样、血样置于 -22  $^{\circ}\text{C}$  中保存待测，将大鼠脑、肝、肾、股骨、粪样于烘箱中 105  $^{\circ}\text{C}$  干燥至恒重，置于研钵中粉碎后按 1.2.4 项进行湿式消化制备样品溶液待测。

## 1.4 黑木耳提取物排铅试验动物分组与给药方法

成年雌性 SD 大鼠 35 只，体重约 180~220 g，清

洁级环境中适应性饲养一周后，利用随机分组法分为 7 组，每组 5 只。各组给药方法如下：空白对照组、模型对照组和阳性对照组给药方法同 1.3 项。醚酯提取物组、乙醇提取物组、水提取物组、残渣组每日饮用 0.1% 醋酸铅溶液，制备预防性铅中毒大鼠模型，同时每日分别灌胃给予醚酯提取物 200 mg/kg，乙醇提取物组 300 mg/kg、水提取物组 500 mg/kg、残渣 667 mg/kg，给药前禁食 12 h，每日称重一次以调整给药剂量。各组受试样品给予时间为 30 d，并于末次给予受试样品 24 h 后，称量大鼠体重，取晨尿、粪，取全血并处死大鼠，取大鼠脑、肝、肾、双侧股骨同 1.3 项保存并处理后待测。

## 1.5 GF-AAS 工作条件

GF-AAS 的工作条件为波长 283.3 nm，狭缝 0.7 nm，灯电流 8.0 mA，载气氦气（纯度大于 99.999%），流速 150 mL/min，读数方式：峰面积；氘灯背景校正；石墨炉升温程序如下（见表 1）。

表 1 石墨炉升温程序

Table 1 Heating program of the graphite furnace

步骤	温度 / $^{\circ}\text{C}$	坡升时间/s	保留时间/s	流量 /( $\mu\text{L/min}$ )
干燥(I)	100	5	20	250
干燥(II)	140	15	15	250
灰化	500	10	20	250
原子化	1800	0	5	0
清洗	2600	1	3	250

## 1.6 样品测定

每个样品分别取三份，按照 1.2.3 项处理后取少量样品溶液加入样品杯中按 1.4 项 GF-AAS 的工作条件测定。样品中铅含量超出测定范围，可将样品适度稀释后测定。以样品吸光度值减去样品空白的吸光度值，从标准曲线中查得的浓度即稀释样品中铅的浓度，再乘以稀释倍数即得样品中铅的实际浓度。在样品检测时每隔 20 个样品检测一次中间浓度的标准溶液，以校正样品测定的准确性。

## 1.7 数据处理与结果判定

采用 SPSS 17.0 软件进行数据处理，各组间大鼠中血、脑、肝、肾、股骨、尿、粪间铅含量差异采用完全随机设计的方差分析及两两间的多重比较，检验水准为  $\alpha=0.05$  或  $\alpha=0.01$ ，所有数据采用均数 $\pm$ 标准差 ( $\bar{x}\pm s$ ) 表示。依据我国《促进排铅功能评价办法》，在动物模型成立的前提下，模型治疗组与模型对照组

比较, 骨铅含量显著降低, 同时血铅或肝铅显著降低, 可判定该受试样品实验结果为阳性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 黑木耳排铅试验各组大鼠血、骨、肝、肾、

脑、尿和粪中铅含量

通过 GF-AAS 法测定黑木耳排铅试验中各组大鼠血铅、骨铅、肝铅、肾铅、脑铅、尿铅和粪铅的含量, 检测结果如下 (见表 2)。

表 2 各组大鼠血、骨、肝、肾、脑、尿、粪中铅含量

Table 2 Lead content in the blood, liver, brain, urine, femurs, kidneys, and feces in each group

组别	n	血铅/( $\mu\text{g/g}$ )	骨铅/( $\mu\text{g/g}$ )	肝铅/( $\mu\text{g/g}$ )	肾铅/( $\mu\text{g/g}$ )
空白组 (A)	8	0.06 $\pm$ 0.01	4.09 $\pm$ 0.81	0.07 $\pm$ 0.01	4.62 $\pm$ 0.80
模型组 (B)	8	3.60 $\pm$ 0.88	260.07 $\pm$ 23.97	29.13 $\pm$ 2.71	566.42 $\pm$ 88.08
阳性组 (C)	8	0.96 $\pm$ 0.27 $\Delta\Delta$	150.97 $\pm$ 17.24 $\Delta\Delta$	8.02 $\pm$ 1.61 $\Delta\Delta$	117.30 $\pm$ 14.03 $\Delta\Delta$
高剂量组 (D)	8	1.19 $\pm$ 0.18 $\Delta\Delta$	171.20 $\pm$ 11.37 $\Delta\Delta$	11.26 $\pm$ 1.26 $\Delta\Delta\star$	466.67 $\pm$ 37.47 $\Delta\Delta\star$
中剂量组 (E)	8	1.42 $\pm$ 0.31 $\Delta\Delta$	183.98 $\pm$ 18.02 $\Delta\Delta\star$	11.64 $\pm$ 1.68 $\Delta\Delta\star\star$	468.45 $\pm$ 51.52 $\Delta\Delta\star\star$
低剂量组 (F)	8	1.72 $\pm$ 0.49 $\Delta\Delta\star$	201.80 $\pm$ 17.95 $\Delta\Delta\star\star$	12.52 $\pm$ 1.62 $\Delta\Delta\star\star$	495.00 $\pm$ 61.30 $\Delta\Delta\star\star$
组别	n	脑铅/( $\mu\text{g/g}$ )	尿铅/( $\mu\text{g/mL}$ )	粪铅/( $\mu\text{g/g}$ )	
空白组 (A)	8	0.052 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.01	2.20 $\pm$ 0.64	
模型组 (B)	8	12.19 $\pm$ 1.57	2.92 $\pm$ 0.61	292.47 $\pm$ 63.58	
阳性组 (C)	8	3.35 $\pm$ 0.68 $\Delta\Delta$	1.77 $\pm$ 0.25 $\Delta\Delta$	78.32 $\pm$ 8.16 $\Delta\Delta$	
高剂量组 (D)	8	7.87 $\pm$ 1.04 $\Delta\Delta\star\star$	4.47 $\pm$ 0.31 $\Delta\Delta\star\star$	251.31 $\pm$ 37.52 $\Delta\Delta\star\star$	
中剂量组 (E)	8	8.52 $\pm$ 1.25 $\Delta\Delta\star\star$	4.05 $\pm$ 0.35 $\Delta\Delta\star\star$	261.90 $\pm$ 20.72 $\Delta\Delta\star\star$	
低剂量组 (F)	8	9.43 $\pm$ 1.03 $\Delta\Delta\star\star$	3.31 $\pm$ 0.85 $\Delta\Delta\star$	258.62 $\pm$ 40.01 $\Delta\Delta\star\star$	

注: C、D、E、F 组分别与 B 组比较,  $\Delta P < 0.05$ ,  $\Delta\Delta P < 0.01$ , D、E、F 组分别与 C 组比较,  $\star P < 0.05$ ,  $\star\star P < 0.01$ 。

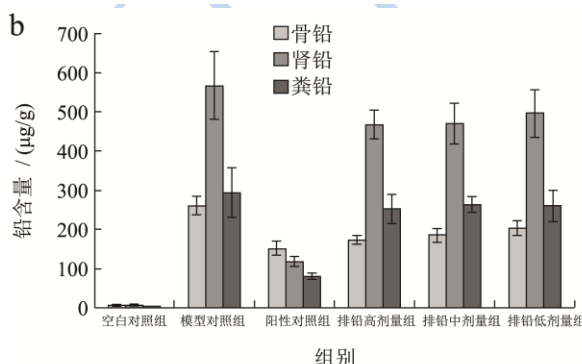
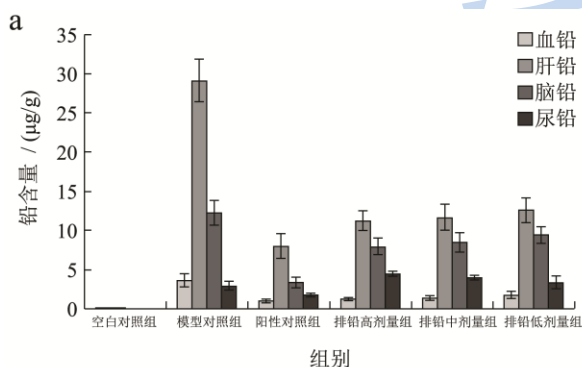


图 1 各组大鼠血铅、肝铅、脑铅、尿铅含量 (a) 和骨铅、肾铅、粪铅含量 (b)

Fig.1 Lead content in the blood, liver, brain, and urine (a), as well as the femurs, kidneys, and feces (b) in each group

如表 2 所示, 通过对预防性铅中毒大鼠模型驱铅实验发现, 大鼠染铅后, 各染铅模型组与空白对照组比较: 血铅、肝铅、骨铅、脑铅和肾铅含量显著增加, 尿铅和粪铅中铅排出量也显著增加, 经统计学比较差异具有显著性 ( $P < 0.01$ ), 表明铅中毒大鼠造模成功。

经治疗后, 排铅各组分别与模型对照组比较: 血铅、肝铅、骨铅、脑铅、肾铅含量均显著降低, 经统计学比较差异具有显著性 ( $P < 0.05$ ); 排铅高、中剂量组排尿铅量显著增加, 阳性对照组尿铅和粪铅排出量显著降低, 可能与阳性对照组大鼠体内铅总量进一步减少有关, 经统计学比较差异均具有显著性 ( $P < 0.05$ ), 说明黑木耳和依地酸钙钠均具有较好驱铅作用。

黑木耳排铅各组与阳性对照组比较: 排铅高剂量组对血铅和骨铅降低与阳性对照组比较, 差异无显著性, 说明黑木耳降低血铅和骨铅效果与依地酸钙钠相当; 排铅高、中、低剂量组对肝铅、肾铅和脑铅降低量劣于阳性对照组, 经统计学比较差异具有显著性 ( $P < 0.05$ ), 说明黑木耳降低肝铅、肾铅和脑铅效果比依地酸钙钠差; 排铅高、中剂量组尿铅和粪铅排出量较阳性对照组显著增加, 经统计学比较差异具有显著性 ( $P < 0.01$ ), 说明黑木耳促进尿铅和粪铅排出效果优于依地酸钙钠。

黑木耳排铅各组间比较：排铅高剂量组降低血铅、骨铅、肝铅含量优于排铅低剂量组，排铅高剂量组促进尿铅排出效果优于排铅低剂量组，经统计学比较差异均具有显著性，其排铅效果见图1。

## 2.2 黑木耳排铅试验各组血铅、骨铅、肝铅、肾铅、脑铅、尿铅和粪铅清除率

将阳性对照组和排铅高、中、低剂量组的血铅、骨铅、肝铅、肾铅、脑铅、尿铅和粪铅均值与模型对照组的血铅、骨铅、肝铅、肾铅、脑铅、尿铅和粪铅均值进行比较，计算清除率，结果如下（见表3）。

$$\text{清除率}\% = \frac{\text{模型对照组} - \text{排铅实验组}}{\text{模型对照组}} \times 100\%$$

表3 各组大鼠血铅、骨铅、肝铅、脑铅、肾铅、尿铅和粪铅清除率

**Table 3 Lead clearance rates in the blood, femurs, liver, brain, kidneys, urine, and feces in each group**

组别	血铅 清除率/%	骨铅 清除率/%	肝铅 清除率/%	肾铅 清除率/%	脑铅 清除率/%	尿铅 清除率/%	粪铅 清除率/%
阳性对照组	73.51	41.95	72.48	79.29	72.49	39.45	73.22
排铅高剂量组	67.02	34.17	61.34	17.61	35.46	-52.82	14.07
排铅中剂量组	60.58	29.26	60.04	17.30	30.14	-38.45	10.45
排铅低剂量组	52.21	22.41	57.00	12.61	22.64	-13.21	11.57
标准偏差 (S)	9.10	8.23	6.76	31.81	22.17	40.59	30.63

表4 各组大鼠样品中铅含量

**Table 4 Lead content in various organs for each group**

组别	n	血铅/(μg/g)	骨铅/(μg/g)	肝铅/(μg/g)	肾铅/(μg/g)
空白对照组 (A)	5	0.06±0.02	4.09±0.82	0.07±0.02	4.31±0.68
模型对照组 (B)	5	3.69±0.62	258.37±22.45	30.50±1.81	529.28±74.78
阳性对照组 (C)	5	0.97±0.31▲▲	158.46±9.38▲▲	8.19±1.56▲▲	114.73±11.91▲▲
醚酯提取物组 (D)	5	1.98±0.48▲▲▲★	175.02±10.86▲▲	11.32±1.70▲▲▲★	474.78±15.11★
乙醇提取物组 (E)	5	1.35±0.33▲▲	206.69±13.96▲▲▲★	11.77±1.67▲▲▲★	334.41±43.12▲▲▲★
水提取物组 (F)	5	2.02±0.50▲▲▲★	195.22±12.61▲▲▲★	15.65±2.36▲▲▲★	296.58±67.66▲▲▲★
残渣组 (G)	5	2.11±0.25▲▲▲★	129.66±8.89▲▲▲★	7.86±1.59▲▲	133.59±17.60▲▲

组别	n	脑铅/(μg/g)	尿铅/(μg/mL)	粪铅/(μg/g)
空白对照组 (A)	5	0.05±0.01	0.05±0.01	2.61±0.44
模型对照组 (B)	5	12.77±1.46	2.66±0.66	303.83±71.31
阳性对照组 (C)	5	3.25±0.55▲▲	1.91±0.22	79.75±8.19▲▲
醚酯提取物组 (D)	5	7.51±0.52▲▲▲★	3.98±0.50▲▲▲★	271.66±38.52★
乙醇提取物组 (E)	5	6.50±0.97▲▲▲★	4.14±0.66▲▲▲★	261.18±23.82★
水提取物组 (F)	5	2.89±0.54▲▲	2.64±0.54★	384.65±28.62▲▲▲★
残渣组 (G)	5	2.48±0.45▲▲	3.58±0.87▲▲▲★	258.69±35.66★

注：C、D、E、F、G组分别与B组比较，▲P<0.05，▲▲P<0.01，D、E、F、G组分别与C组比较，★P<0.05，★★P<0.01。

如表4所示，通过黑木耳不同提取物对预防性铅中毒大鼠的驱铅实验发现，各染铅组与空白对照组比较，血、肝、骨、脑、肾等器官中铅含量及尿和粪中

如表3所示，阳性对照组血铅、骨铅、肝铅、脑铅和肾铅的清除率高于黑木耳排铅各组，说明阳性药物依地酸钙钠排铅效果优于黑木耳；黑木耳排铅各组随剂量增加，血铅、骨铅、肝铅、脑铅和肾铅的清除率依次增加，说明高剂量黑木耳的排铅效果优于低剂量。

## 2.3 黑木耳提取物排铅试验各组大鼠样品中铅含量

通过GF-AAS法测定黑木耳提取物排铅试验各组大鼠血、骨、肝、肾、脑、尿和粪样中铅的含量，检测结果如下（见表4）。

铅排出量显著增加，经统计学比较差异具有显著性（P<0.01），表明铅中毒大鼠造模成功。

经排铅治疗后，排铅各组分别与模型对照组比

较：除醚酯提取物组对肾铅含量降低无统计学意义外 ( $P>0.05$ )，其余阳性对照组、醚酯提取物组、乙醇提取物组、水提取物组和残渣组对血铅、肝铅、骨铅、脑铅、肾铅含量均明显降低，经统计学比较差异具有显著性 ( $P<0.01$ )；醚酯提取物组和乙醇提取物组对尿铅排出量显著增加，经统计学比较差异具有显著性 ( $P<0.01$ )；水提取物组对粪铅排出量显著增加，经统计学比较差异具有显著性 ( $P<0.01$ )；说明黑木耳各提取物和依地酸钙钠对血、肝、骨、脑、肾和尿中铅具有较好驱铅作用，水提取物组对粪铅排出量效果良好。

黑木耳提取物各组与阳性对照组比较：乙醇提取物组对血铅降低与阳性对照组比较，无显著性差异 ( $P>0.05$ )，说明乙醇提取物降低血铅效果与依地酸钙钠相当；残渣组对骨铅降低优于阳性对照组，经统计学比较差异具有显著性 ( $P<0.01$ )；残渣组降低肝铅、肾铅和脑铅量与阳性对照组比较，无显著性差异 ( $P>0.05$ )，说明黑木耳残渣降低骨铅优于依地酸钙

钠，而降低肝铅、肾铅和脑铅效果与依地酸钙钠相当。醚酯提取物、乙醇提取物、水提取物和残渣对尿铅和粪铅排出量显著增加 ( $P<0.01$ )。

黑木耳提取物各组间比较：乙醇提取物组对于血铅降低优于其余各组，经统计学比较差异具有显著性 ( $P<0.01$ )；残渣组对骨铅、肝铅、肾铅、脑铅降低优于其余各组，经统计学比较差异具有显著性 ( $P<0.01$ )；水提取物对粪铅排出量增加优于其余各组，但对尿铅排出量低于其余各组，经统计学比较差异均具有显著性 ( $P<0.01$ )。

## 2.4 黑木耳提取物排铅试验各组大鼠样品中铅的清除率

将排铅各实验组与模型对照组的血铅、骨铅、肝铅、肾铅、脑铅、尿铅和粪铅均值进行比较，计算清除率，结果如下（见表5）。

表5 各组样品铅的清除率

Table 5 Lead clearance rates in various organs for each group

组别	血铅	骨铅	肝铅	肾铅	脑铅	尿铅	粪铅
	清除率/%	清除率/%	清除率/%	清除率/%	清除率/%	清除率/%	清除率/%
阳性对照组	73.68	38.67	73.15	78.32	74.55	28.29	73.75
醚酯提取物组	46.47	32.26	62.87	10.30	41.16	-49.47	10.59
乙醇提取物组	63.47	20.00	61.41	36.82	49.05	-55.45	14.04
水提取物组	45.22	24.44	48.69	43.97	77.35	0.79	-26.60
残渣组	42.81	49.82	74.21	74.76	80.59	-34.56	14.86
标准偏差 (S)	13.56	11.81	10.37	28.26	18.09	35.64	35.97

如表5所示，阳性对照组血铅的清除率高于黑木耳的提取物各组，乙醇提取物组血铅的清除率高于黑木耳的提取物其它各组；残渣组骨铅的清除率高于阳性对照组和黑木耳的提取物其它各组；阳性对照组和残渣组的肝铅和肾铅清除率相当，且都高于黑木耳的提取物其它各组；残渣组、水提取物组和阳性对照组的脑铅清除率相当，且都高于黑木耳的提取物其它各组。

## 3 结论

通过黑木耳对预防性铅中毒大鼠模型促排铅功能实验结果所示，黑木耳能显著降低骨铅含量（平均清除率为28.61%），同时血铅、肝铅、肾铅和脑铅也显著降低（平均清除率依次为59.94%、59.64%、15.84%、29.41%），尿铅排出量增加（平均清除率为-34.83%）。依据我国颁布的《促进排铅功能评价办法》结果判定标准，表明黑木耳具有促进铅中毒大鼠排铅的作用。通过黑木耳不同提取物对预防性铅中毒大鼠

模型促排铅功能实验结果所示，黑木耳乙醇提取物能显著降低血铅含量（清除率为63.47%），使尿铅排出量增加（清除率为-55.45%）；水提取物能显著降低脑铅含量（清除率为77.35%），使粪铅排出量显著增加（清除率为-26.60%）；提取物残渣能显著降低骨铅、肝铅、肾铅和脑铅含量（清除率分别为49.82%、74.21%、74.76%和80.59%），使尿铅排出量显著增加（清除率为-34.56%）。结合现代排铅机制的研究发现，黑木耳促排铅功效可能与其富含大量蛋白质、胶质、维生素和钙等成分有关，黑木耳不同提取物排铅试验结果也表明了黑木耳的排铅作用是通过多组分共同作用于大鼠体内的铅而达到排铅效果。该研究有望将木耳开发为一种促排铅保健功能食品，不仅可以充分利用我国丰富的木耳资源，加大木耳资源开发利用的深度和附加值，而且为慢性铅中毒患者提供了一种安全有效、无毒副作用、绿色的排铅保健食品。

## 参考文献

- [1] Saiga A, Tanabe S, Nishimura T. Antioxidant activity of peptides obtained from porcine myofibrillar proteins by protease treatment [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2003, 51(12): 3661-3667
- [2] Gurer H, Ercal N. Can antioxidants be beneficial in the treatment of lead poisoning [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2000, 29:941-954
- [3] Tong S, Von Schimding Y E, Prapamontol T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions [J]. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78(9): 1068-1070
- [4] 王舜钦,张金良.我国儿童血铅水平分析研究[J].*环境与健康杂志*,2004,21(6):355-360  
WANG Shun-qin, ZHANG Jin-liang. Blood lead levels of children in China [J]. *J. Environ. Health*, 2004, 21(6): 355-360
- [5] Cantilena Jr L R, Klaassen C D. Comparison of effectiveness of several chelators after single administration on the toxicity, excretion, and distribution of cadmium [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1981, 58(3): 452-460
- [6] 胡孔友,从仁怀,马方励,等.一种中草药组方保健食品促进排铅功能的研究[J].*现代食品科技*,2009,25(11):1265-1268  
HU Kong-you, CONG Ren-huai, MA Fang-li, et al. Study of lead-removing function of a health food containing Chinese herbal medicines [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2009, 25(11): 1265-1268
- [7] Park P J, Jung W K, Nam K S, et al. Purification and characterization of antioxidative peptides from protein hydrolysate of lecithin-free egg yolk [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2001, 78(6): 651-656
- [8] 张立实,王瑞淑.魔芋精粉对大鼠的消化道吸收和慢性铅中毒的影响[J].*现代预防医学*,1998,25(1):79-81  
ZHANG Li-shi, WANG Rui-shu. Effects of refined konjac powder on gastrointestinal absorption of lead and chronic lead poisoning in rats [J]. *Modern Preventive Medicine*, 1998, 25(1):79-81
- [9] 张百岩,张天扬,王栗,等.富硒木耳栽培硒多糖提取及抗铅抗汞的研究[J].*农业环境保护*,2002,21(4):309-313  
ZHANG Bai-yan, ZHANG Tian-yang, WANG Li, et al. Characters of anti-mercury and anti-lead for selenium-enriched *Auricularia auricula*: cultivation and extraction of selenium polysaccharide [J]. *Agro- environmental Protection*, 2002, 21(4): 309-313
- [10] 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):1566-1574  
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): 1566-1574