

四川省江油市河西乡附子道地产地土壤重金属分布特征及环境质量评价

杨大强, 梁斌, 余光模, 唐桢俊, 任志栋, 胡立

(西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳 621010)

摘要:对江油市河西乡附子道地产地表层土壤以及3个垂向剖面土壤样品中重金属元素含量进行了分析. 结果表明, 表层土壤中Hg、Cd、Zn、Cu等重金属元素含量较高, 相对于中国土壤(A层)背景值显著富集, 其中Hg、Cd的含量最高; Hg、Cd、Zn、Cu、Pb主要富集在垂直剖面0~30 cm, 其中Hg、Cd的含量大大高出深层含量, 表明该区土壤受人类活动影响较大. 单项污染指数和尼梅罗综合污染指数对土壤环境质量的评价表明, 按国家土壤环境质量评价标准中的一级标准, 附子道地产地土壤环境总体上受到重金属的轻度污染, 仅部分地区受到重金属的中度或重度污染.

关键词:附子; 重金属; 土壤环境质量; 四川江油市

中图分类号: X82

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2009)04-0012-04

Distribution Features of Soil Heavy Metal Elements and Assessment of Soil Environmental Quality in Tradition Area of Chinese Medicinal *Aconitum carmichae* in Hexi Area, Jiangyou City

YANG Da-qiang, LIANG Bin, YU Guang-mo, TANG Zhen-jun, REN Zhi-dong, HU Li

(School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Based on analysis of soil heavy metal element contents in the topsoil and three soil vertical profiles sample in tradition area of Chinese rare medicinal Fuzi, *Aconitum carmichae* Debx., in Hexi Area of Jiangyou City, The contents of Cd, Hg, Zn, Cu were higher compared with the background of Chinese soil (A horizon), and in significant enrichment, among which Cd and Zn contents were the highest in the topsoil. The elements of Hg, Cd, Zn, Cu, Pb mainly enriched in the depth of 0-30 cm, which were influenced by human activities in the soil vertical profiles. The contents of Hg, Cd elements in topsoil were higher than that of the deep layer. According to the Nation Environmental Quality Standard for soil, the single and synthesis pollution index on soil environmental quality assessment showed that the soil environment of tradition area of Fuzi was light pollution by heavy metals, except some sites of moderate or severe pollution.

Key words: *Aconitum carmichae*; heavy metals; soil environmental quality; Jiangyou City in Sichuan

我国中草药资源极其丰富, 在中药开发和中药制品走向世界等方面具有很好前景. 但由于农业污水灌溉、施用污泥和化肥、采矿以及工业“三废”排放等影响, 使得一些地方的耕地土壤重金属污染日益严重, 从而导致部分中药材产品中重金属含量超标.

中药材中重金属含量水平受到土壤、药用植物自身特性、工业“三废”的污染、农药、肥料和中药加工、炮制过程等诸多因素的影响^[1-2]. 江油市河西乡是名贵中药材——附子 *Aconitum carmichae* 道地产地, 江油附子是国家唯一列入“973”计划的道地中药, 又是中

收稿日期: 2008-12-30

作者简介: 杨大强(1983—), 男, 硕士研究生, E-mail: daaqiang11@yahoo.com.cn

基金项目: 四川省教育厅重点项目(2005A135); 中国地质调查局项目(1212010511202); 西南科技大学引进人才项目(Zk043135)

药科技现代化产业示范基地种植品种之一,常年种植面积在 334 ~ 667 hm². 对江油市河西乡附子道地产地药材中重金属含量水平及其安全性已进行了一些研究^[3-4],而从土壤环境质量角度对重金属元素的研究鲜见报道. 附子道地产地土壤多呈弱酸性, pH 5.5 ~ 6.4,若土壤酸化加剧,将有利于土壤重金属元素的活化迁移,从而增加土壤重金属污染的生态风险性^[5-7]. 对江油市河西乡附子道地产地表层土壤中重金属含量分布特征和环境质量评价的研究,将有助于该区附子的生产以及土地的合理利用,对中药材生产质量管理规范(GAP)生产基地的建设和管理具有重要的意义.

1 研究区地质背景

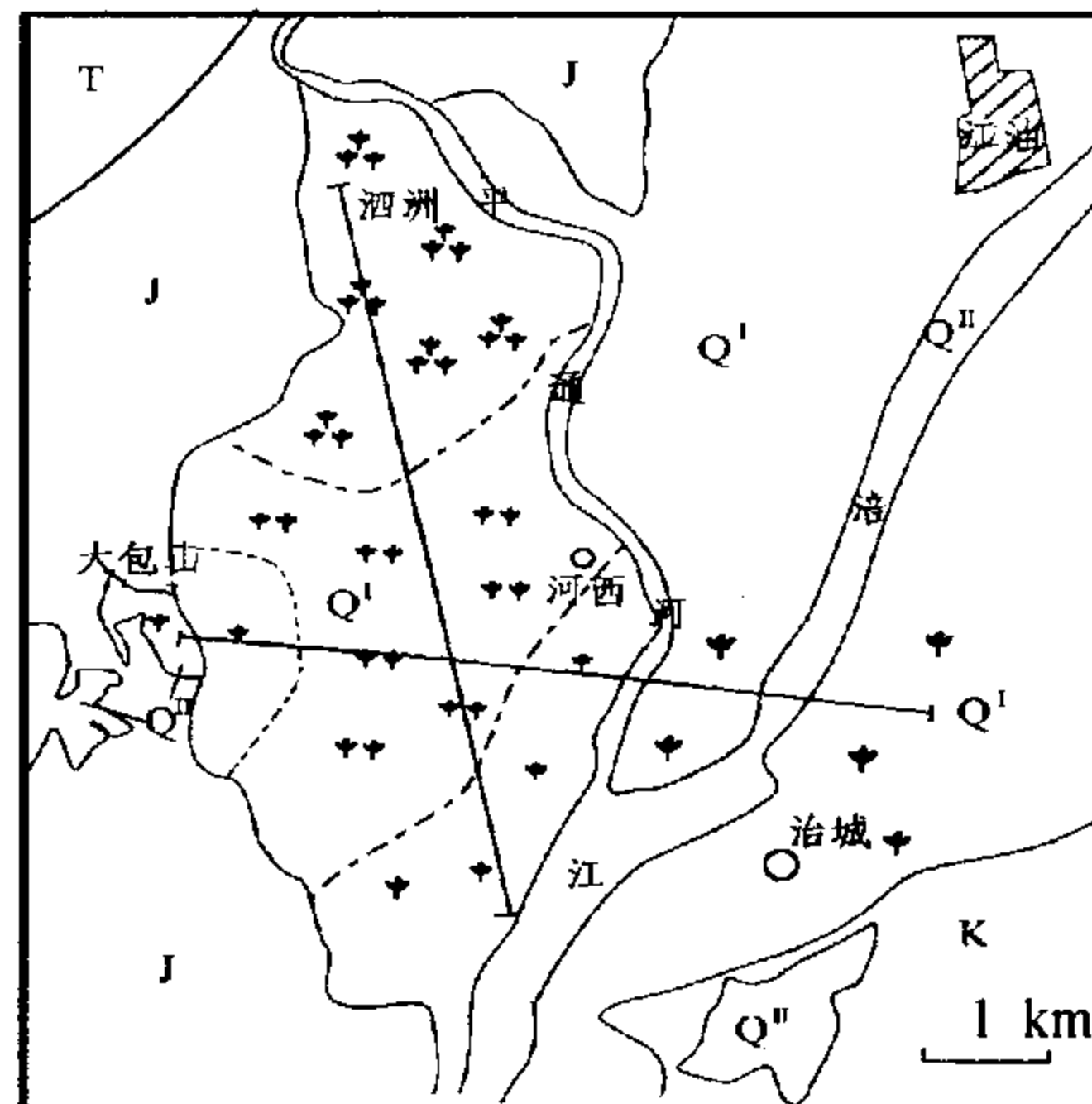
江油市河西乡位于四川涪江冲积平原——江(油)彰(明)平原区西南部,江油市区以南约 3 km,面积约 20 km². 江彰平原区由第四系河流冲积物组成,四周为侏罗系—白垩系红层丘陵围绕. 其成土母质主要是晚更新世河流冲积层,在地貌上形成宽阔平坦的一级阶地,土壤类型为灰棕水稻土属,进一步可分为沙壤田、沙泥田,总体上是中—酸性土.

2 样品采集与评价方法

在江油市河西乡附子道地产地布置了 2 条土壤地球化学剖面(图 1),表层土壤样品每隔 200 ~ 250 m 选取代表性土壤取样. 采样时首先除去了表面杂物,均匀采集 0 ~ 30 cm 土柱,每个样品由附近 5 个采样点组合而成,原始质量 1.5 kg. 根据附子的种植情况及品质情况,在南北向土壤地球化学剖面上布置了 3 个垂向土壤剖面,深度 1 m 左右. 样品晾晒干后,过 40 目尼龙筛,残余物小于 2 g. 过筛后的样品经缩分后用塑料瓶盛装. 在 2 条土壤剖面上共采集 29 件表层土样,在 3 个垂向土壤剖面上共采集 10 件土壤样品. 按照中国地质调查局的《区域地球化学勘查样品分析方法》的要求,Cr、Cu、Pb、Ni、Zn 等元素采用 X—射线荧光光谱法测定,Cd 用等离子体质谱法测定,As、Hg 等元素采用原子荧光法测定. 土壤样品由国土资源部成都岩矿测试中心进行分析测试.

土壤重金属环境质量评价采用单项污染指数及兼顾单元素污染指数平均值和最大值的尼梅罗综合污染指数法. 土壤重金属污染分级采用绿色食品产地环境质量评价纲要(试行)(中国绿色食品发展中心,1994)的分级标准(表 1).

单项污染指数(P_i)法可以对每项污染物的污染状况进行评价,其计算公式为: $P_i = C_i/S_i$,式中 C_i 为污染物实测值, S_i 为污染物评价标准.



Q': 全新统 I 级阶地; Q'': 上更新统 II 级阶地; K: 白垩系;
J: 侏罗系; T: 三叠系; --- 付子品质分界线; / 剖面位置;
☆ 品质最好、种植面积大; ++ 品质较好、种植面积较大;
+ 品质较差、种植面积较小

图 1 江油市附子道地产地的地质及表层土壤剖面位置图
Fig. 1 The geological map and location of top soils profile in tradition area of Chinese medicinal Fuzi, *Aconitum carmichaelae*, in Hexi area, Jiangyou city

表 1 土壤分级标准

Tab. 1 The grading standard of soil environmental quality

| 等级划分 | $P_{\text{综}}$ | 污染等级 | 污染水平 |
|------|-----------------------------|------|----------------|
| 1 | $P_{\text{综}} \leq 0.7$ | 安全 | 清洁 |
| 2 | $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1$ | 警戒级 | 尚清洁 |
| 3 | $1 < P_{\text{综}} \leq 2$ | 轻污染 | 土壤轻污染,作物开始受到污染 |
| 4 | $2 < P_{\text{综}} \leq 3$ | 中污染 | 土壤、作物均受到污染 |
| 5 | $P_{\text{综}} > 3$ | 重污染 | 土壤、作物均受污染已相当严重 |

尼梅罗综合污染指数($P_{\text{综}}$)法在单项污染指数法的基础上,兼顾了单元素污染指数最大值和平均值. 其计算公式为: $P_{\text{综}} = [(P_{\text{imax}}^2 + P_{\text{iave}}^2)/2]^{1/2}$,式中, P_{imax} 为样品 i 单项污染指数的最大值; P_{iave} 为样品 i 单项污染指数的平均值.

3 结果与分析

3.1 表层土壤重金属含量特征

29 个表层土壤样品分析结果(表 2)显示,As、Hg 在不同样品中含量变化最大,Cd、Zn 含量变化中等,其余元素含量变化较小.

附子产地表层土壤重金属元素与全国土壤(A 层)背景值相比较,Hg、Cd、Zn、Cu 等元素显著富集($K_1 \geq 1.5$),其 K_1 值 $Hg > Cd > Zn > Cu$;与全国水稻土(A 层)背景值相比,Cd、Cu、Zn 等元素显著富集($K_2 \geq 1.5$),其 K_2 值 $Cd > Cu > Zn$;与该区土壤背景值相比,只有 Hg、Cd 等元素显著富集($K_3 \geq 1.5$),其 K_3 值 $Hg > Cd$. 该区 As 与上述 3 个背景值相比,均表现为贫化($K \leq 0.57$)(表 2). 上述土壤重金属的含量特征表明,外源因素对研究区的表层土中 Hg、Cd、Zn、Cu 等重金属元素的聚积起到了决定性的作用.

表2 表层土壤重金属含量统计结果¹⁾

Tab.2 Statistical results of heavy metals contents in the topsoil

n = 29

| 重金属 | w/(mg·kg ⁻¹) | | | 标准差 | 变异系数/% | w/(mg·kg ⁻¹) | | | K ₁ | K ₂ | K ₃ |
|-----|--------------------------|-------|--------|-------|--------|--------------------------|--------------|---------|----------------|----------------|----------------|
| | 最大值 | 最小值 | 平均值 | | | 全国土壤 A 层背景值 | 全国水稻土 A 层背景值 | 当地土壤背景值 | | | |
| As | 14.2 | 1.55 | 4.34 | 2.52 | 58.16 | 11.2 | 10 | 7.67 | 0.39 | 0.43 | 0.57 |
| Hg | 0.42 | 0.064 | 0.21 | 0.09 | 43.73 | 0.065 | 0.183 | 0.06 | 3.25 | 1.15 | 3.52 |
| Cd | 0.66 | 0.17 | 0.31 | 0.11 | 36.43 | 0.097 | 0.142 | 0.13 | 3.15 | 2.15 | 2.35 |
| Ni | 44.7 | 26.2 | 40.13 | 3.51 | 8.74 | 26.9 | 27.6 | 47.50 | 1.49 | 1.45 | 0.84 |
| Zn | 390.0 | 73.9 | 129.93 | 51.18 | 39.39 | 74.2 | 85.4 | 113.60 | 1.75 | 1.52 | 1.14 |
| Cr | 177.0 | 76.5 | 89.59 | 17.81 | 19.88 | 61 | 65.8 | 83.90 | 1.47 | 1.36 | 1.07 |
| Cu | 54.0 | 28.8 | 38.80 | 4.51 | 11.63 | 22.6 | 25.3 | 35.90 | 1.72 | 1.53 | 1.08 |
| Pb | 66.4 | 30.1 | 38.27 | 6.39 | 16.69 | 26 | 34.4 | 30.50 | 1.47 | 1.11 | 1.25 |

1) 全国土壤 A 层背景值、水稻土 A 层背景值引自中国环境监测总站“中国土壤元素背景值”^[8]; 当地土壤背景值为该区深层样品元素的平均值, 即样品深度 100 cm 左右的土壤重金属元素的平均值; K₁ = 平均值/全国土壤 A 层背景值, K₂ = 平均值/全国水稻土 A 层背景值, K₃ = 平均值/当地土壤背景值

表层土壤中重金属元素之间的相关分析结果(表3)表明, As 与 Cd 具有极显著的正相关, 与 Ni 具极显著的负相关性; Hg 与 Zn、Cr 具显著的正相关性, 与 Pb 具有极显著的正相关性; Cd 与 Pb 具有显著正相关; Ni 与 Cu 具有极显著的正相关性; Zn 与 Cr、Pb 具有极显著的正相关性; Cr 与 Pb 具有极显著的正相关性。

表3 表层土壤重金属含量的相关系数¹⁾

Tab.3 Correlation among the contents of different heavy metals in the topsoil n = 29

| 重金属 | As | Hg | Cd | Ni | Zn | Cr | Cu | Pb |
|-----|----|--------|---------|----------|--------|---------|---------|---------|
| As | 1 | -0.201 | 0.505** | -0.494** | 0.142 | 0.217 | -0.221 | 0.192 |
| Hg | | 1 | 0.101 | -0.204 | 0.438* | 0.398* | -0.033 | 0.500** |
| Cd | | | 1 | -0.249 | 0.329 | 0.219 | 0.129 | 0.389* |
| Ni | | | | 1 | 0.049 | -0.145 | 0.569** | 0.049 |
| Zn | | | | | 1 | 0.909** | 0.134 | 0.900** |
| Cr | | | | | | 1 | -0.002 | 0.840** |
| Cu | | | | | | | 1 | 0.341 |
| Pb | | | | | | | | 1 |

1) * 表示 P < 0.05, ** 表示 P < 0.01

3.2 土壤垂向剖面上重金属的分布特征

根据附子的品质和种植情况, 在泗洲、竹林寺、斑竹园布置了 3 个垂向土壤剖面, 土壤重金属含量随剖面深度变化特征如图 2。从图 2 可见, 所有元素在不同剖面上的含量虽然不尽相同, 但总体上具有基本一致的变化趋势。在这些重金属元素中, Hg、Cd、Zn、Cu、Pb 等元素主要富集在 0~30 cm 的耕作层之中, 特别是 Hg、Cd 的含量大大高于深层土壤。但 As 元素含量在 0~30 cm 的耕作层中的含量显著低于深层土壤, Ni、Cr 等元素的含量略低于深层土壤。

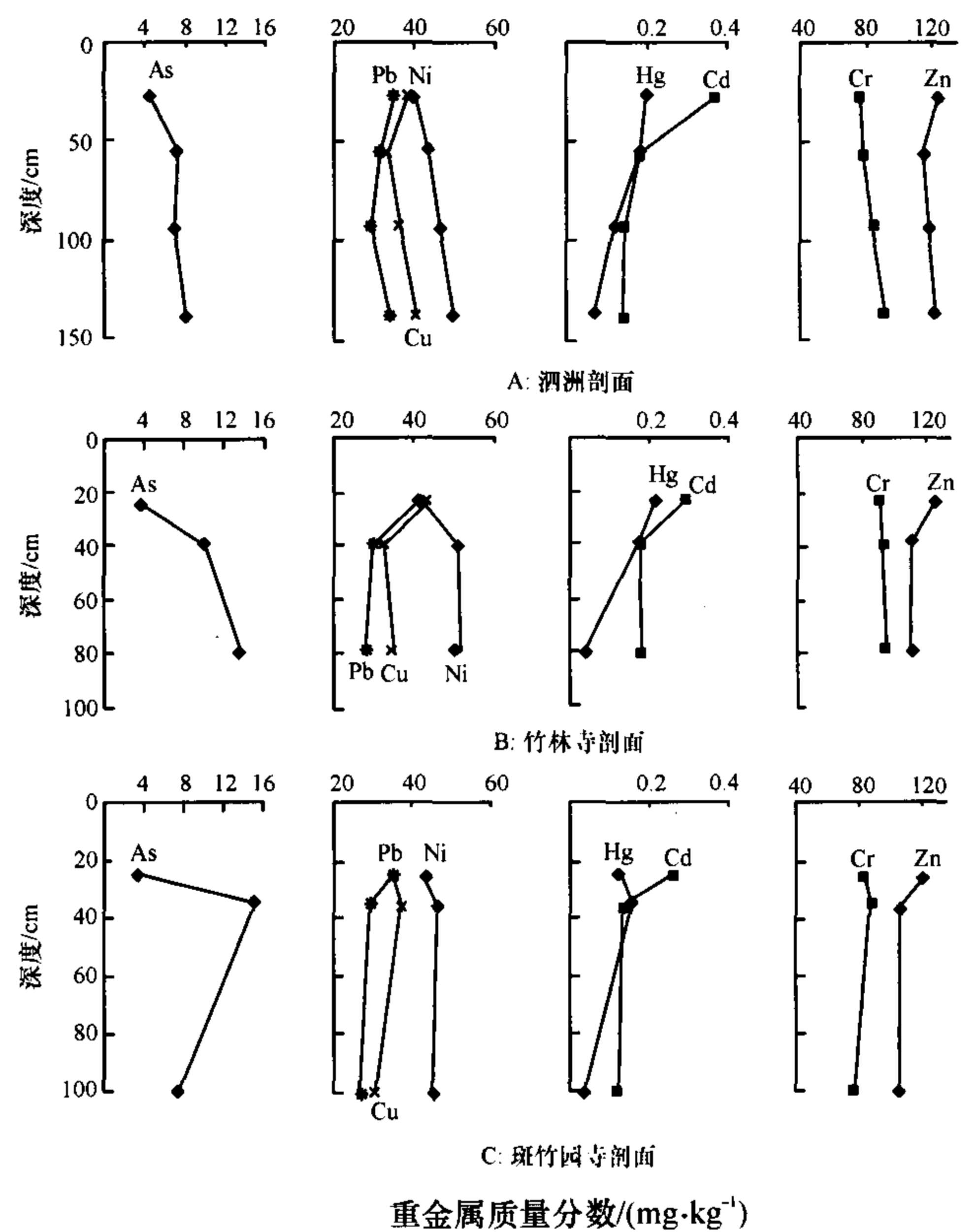


图2 重金属含量垂向分布特征

Fig. 2 The distribution feature of heavy metals content in the soil vertical profile

3.3 土壤环境质量评价

表4的结果表明, As 元素的 P_i 均小于 1, 表明该区土壤未被 As 污染; 大部分样品中的 Hg、Cd、Zn、Cu、Pb 等重金属的 P_i > 1, 其污染样品分别占 72%、93%、97%、86% 和 76%, 表明该区土壤受到上述重金属元素不同程度的污染, 而且 Hg、Cd 等重金属元素的 P_i 总体上相对较大, 部分样品 P_i > 2, 表明这些元素在该区土壤中的污染程度较重。只有少部分样

品中 Cr 的 $P_i > 1$, 污染样品占 28%, 表明该区土壤受到 Cr 的污染较轻; 土壤中 Ni 的 P_i 大致为 1, 表明该区土壤基本上没有受到 Ni 的污染. 土壤 $P_{\text{综}}$ 为 1.04 ~ 3.08, 均值为 1.50, 其中 $1 < P_{\text{综}} \leq 2$ 的样品占 86%, $2 < P_{\text{综}} \leq 3$ 的样品占 11%, $P_{\text{综}} > 3$ 的样品占 3%. 表明该区土壤已开始受到重金属污染, 总体上为轻度污染.

表4 土壤重金属污染评价统计结果¹⁾

Tab. 4 The statistical results of heavy metals pollution assessment $n = 29$

| 重 金属 | P_i | | 重 金属 | P_i | |
|---------|-------------|------------------|---------|-------------|------------------|
| | 范围 | $\bar{x} \pm SE$ | | 范围 | $\bar{x} \pm SE$ |
| As | 0.10 ~ 0.95 | 0.29 ± 0.17 | Zn | 0.74 ~ 3.90 | 1.30 ± 0.51 |
| Hg | 0.43 ~ 2.80 | 1.41 ± 0.62 | Cr | 0.85 ~ 1.97 | 0.99 ± 0.20 |
| Cd | 0.85 ~ 3.30 | 1.53 ± 0.56 | Cu | 0.82 ~ 1.54 | 1.11 ± 0.13 |
| Ni | 0.65 ~ 1.12 | 1.00 ± 0.09 | Pb | 0.86 ~ 1.90 | 1.09 ± 0.18 |

1) 以《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)中各元素的一级土壤含量上限为重金属元素的评价值

4 讨论与结论

江油市河西乡附子道地产地表层土壤重金属, 除 As 含量明显低于中国土壤(A层)元素背景值和中国土壤(A层)水稻土元素背景值外, 其余重金属元素的含量均高于上述土壤背景值. 这表明该区土壤中重金属含量相对较高, 特别是其中 Cd 的富集系数最高, 是造成研究区土壤重金属污染的主要因素, 因此 Cd 元素的污染程度不容忽视.

一些学者对重金属在土壤中的剖面分布进行了研究, 结果表明重金属元素主要积累在土壤耕作层^[9-11]. 位于平原地区的冲积物形成的土壤, 其成熟度较高, 土壤分层性较好, 地表有机质与重金属含量相对丰富, 至地表下 60 ~ 100 cm 处, 重金属元素含量急剧降至土壤背景值. 周国华等^[12]的研究表明, 在土壤粘性成分和有机质含量较高的土壤中, 重金属元素被吸附在地表土壤中. 张民等^[13]对我国菜地土壤中某些重金属元素分布的研究表明, 重金属元素(Cu、Pb、Zn、Cd、Hg等)在土壤剖面中的分布以表层含量最高, 尤以 0 ~ 10 cm 的表层为最高, 向下递减.

江油市河西乡附子道地产地 Hg、Cd、Zn、Cu、Pb 等元素主要富集在 0 ~ 30 cm 的耕作层之中, 受人类活动的影响较大. 对当地农业生产中的施肥情况的调查表明, 附子及其他农作物生产过程中均要大量使用有机肥以及化肥, 土壤中的 Zn、Cu 等重金属元素的富集可能与施用 Cu 和 Zn 等重金属含量很高的有机肥有关. 欧洲的报道指出, 有机肥、化肥和农药

的大量使用, 是土壤中的 Cu 和 Zn 污染的主要途径^[14]. 该处 As 表层土壤低于背景值, 可能是由于 AS 及其化合物在湿润条件下易转化为可溶形态, 易于流失所造成的. 另外, 江油市城区及其周围地区, 分布有大型钢铁厂和热电站, 其生产过程中产生的烟尘以及粉煤灰也可能是土壤表层重金属升高的一个因素.

根据江油市河西乡土壤尼梅罗综合污染指数, 与土壤分级标准(中国绿色食品发展中心, 1994)相比较, 该区土壤总体受到重金属的轻度污染, 仅部分地区受到中度或重度污染. 同时, 该区土壤的环境质量总体上达到了《中药材生产质量管理规范(试行)》(GAP)认证检查评定标准所规定的土壤环境质量标准, 但对今后生产、种植过程必须加强治理和防范.

参考文献:

- [1] 宗良纲, 李嫦玲, 郭巧生. 中药材中重金属污染及其研究综述[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 495-497.
- [2] 付福友, 李敏, 白志川. 中药材重金属污染的原因和治理方法初探[J]. 世界科学技术: 中医药现代化, 2003, 5(4): 69-72.
- [3] 顾永祚, 顾兴平, 卢竞. 中药川附子中 25 种化学元素的分析研究[J]. 四川环境, 2004, 23(4): 7-11.
- [4] 顾兴平, 顾永祚, 胡明芬, 等. 中药川附子微量重金属元素的分析研究[J]. 四川环境, 2002, 21(3): 4-7.
- [5] 成杰民, 潘根兴, 仓龙, 等. 模拟酸雨对太湖地区土壤-植物系统中铜的化学行为的影响[J]. 环境科学学报, 2001, 21(4): 459-464.
- [6] 周国远. 酸雨对重庆几种土壤中元素释放的影响[J]. 环境科学学报, 1996, 16(3): 251-257.
- [7] 汪雅各, 盛沛麟, 袁大伟, 等. 模拟酸雨对土壤金属离子的淋溶和植物可利用性研究[J]. 环境科学, 1988, 9(2): 22-26.
- [8] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 5-187.
- [9] 冯恭衍, 张炬, 吴建平. 宝山区菜区土壤重金属污染的环境质量评价[J]. 上海农学院学报, 1993, 11(1): 35-42.
- [10] 丁中元. 重金属在土壤-作物中分布规律研究[J]. 环境科学, 1996, 33(1): 78-84.
- [11] 夏增禄, 李森照, 穆从如. 北京地区重金属在土壤中的纵向分布和迁移[J]. 环境科学学报, 1985, 5(1): 105-112.
- [12] 周国华, 马生明, 喻劲松, 等. 土壤剖面元素分布及其地质、环境意义[J]. 地质与勘探, 2002, 6(38): 70-75.
- [13] 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 85-93.
- [14] STANNERS D, BOURDEAU P. Europe's environment the Dobris assesment[M]. Copenhagen: European Environment Agency, 1995: 146-171.

【责任编辑 周志红】