

# 重金属在甘草中的健康风险评估及限量浓度测定

朱美霖<sup>1</sup>, 朱新忠<sup>2</sup>, 冯宁川<sup>1\*</sup>

(1. 宁夏医科大学基础医学院, 宁夏 银川 750004; 2. 宁夏农林科学院固原分院, 草畜资源开发与利用研究中心, 宁夏 固原 756000)

**摘要:** **目的** 评估重金属在甘草 *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* 中的健康风险, 并测定其限量浓度。 **方法** 计算甘草中6种重金属质量浓度及超标率, 评估健康风险, 蒙特卡洛模拟进行不确定性分析和敏感性分析, 并测定其限量浓度。 **结果** Cu、Pb、As、Cd、Hg、Cr 超标率分别为 5.88%、26.00%、6.67%、3.33%、12.50%、35.00%, 其限量浓度分别为 24.60、2.31、0.185、0.615、0.43、922.51 mg/kg, 宁夏产甘草的重金属安全性更高。 **结论** 6种重金属均会造成较高的非致癌风险, 并且 As 会引起致癌风险。Pb 和 As 限量浓度应进一步降低以提高重金属安全性。

**关键词:** 甘草; 重金属; 健康风险; 限量浓度; 蒙特卡洛模拟

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2016)08-1771-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2016.08.023

## Evaluation of health risks and determination of limited concentrations of heavy metals in *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma*

ZHU Mei-lin<sup>1</sup>, ZHU Xin-zhong<sup>2</sup>, FENG Ning-chuan<sup>1\*</sup>

(1. College of Basic Medical Sciences, Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China; 2. Research Center of Development and Utilization of Grass and Livestock Resources, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences Guyuan Branch, Guyuan 756000, China)

**ABSTRACT:** **AIM** To evaluate the health risks of heavy metals in *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* and to determine their limited concentrations. **METHODS** The concentrations and exceeding standard rates of six heavy metals in *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* were calculated. The health risks were evaluated, uncertainty analysis and sensitivity analysis were made by Monte Carlo simulation, then the limited concentrations were determined. **RESULTS** The exceeding standard rates of Cu, Pb, As, Cd, Hg and Cr were 5.88%, 26.00%, 6.67%, 3.33%, 12.50% and 35.00%, whose limited concentrations were 24.60 mg/kg, 2.31 mg/kg, 0.185 mg/kg, 0.615 mg/kg, 0.43 mg/kg and 922.51 mg/kg, respectively. The safety of heavy metals in *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* cultivated in Ningxia was higher. **CONCLUSION** Six heavy metals can cause high noncarcinogenic risks, and As brings a carcinogenic risk. The limited concentrations of Pb and As should be further reduced for increasing the safety of heavy metals.

**KEY WORDS:** *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma*; heavy metals; health risks; limited concentrations; Monte Carlo simulation

甘草 *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* 为豆科植物甘草 *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.、胀果甘草 *Glycyrrhiza inflata* Bat. 或光果甘草 *Glycyrrhiza glabra* L. 的干燥根及根茎, 其主要产区位于宁夏、甘肃、内蒙等地。

其中, 道地产区宁夏拥有丰富的矿产资源, 矿石在开发利用过程中可能导致各种重金属元素向种植土壤中迁移和释放<sup>[1-2]</sup>, 加之在种植过程中含重金属农药的使用, 使该植物重金属超标成为可能。

收稿日期: 2015-09-25

基金项目: 国家自然科学基金 (21266026); 宁夏医科大学特殊人才启动项目 (20010531)

作者简介: 朱美霖, 女, 讲师, 研究方向为天然药物重金属安全性评价。Tel: (0951) 6980120, E-mail: jay70281@163.com

\* 通信作者: 冯宁川, 女, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为资源循环和环境友好材料。Tel: (0951) 6980120, E-mail: ncfeng@sina.com

铜 (Cu)、铅 (Pb)、镉 (Cd)、砷 (As)、汞 (Hg)、铬 (Cr) 均为常见的重金属元素,其超过一定范围对人体有极大的危害。当 Cu 的摄入量超过人体需要量的 100 ~ 150 倍时,可引起坏死性肝炎和溶血性贫血<sup>[3]</sup>; Pb 会损害中枢神经系统,造成记忆力减退、反应时间延长以及认知能力下降<sup>[4]</sup>; 类金属 As 是一种致癌元素,主要毒害作用为扰乱呼吸系统、神经系统以及循环系统<sup>[5]</sup>; Cd 是毒性极强的重金属,会对肾、肺、肝、睾丸、脑、骨骼及血液系统均可产生毒性<sup>[6]</sup>; Hg 进入人体后会被转化为剧毒的甲基汞 (MeHg),更易被人体吸收,容易蓄积在肝和肾中,并损害大脑皮层、小脑和末梢神经<sup>[7]</sup>; 不同价态 Cr 的毒性不同, Cr (Ⅲ) 是人体必需元素,而 Cr (Ⅵ) 是一种剧毒元素<sup>[8]</sup>。

目前,大多数研究均集中于甘草中重金属的测定方法<sup>[9]</sup>及其含有量是否超标等方面<sup>[10-11]</sup>,而对重金属造成的健康风险却未有涉及,因此,本实验在总结前人研究的基础上,进行重金属在中药甘草中的健康风险评估,并进一步反推出其限量浓度,为甘草的安全用药提供理论依据。

## 1 材料与方法

1.1 数据来源与处理 以“甘草 重金属”、“甘草 Cu”、“甘草 Pb”、“甘草 Cd”、“甘草 微量元素”、“甘草 无机元素”等字段为关键词或题名,在中国知网、万方和维普资讯数据库上进行搜索,并以中文关键词的相应英文字段在 Springer、Elsevier、Web of Science 和 Wiley online 等数据库进行查询,筛选后获得相关文献 19 篇 (含英文文献 5 篇)。通过 Excel 2010 软件进行统计分析,计算 6 种重金属 (Cu、Pb、As、Cd、Hg 和 Cr) 在甘草中的含有量及超标率。

然后,收集《中国药典》2010 版、《全国中草药汇编》、《中药大辞典》及《中华本草》中以甘草为主要成分并且明确剂量的内服附方 30 个,根据药方及用法,推算服药过程中甘草原药材的日摄入量。因入药方法不同,甘草中重金属溶出部分也有差异,30 个内服附方分为直接入药和水煎剂两种入药方式,前者可以认为重金属溶出率为 100%,而后者根据中药重金属溶出率 (中药煎制后重金属的溶出率为 0% ~ 30%<sup>[12-13]</sup>),取最大值 30%,并折算出基于重金属含有量的有效甘草日摄入量,即含有溶出重金属的甘草日摄入量。

## 1.2 健康风险评估

### 1.2.1 重金属的暴露评估

化学物质的健康风险分为非致癌风险和致癌风险,Cu、Pb、Cd、As、Hg 和 Cr 6 种重金属经口服暴露产生非致癌风险<sup>[14]</sup>,暴露评估计算公式如 (1) 所示; As 经口服暴露还能产生致癌风险<sup>[15]</sup>,计算公式<sup>[16-17]</sup>如 (2) 所示。

$$EXPO = \frac{C \times DI \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$EXPO_{As} = \frac{C \times DI \times EF \times ED}{BW \times LT} \quad (2)$$

其中, EXPO 为重金属暴露量, EXPO<sub>As</sub> 为砷暴露量, C 为甘草中重金属含有量, DI 为基于重金属含有量的有效甘草日摄入量, EF 为暴露频率 (以甘草为主的药方治疗周期约为 3 ~ 4 周,取最大值约 30 d/年), ED 为暴露期间 (假设为 30 年), BW 为平均体质量 (假设为 60 kg), AT 为平均暴露时间 (ED × 365 d), LT 取平均寿命 70 年 (70 × 365 d)。

1.2.2 非致癌风险 非致癌风险的评价方法有两种,即危害商值 (HQ) 法以及暴露余度 (MOE) 法<sup>[18]</sup>,一般采用前者进行非致癌风险评估。当 HQ ≥ 1 时,表示风险较大;当 HQ < 1 时,表示风险较小,计算公式<sup>[17]</sup>如 (3) 所示。

$$HQ = \frac{EXPO}{RfD} \quad (3)$$

其中, RfD 代表非致癌污染物的安全剂量, USEPA (美国环保署) 规定 6 种重金属 (Cu、Pb、As、Cd、Hg 及 Cr) 的安全剂量分别为分别 40、3.6、0.3、1、0.7 及 1 500 μg/(kg · d)<sup>[19]</sup>。同时, WHO《药用植物质量控制方法》规定,来源于药用植物的重金属等有害物质有含量应不超过该物质总摄入量的 1%<sup>[20]</sup>。因此,这 6 种重金属的安全剂量分别为 0.4、0.036、0.003、0.01、0.007 及 15 μg/(kg · d)。

当有多种非致癌物质同时暴露时,不考虑物质之间的相互作用,将每种污染物产生的非致癌风险相加,得到总体的危害指数 (HI),计算公式<sup>[21]</sup>如 (4) 所示。同样,当 HI ≥ 1 时,表示非致癌风险较大;当 HI < 1 时,表示非致癌风险较小。

$$HI = \sum_i^n HQ_n \quad (4)$$

1.2.3 致癌风险 砷是致癌性物质,其致癌风险 (R) 通过式 (5) 进行计算<sup>[22]</sup>。

$$R = SF \times EXPO_{As} \quad (5)$$

其中, SF 为致癌斜率系数 [ mg/( kg · d ) ], 指个体终生暴露于单位剂量某一致癌物后发生癌症概率的 95% 上限估计值。USEPA 规定, 砷的致癌斜率系数为 1.5 mg/( kg · d )<sup>[22]</sup>。

1.2.4 不确定性分析及敏感性分析 在健康风险评估中, 不确定性分析包括对结果的不确定性进行评估, 以及分析模型中各变量对结果的贡献进行评估, 前者可通过参数不确定性分析实现 (一般采用 Monte Carlo 模拟法或模糊集理论法), 而后者可通过敏感性分析和变异性分析完成<sup>[23]</sup>。本研究通过 Monte Carlo 模拟法进行参数不确定性分析, 利用不确定性变量的概率分布量化不确定性, 此过程在 Crystal ball 软件中完成; 各变量对结果的贡献通过敏感性分析实现, 此过程也在 Crystal ball 软件中进行<sup>[24]</sup>。具体方法为首先模拟出不同暴露因子的概率分布类型, 其次通过 10 000 次迭代得到稳定的暴露分布结果, 并通过 A-D、 $\chi^2$  和 K-S 进行联合检验, 通过超标概率来表征概率评估的不确定性, 通过敏感性分析对不确定变量 C (甘草中重金属含量) 和 DI (有效甘草日摄入量) 表征对结果的贡献。

1.3 基于健康风险评估的重金属限量研究 非致癌物质 Cu、Pb、Cd、Hg 以及 Cr 的限量标准采用重金属暴露量小于 USEPA 建议的参考剂量, 计算公式如式 (6) 所示。

$$\frac{C \times DI \times EF \times ED}{BW \times AT} \leqslant RfD$$

(6)

根据 USEPA 的最高风险建议值  $1.00 \times 10^{-6}$ , 可代入式 (1)、(2), 反推得到甘草中砷的最高限量, 即其安全限量。由于  $R < R_0$  ( $R_0$  为最高允许风险建议值), 结合式 (1)、(2), 可得到甘草中砷安全限量  $C_0$  ( $\mu\text{g/g}$ ) 的计算公式, 如式 (7) 所示。

$$\frac{C \times DI \times EF \times ED}{BW \times LT} \times SF \leqslant R_0$$

(7)

1.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 2010 以及 Crystal Ball 软件进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 甘草中重金属的含有量与超标率 对甘草中 6 种重金属进行统计分析, 计算样本量、平均值及极值, 结果见表 1。2004 年商务部颁布的《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》( WM/T2 - 2004 ) 规定, Cu 不得超过 20.0 mg/kg, Pb 不得超过 5.0 mg/kg, As 不得超过 2.0 mg/kg, Cd 不得超过

0.3 mg/kg, Hg 不得超过 0.2 mg/kg<sup>[25]</sup>, 而对于 Cr 目前无明确规定, 加拿大规定其限量浓度 2.0 mg/kg<sup>[20]</sup>。由表可知, Pb 和 Cr 的超标情况较为严重, 高达 25% 以上; Cu、As、Cd 和 Hg 的超标率较低, 较为安全。

表 1 重金属限量浓度及超标率 ( mg/kg )

Tab. 1 Limited concentrations and exceeding standard rates of heavy metals ( mg/kg )

元素	样本/ 例	平均值 ( $\bar{x} \pm s$ )	最小值 ~ 最大值	限量值	超标样 本/例	超标率/ %
Cu	102	12.47 ± 15.48	1.57 ~ 117.00	20.00	6	5.88
Pb	100	2.07 ± 2.86	0.01 ~ 11.23	5.00	26	26.00
As	30	0.39 ± 0.55	0.03 ~ 2.16	2.00	2	6.67
Cd	90	0.21 ± 0.87	0.00 ~ 6.76	0.30	3	3.33
Hg	32	0.11 ± 0.13	0.00 ~ 0.61	0.20	4	12.50
Cr	60	4.25 ± 5.25	0.11 ~ 26.31	2.00	21	35.00

高晓雪<sup>[9]</sup>研究了 7 个不同产地甘草的重金属超标状况, 发现宁夏、新疆和青海产者未超标, 而内蒙古、甘肃、河北和吉林产者超标, 其中 As、Hg 和 Pb 为主要超标元素。王坤等<sup>[10]</sup>报道, 宁夏不同产地甘草重金属均未超标, 但丁锐等<sup>[11]</sup>测得该地甘草也出现了重金属元素超标现象。将文献中来自宁夏产甘草中的重金属进行统计分析, 得到其含有量的平均值为分别为 Cu 10.93 mg/kg、Pb 2.05 mg/kg、As 0.35 mg/kg、Cd 0.17 mg/kg、Hg 0.06 mg/kg 以及 Cr 3.75 mg/kg, 除了 Pb 与总体平均值 (2.07 mg/kg) 接近外, 其他较低, 表明来自道地产区宁夏省的甘草具有更高的重金属安全性。但是, 即便是来自道地产区, 也并不能完全保证重金属含量不超标, 因此有必要加大推行 GAP 种植基地的建设。

2.2 重金属的健康风险评估

2.2.1 非致癌风险 根据式 (1)、(3) 和 (4), 计算出 6 种重金属的暴露值、危害商数以及危害指数, 结果见表 2。由表可知, 危害商数除了 As 外, 其他重金属均小于 1, 表明 As 会引起较高的非致癌风险; 6 种重金属的危害指数均大于 1, 表明均会引起较高的非致癌风险。

表 2 重金属暴露量及非致癌风险

Tab. 2 Exposure levels and noncarcinogenic risks of heavy metals

指标	Cu	Pb	As	Cd	Hg	Cr
重金属暴露量/ [ $\mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ]	0.230	0.034	0.006	0.004	0.002	0.069
安全剂量/ [ $\mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ]	0.400	0.038	0.003	0.010	0.007	15.000
危害商数	0.519	0.945	2.131	0.346	0.258	0.005
危害指数	4.203					

As 元素虽然超标率比较低 (6.67%)，但其危害商数最高 (2.131)，对人体产生的非致癌风险最大，故其浓度即使未超标也应该得到重视。相反，Cr 元素虽然超标情况较为严重 (35.00%)，但是其产生的非致癌风险最低 (0.005)，其原因是该元素的安全剂量较高 [ $15\text{ }\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ]。正常情况下，人体中暴露的 Cr 均为 Cr (Ⅲ)，即使有少量 Cr (Ⅳ)，在胃部时酸性环境中也会被还原为 Cr (Ⅲ)<sup>[26]</sup>，其对人体的危害较小。

此外，Hallenbeck<sup>[27]</sup>研究表明，两种或多种金属同时暴露时，重金属之间会产生相互作用，而并非简单的加和关系。Cao 等<sup>[28]</sup>也报道，重金属所产生的非致癌风险存在协同、拮抗等相互作用。因此，有必要对其作进一步考察。

2.2.2 致癌风险 根据式 (2) 和 (5)，测得 As 的致癌风险为  $4.11\times10^{-6}$ ，该风险值小于 WHO 的建议值 ( $1\times10^{-5}$ )，但大于 USEPA 规定 ( $1\times10^{-6}$ )，表明服用甘草时砷暴露对人体具有一定的致癌风险<sup>[29]</sup>。

2.2.3 不确定性分析及敏感性分析 通过 Monte Carlo 模拟，得到在甘草中 6 种重金属的质量浓度分布均符合 Lognormal 分布 (图 1A，以金属 Pb 为例)，而且甘草日摄入量也符合这一分布。根据式 (1)，进一步模拟出重金属的暴露分布图 (图 1B，以金属 Pb 为例)，并且以其安全剂量为标准，得到人群对 6 种金属暴露的超标概率分别为 Cu 36.09%、Pb 15.85%、As 98.97%、Cd 15.85%、Hg 86.84% 和 Cr 0.00%。

通过模拟结果进行敏感性分析，得到甘草中重金属的浓度和甘草日摄入量对非致癌风险和致癌风险的贡献，见表 3，而图 1D 及图 2 更直观地表示了敏感性分析分析结果。结果显示，甘草中的金属的质量浓度对非致癌风险起着主要贡献作用，而甘草日摄入量对总非致癌风险的影响最大。另外，在致癌风险中，As 质量浓度的作用最为重要。

2.2.4 基于健康风险评估的重金属限量结果 根据式 (6)，计算出 6 种重金属的安全限量值分别为 Cu 24.60 mg/kg、Pb 2.31 mg/kg、As 0.185 mg/kg、Cd 0.615 mg/kg、Hg 0.43 mg/kg、Cr 922.51 mg/kg。除了 Pb 和 As 元素低于现行标准之外，其他均有所超出。根据公式 (7)，计算出 As 安全限量值为 0.096 mg/kg，比现行标准更为严格，在实际培育与检测中也难以达到 (本实验 30 个样本仅有 5 个达标)，但为了保障人体安全，应尽量向这一低限

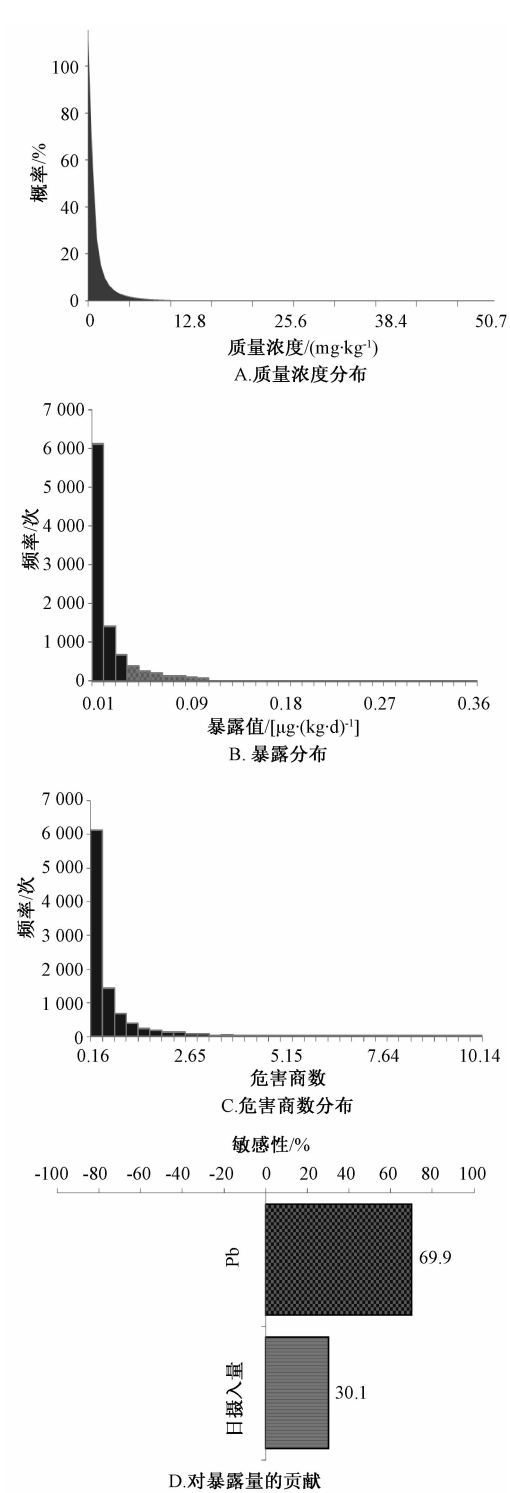


图 1 不确定性分析结果 (Pb)  
Fig.1 Results of uncertainty analysis (Pb)

量接近。

### 3 结论

甘草中重金属的超标率依次为  $\text{Cr} > \text{Pb} > \text{Hg} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Cd}$ ，其中来自道地产区宁夏的重金属含有量最低，具有较高的重金属安全性。

表3 重金属质量浓度和日摄入量的贡献 (%)

Tab.3 Contributions of concentrations of heavy metals and daily intake of *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* (%)

指标	Cu	Pb	As	Cd	Hg	Cr	日摄入量
危害商数(Cu)	81.1	-	-	-	-	-	18.8
危害商数(Pb)	-	69.9	-	-	-	-	30.1
危害商数(As)	-	-	53.6	-	-	-	46.3
危害商数(Cd)	-	-	-	84.3	-	-	15.7
危害商数(Hg)	-	-	-	-	67.6	-	32.4
危害商数(Cr)	-	-	-	-	-	72.0	27.9
危害指数	0.5	4.4	20.6	0.8	0.4	0	73.3
致癌风险	-	-	53.7	-	-	-	46.3

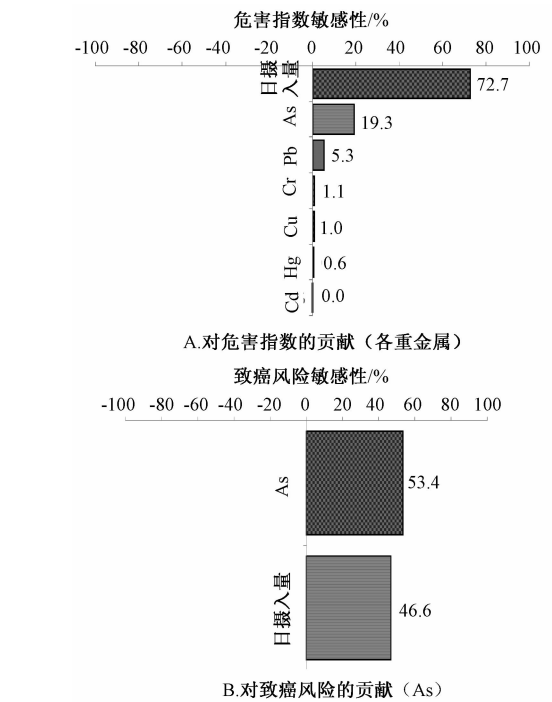


图2 敏感性分析结果

Fig.2 Results of sensitivity analysis

甘草中重金属引起非致癌风险的顺序依次为As > Pb > Cu > Cd > Hg > Cr, 6种重金属引起的总非致癌风险很高,故通过降低甘草摄入量可以显著降低这一风险。由于As引起的致癌风险值略大于USEPA建议值,故通过控制其质量浓度可更为显著地降低致癌风险。

结果显示,重金属Pb和As的限量浓度低于现行标准,故为了进一步提高重金属的安全性,需要对两者标准降低。

参考文献:

[1] 齐拓野,米文宝.宁夏能源矿产资源的开发与利用[J].宁夏工程技术,2006,5(2):201-205.

[2] 王淑玲.我国西北五省区矿产资源现状及其开发利用对策建议[J].中国矿业,2000,9(2):1-3.

[3] 薛长雷.镉、铜在小白菜内的积累规律及其食用危害性分析[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.

[4] Srianujata S. Lead-the toxic metal to stay with human[J]. J Toxicol Sci, 1998, 23(Suppl2): 237-240.

[5] Hughes M F. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action[J]. Toxicol Lett, 2002, 133(1): 1-16.

[6] Nordberg G F. Cadmium and health in the 21st century-historical remarks and trends for the future[J]. Biometals, 2004, 17(5): 485-489.

[7] Björnberg K A, Vahter M, Petersson-Grawe K, et al. Methylmercury and inorganic mercury in Swedish pregnant women and in cord blood; influence of fish consumption[J]. Environ Health Perspect, 2003, 111(4): 637-641.

[8] Stout M D, Herbert R A, Kissling G E, et al. Hexavalent chromium is carcinogenic to F344/N rats and B6C3F1 mice after chronic oral exposure[J]. Environ Health Perspect, 2009, 117(5): 716-722.

[9] 高晓雪. ICP-MS法测定中国7个主产地的甘草中重金属的含量[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(29): 11636-11637.

[10] 王坤,马玲,詹晓平,等.宁夏不同产地野生与栽培甘草重金属、有害元素与农药残留的比较分析[J]. 药物分析杂志, 2006, 26(10): 1483-1485.

[11] 丁锐,王瑾,王英华,等.不同产地甘草中微量元素含量的研究[J]. 药物分析杂志, 2010, 30(6): 1012-1015.

[12] 罗艳,黄文琦,龙智翔,等. ICP-MS测定中药煎制前后8种重金属元素的含量及溶出率[J]. 光谱实验室, 2012, 29(2): 925-928.

[13] 罗艳,黄文琦,蒋天成,等. 中药煎制前后重金属含量测定及溶出特性研究[J]. 化学分析计量, 2011, 20(4): 48-50.

[14] United States Environmental Protection Agency. Risk-based concentration table[R]. 2000.

[15] United States Environmental Protection Agency. Arsenic in drinking water rule economic analysis[R]. 2000.

[16] United States Environmental Protection Agency. Guidelines for exposure assessment[R]. 1992.

[17] United States Environmental Protection Agency, Risk assessment guidance for superfund[R]. 1989.

[18] 胡建英,安伟,曹红斌,等. 化学物质的风险评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[19] World Health Organization. Quality control methods for medicinal plant materials[R]. 1998.

[20] World Health Organization. Quality control methods for medicinal plant materials-Revised draft update[R]. 2005.

[21] United States Environmental Protection Agency. Guidance for performing aggregate exposure and risk assessments[R]. 1999.

[22] United States Environmental Protection Agency. Guidelines for carcinogen risk assessment[R]. 1999.

[23] 于云江,向明灯,孙朋. 健康风险评价中的不确定性[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(9): 835-838.

[24] Zhu M L, Jiang Y, Cui B, *et al.* Cadmium accumulation in *Panax notoginseng*: levels, affecting factors and the non-carcinogenic health risk[J]. *Environ Geochem Hlth*, 2016, 38(2): 423-435

[25] WM/T2-2004, 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准[S].

[26] De F S, Camoirano A, Bagnasco M, *et al.* Estimates of the chromium (VI) reducing capacity in human body compartments as a mechanism for attenuating its potential toxicity and carcinogenicity[J]. *Carcinogenesis*, 1997, 18(3): 531-537.

[27] Hallenbeck W H. Quantitative risk assessment for environmental and occupational health[M]. Chelsea: Levis, 1993.

[28] Cao H, Zhu H, Jia Y, *et al.* Heavy metals in food crops and the associated potential for combined health risk due to interactions between metals[J]. *Hum Ecol Risk Assess*, 2009, 17(3): 700-711.

[29] Zhu M, Jiang Y, Cui B, *et al.* Determination of the heavy metal levels in *Panax notoginseng* and the implications for human health risk assessment[J]. *Hum Ecol Risk Assess*, 2014, 21(5): 1218-1229.

## DNA 提取 4 种中药材方法的筛选

马敏敏<sup>1,2</sup>, 何芳<sup>3#</sup>, 杨志刚<sup>4</sup>, 蒋丹<sup>5</sup>, 仵缘<sup>1,2</sup>, 黄耀江<sup>1,2\*</sup>  
(1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 北京市食品环境与健康工程技术研究中心, 北京 100081; 3. 内蒙古兴安盟医学会, 内蒙古 乌兰浩特 137400; 4. 内蒙古包钢稀土[集团]高科技股份有限公司, 内蒙古 包头 014000; 5. 辽宁出入境检验检疫局, 辽宁 大连 116001)

**摘要:**目的 筛选龙胆 *Gentiana scabra* Bunge、锁阳 *Cynomorium songaricum* Rupr、天花粉 *Trichosanthes kirilowii* Maxim.、菟丝子 *Cuscuta chinensis* Lam. 的 DNA 提取方法。**方法** 通过试剂盒法、SDS 法、高盐低 pH 法、CTAB 法以及改良 PVP 法, 对 4 种中药材 DNA 进行提取。紫外分光光度、琼脂糖凝胶电泳和 PCR 扩增进行检测, SPSS20.0 软件进行统计学分析。**结果** 改良 PVP 法所得 4 种中药材 DNA 的得率均较高。SDS 法和改良 PVP 法提取的 DNA 条带较清晰, 高盐低 pH 法提取者呈弥散状态, 试剂盒法和 CTAB 法提取者几乎看不到条带。试剂盒法和改良 PVP 法提取的 DNA 可完全扩增 ITS2 和 psbA-trnH 序列, 而其他 3 种方法未能完全扩增。**结论** 改良 PVP 法高效简单, 最适合提取这 4 种中药材 DNA。

**关键词:** 龙胆; 锁阳; 天花粉; 菟丝子; DNA 提取

**中图分类号:** R284.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-1528(2016)08-1776-06  
**doi:**10.3969/j.issn.1001-1528.2016.08.024

## Screening of DNA extraction methods of four Chinese medicinal materials

MA Min-min<sup>1,2</sup>, HE Fang<sup>3#</sup>, YANG Zhi-gang<sup>4</sup>, JIANG Dan<sup>5</sup>, WU Yuan<sup>1,2</sup>, HUANG Yao-jiang<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Life and Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. Beijing Municipal Engineering Research Center of Food Environment and Public Health, Beijing 100081, China; 3. Medical Association of Hinggan League in Inner Mongolia, Ulanhot 137400, China; 4. Inner Mongolia Baogang Rare Earth [Group] Hi-tech Co., Ltd., Baotou 014000, China; 5. Liaoning Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Dalian 116001, China)

**收稿日期:** 2016-06-25  
**基金项目:** 教育部新世纪优秀人才项目 (NCET-11-0842); 中央民族大学学术团队建设项目 (2015MDTD25C, 2015MDTD13C); 筹推进一流大学和一流学科建设经费 (10301-0150200604)  
**作者简介:** 马敏敏 (1992—), 女 (回族), 硕士生, 研究方向为生物化学与分子生物学。Tel: 18811303965, E-mail: mm9217@163.com  
**#共同第一作者:** 何芳 (1971—), 女, 副主任医师, 研究方向为环境健康。Tel: 15904820566, E-mail: 529168889@qq.com  
**\*通信作者:** 黄耀江 (1972—), 男, 博士, 教授, 研究方向为生物化学与分子生物学、食品安全与环境健康。E-mail: yaojiangh@hotmail.com