

贵阳市耕地土壤重金属分布特征及评价^①

邓秋静^{1,2}, 宋春然^{1,2}, 谢锋^{1,2}, 何锦林², 谭红², 吉玉碧^{1,2}, 陈安宁^{1,2}

(1 贵州工业大学化学与生物工程学院, 贵阳 550003; 2 贵州省理化测试分析研究中心, 贵阳 550002)

摘要: 对贵阳市4郊区1市3县耕地土壤重金属As、Pb、Cd、Cr、Hg污染现状进行了调查和分析。结果表明: 土壤中重金属含量在地区内及地区间差异都较大, 除Cr外, As、Pb、Cd、Hg富集度较高; 1市3县是贵阳市主要工业区, 土壤属轻度污染, 明显高于4郊区; Cd元素污染十分突出, 其次是Hg和As。分析认为磷化工、煤化工及铁合金等工业与之密切相关, 需进一步深入研究。

关键词: 耕地土壤; 重金属; 调查; 评价; 贵阳市

中图分类号: X53

土壤是人类赖以生存和发展的宝贵资源, 也是自然界最具循环能力的资源, 只要利用、保护、更新得当, 便可以持续保证人们生产。现代工业迅速发展, 大量污染物进入环境, 引起土壤环境质量严重恶化, 尤其是重金属污染极为严重。由于重金属污染范围广、持续时间长, 在环境中易积蓄、且稳定, 难于在生物物质循环和能量交换中分解^[1-4]。因此, 重金属污染具有多源性, 隐蔽性, 一定程度上的长距离传输性和污染后果的严重性^[1-2]。为保证农作物安全, 提高人民生活质量, 土壤重金属污染研究受到人们广泛关注^[5-6]。在相关部门组织下, 我们对贵阳市郊县耕作区土壤作抽样调查, 主要考察As、Pb、Cd、Cr、Hg 5种重金属的污染现状和程度, 为今后无公害农业区的优选和建设提供依据。

1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部, 是贵州省省会, 东经106°07'~107°16', 北纬26°11'~27°21'; 辖6个区(云岩区、南明区、花溪区、乌当区、白云区、小河区), 3个县(开阳县、修文县、息烽县), 1个县级市(清镇市); 人口总数约350万, 其中非农业人口160万。城区(包括云岩区、南明区)耕地面积很少, 非农业人口占95%以上, 不在本次调查范围之内。

贵阳市地处苗岭山脉中段, 地势南北高, 中部低, 最高点海拔1763 m, 最低点海拔529 m。气候

属中亚热带季风湿润气候, 年平均气温15.3℃, 年日照时数1353 h, 年降雨量1196.9 mm, 无霜期270天, 河流分属长江流域和珠江流域。全市总面积8034 km², 其中耕地面积10.76万hm², 占总面积13.4%。耕地中稻田4.11万hm², 占耕地面积38%, 旱地6.65万hm², 占耕地面积62%^[7-8]。土壤类型以黄壤和石灰土为主, 耕地土壤以黄壤为主。农作物总播种面积23万hm², 其中粮食作物播种面积14.6万hm², 是我国复种指数较高的地区之一^[9]。

贵阳市已发展成拥有冶金、电力、煤炭、机械制造、电子、仪器仪表、橡胶加工、化工、建材、烟草等门类较齐全的新兴工业城市。工业主要分布在3县1市。

2 样品采集和研究方法

2.1 调查范围、内容及样点布设

本次调查范围为贵阳市4郊区(花溪区、乌当区、白云区、小河区), 1市(清镇市), 3县(开阳县、修文县、息烽县)。调查对象为农业耕作旱地土壤, 以黄壤为主。调查内容是土壤中重金属As、Pb、Cd、Cr、Hg的含量及分布情况。根据重金属分布的空间变异性, 采用非均匀性布点方法。采样点主要选择集中连片的耕地地块, 离工业区较远的主要农业、蔬菜基地。由于小河区耕地较少, 故采样点分布也最少。共采集样本416个。

2.2 土样采集、处理及分析方法

^①基金项目: 贵州省省长基金项目(黔科教办(2003)04号)资助。

作者简介: 邓秋静(1971—), 女, 贵州贵阳人, 硕士, 主要从事环境地球化学方面的研究。E-mail: dengqjys@163.com

每个样品在 10 m × 10 m 正方形 4 个顶点和中心共 5 处各采集 1 kg 表土 (0 ~ 20 cm) 组成混合样, 充分混合后用四分法反复取舍, 最后保留 1 kg 左右土样作为该点混合样品。土样摊放在室内铺有洁净牛皮纸的台上风干, 除去石块, 残根等杂物, 用木棍碾压, 而后进一步用玛瑙钵研细, 过 100 目尼龙网筛, 供分析测试用。为防止人为因素影响, 样品采集、混合、装袋、粉碎、研磨等处理过程均采用木头、塑料、玛瑙等用具。

土壤样品采用美国国家环保局标准方法 (USEPA-3050B) 抽提消煮后, As 用原子荧光法测定, Hg 用冷原子吸收法测定, 石墨炉-原子吸收光谱仪 (AAS Vario 6) 测定 Cd、Pb、Cr。分析过程中加入国家标准土壤样品 (GSS-2、GSS-5) 进行分析质量控制, 分析样品重复数 10% ~ 15%, 所用水均为二次去离子水, 试剂均采用优级纯。测定结果精密密度满足于方法的允许值, 准确度符合 95% 置信水平下的置信水平要求。

2.3 评价方法

评价因子: 根据国家无公害农业基地的标准, 选取了影响大的 5 种重金属污染元素 (As、Pb、Cd、Cr、Hg) 作为土壤环境质量评价因子。

评价标准: 采用 NY5010-2002 无公害环境土壤质量要求。该标准把土壤环境质量分为 3 个等级。2 级标准为保障农业生产, 维护人体健康的土壤限制值。本文选取 3 级标准, 具体指标见表 1。

表 1 无公害食品的土壤环境质量要求 (3 级, g/kg)

Table 1 Criteria of soil environmental quality for hazard-free foods

| 项目 | 含量限值 | | |
|------|----------|--------------|----------|
| | pH < 6.5 | pH 6.5 ~ 7.5 | pH > 7.5 |
| Cd ≤ | 0.30 | 0.30 | 0.60 |
| Hg ≤ | 0.30 | 0.50 | 1.0 |
| As ≤ | 40 | 30 | 25 |
| Pb ≤ | 250 | 300 | 350 |
| Cr ≤ | 150 | 200 | 250 |

评价指数^[10]:

$$P_i = C_i/S_i, P_{\text{综合}} = \sqrt{\frac{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i)^2 + P_{\text{imax}}^2}{2}}$$

$$W_i = \left(P_i / \sum_{i=1}^{i=n} P_i \right) \times 100\%$$

式中 P_i 为土壤中 i 元素单项污染指数, C_i 为 i 元素的实际浓度, S_i 为 i 元素的评价标准, $P_{\text{综合}}$ 为综合污染指数, n 为样品个数, P_{imax} 为所有元素单项污染指数中的最大值, W_i 为土壤污染物分担率 (%)。

土壤质量分级标准^[11]: 综合污染指数全面反映了各污染物对土壤污染的不同程度, 同时充分考虑了高浓度物质对土壤环境质量的影响。因此, 本文中用综合污染指数代表 As、Pb、Cd、Cr、Hg 5 种重金属对土壤的综合污染程度, 因而评定土壤质量等级更客观。在评价时可兼顾考虑单项污染指数, 以表示某一有害物质的影响, 单项污染指数越高的元素对综合污染指数的贡献率和影响就越大。结合地区实际和相关标准, 将土壤污染等级划分列于表 2。

表 2 土壤污染指数分级

Table 2 Grading of soil pollution indexes

| 等级 | I | 污染程度 | 污染水平 |
|----|-----------|------|----------------------|
| 1 | ≤ 0.7 | 安全 | 清洁 |
| 2 | 0.7 ~ 1.0 | 警戒级 | 尚清洁 |
| 3 | 1.0 ~ 2.0 | 轻污染 | 超过背景值, 视轻污染, 作物开始受污染 |
| 4 | 2.0 ~ 3.0 | 中污染 | 土壤、作物均受到中度污染 |
| 5 | ≥ 3.0 | 重污染 | 污染已相当严重 |

土壤重金属背景值: 贵州土壤重金属含量背景值较高, Cd 十分突出, 为全国土壤背景值的 9.1 倍。贵阳市土壤重金属含量背景值除 Hg 外均低于全省背景值, 但与全国比较仍偏高, 详见表 3。

表 3 贵州省农业土壤环境重金属背景值及比较 (mg/kg)

Table 3 Background values of heavy metals in agricultural soils in different areas

| | As | Pb | Cd | Cr | Hg |
|-----------------------|------|------|-------|------|-------|
| 贵阳市土壤 ^[12] | 20.7 | 24.7 | 0.119 | 81.6 | 0.158 |
| 贵州省土壤 ^[11] | 20.0 | 35.2 | 0.659 | 95.9 | 0.110 |
| 中国土壤 ^[13] | 9.2 | 23.6 | 0.074 | 53.9 | 0.040 |
| 世界土壤 ^[13] | 6 | 12 | 0.35 | 70.0 | 0.060 |

3 结果与分析

3.1 贵阳市土壤重金属含量分布特征

3.1.1 贵阳市土壤重金属含量监测结果统计 分析数据采用 Crabbs 检验法进行异常值的剔除,对选出的有效样点数据作对数转换并进行正态分布检验:所采集的样品 Cr 含量符合正态分布,As、Pb、Cd、Hg 含量符合对数正态分布。根据样本分析结果,采用数理统计方法计算其平均值、标准差和 95% 置信区间,结果列表 4。

3.1.2 各元素在不同地区分布 从表 4 可看出,贵阳市土壤普遍偏酸性,pH 值最大为 7.82,最小为 4.13。在全市范围内 $\text{pH} \geq 7.0$ 的样本数 110 个,占总样本数的 26.4%。乌当区 $\text{pH} \geq 7.0$ 的样本数最多,共 59 个,占全市 $\text{pH} \geq 7.0$ 样本数的 53.6%。从表 4 还可看出,各元素在本地区及地区间分布差异都较大。全市各元素的最大值和最小值列于表 5。

表 4 贵阳市土壤重金属含量监测结果统计 (mg/kg)

Table 4 Monitoring data of heavy metals in the farmland soils of Guiyang

| 采样地区 | 样本 | 项目 | pH | As | Pb | Cd | Cr | Hg |
|------|-----|---------|-------------|---------------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| 花溪区 | 73 | 范围值 | 7.76 ~ 4.29 | 72.1 ~ 7.80 | 229.80 ~ 12.10 | 1.74 ~ 0.07 | 549.0 ~ 25.90 | 1.85 ~ 0.045 |
| | | 平均值 | 6.04 | 28.66 | 49.49 | 0.38 | 75.66 | 0.27 |
| | | 标准差 | 1.20 | 11.09 | 28.22 | 0.28 | 61.23 | 0.25 |
| | | 95%置信区间 | 6.04 ± 0.29 | 28.66 ± 2.66 | 49.49 ± 6.77 | 0.38 ± 0.07 | 75.66 ± 14.70 | 0.27 ± 0.06 |
| 乌当区 | 131 | 范围值 | 7.82 ~ 4.18 | 43.0 ~ 1.08 | 188.0 ~ 11.10 | 2.71 ~ 0.059 | 94.80 ~ 10.80 | 0.50 ~ 0.011 |
| | | 平均值 | 6.44 | 23.25 | 53.45 | 0.37 | 47.76 | 0.15 |
| | | 标准差 | 1.03 | 8.65 | 35.63 | 0.36 | 16.89 | 0.08 |
| | | 95%置信区间 | 6.44 ± 0.19 | 23.25 ± 1.56 | 53.45 ± 6.40 | 0.37 ± 0.06 | 47.76 ± 3.04 | 0.15 ± 0.01 |
| 白云区 | 85 | 范围值 | 7.18 ~ 4.30 | 46.80 ~ 7.65 | 72.80 ~ 21.50 | 0.66 ~ 0.14 | 61.40 ~ 28.90 | 0.293 ~ 0.12 |
| | | 平均值 | 5.89 | 20.31 | 48.32 | 0.36 | 44.50 | 0.18 |
| | | 标准差 | 0.79 | 12.20 | 18.08 | 0.16 | 8.72 | 0.06 |
| | | 95%置信区间 | 5.89 ± 0.17 | 20.31 ± 2.68 | 48.32 ± 3.98 | 0.36 ± 0.03 | 44.50 ± 1.92 | 0.18 ± 0.01 |
| 小河区 | 12 | 范围值 | 6.92 ~ 4.45 | 53.6 ~ 7.33 | 48.60 ~ 9.40 | 0.30 ~ 0.025 | 101.0 ~ 10.70 | 0.37 ~ 0.027 |
| | | 平均值 | 5.44 | 16.68 | 23.60 | 0.12 | 34.12 | 0.13 |
| | | 标准差 | 0.75 | 13.27 | 11.82 | 0.08 | 26.28 | 0.11 |
| | | 95%置信区间 | 5.44 ± 0.50 | 16.68 ± 8.76 | 23.60 ± 7.80 | 0.12 ± 0.05 | 34.12 ± 17.34 | 0.13 ± 0.07 |
| 清镇市 | 24 | 范围值 | 7.62 ~ 5.62 | 98.0 ~ 8.93 | 91.30 ~ 21.80 | 2.18 ~ 0.17 | 105.0 ~ 27.70 | 0.94 ~ 0.057 |
| | | 平均值 | 6.54 | 33.02 | 44.92 | 0.49 | 59.88 | 0.17 |
| | | 标准差 | 0.59 | 24.96 | 17.37 | 0.53 | 25.71 | 0.175 |
| | | 95%置信区间 | 6.54 ± 0.25 | 33.02 ± 10.53 | 44.92 ± 7.33 | 0.49 ± 0.22 | 59.88 ± 10.85 | 0.17 ± 0.07 |
| 开阳县 | 36 | 范围值 | 7.49 ~ 4.27 | 49.0 ~ 5.71 | 144.0 ~ 13.3 | 4.52 ~ 0.102 | 98.0 ~ 32.40 | 1.45 ~ 0.08 |
| | | 平均值 | 6.07 | 23.12 | 54.0 | 0.47 | 69.37 | 0.35 |
| | | 标准差 | 0.91 | 11.34 | 37.83 | 0.73 | 20.99 | 0.31 |
| | | 95%置信区间 | 6.07 ± 0.31 | 23.12 ± 3.86 | 54.0 ± 12.87 | 0.47 ± 0.09 | 69.37 ± 7.14 | 0.35 ± 0.11 |
| 修文县 | 24 | 范围值 | 6.98 ~ 4.13 | 42.60 ~ 3.68 | 122.0 ~ 21.30 | 3.22 ~ 0.07 | 154.0 ~ 40.70 | 0.95 ~ 0.18 |
| | | 平均值 | 5.13 | 21.25 | 44.78 | 0.48 | 63.27 | 0.42 |
| | | 标准差 | 0.79 | 9.77 | 22.64 | 0.84 | 28.98 | 0.17 |
| | | 95%置信区间 | 5.13 ± 0.40 | 21.25 ± 4.98 | 44.78 ± 11.55 | 0.48 ± 0.43 | 63.27 ± 14.79 | 0.42 ± 0.08 |
| 息烽县 | 31 | 范围值 | 7.32 ~ 4.76 | 40.0 ~ 3.86 | 126 ~ 40.6 | 1.81 ~ 0.23 | 144.30 ~ 9.22 | 1.52 ~ 0.003 |
| | | 平均值 | 6.08 | 19.19 | 67.50 | 0.49 | 60.82 | 0.25 |
| | | 标准差 | 0.76 | 9.18 | 22.04 | 0.34 | 26.07 | 0.30 |
| | | 95%置信区间 | 6.08 ± 0.28 | 19.19 ± 3.43 | 67.50 ± 8.22 | 0.49 ± 0.13 | 60.82 ± 9.72 | 0.25 ± 0.11 |
| 贵阳市 | 416 | 范围值 | 7.82 ~ 4.13 | 98.0 ~ 1.08 | 229.8 ~ 9.4 | 4.52 ~ 0.025 | 549.0 ~ 9.22 | 1.85 ~ 0.003 |
| | | 平均值 | 6.10 | 23.55 | 50.94 | 0.392 | 56.03 | 0.216 |
| | | 标准差 | 0.97 | 11.17 | 29.54 | 0.41 | 30.76 | 0.18 |

表 5 全市土壤中各元素最大值及最小值分布

Table 5 Disturbition of the Max. and Min. values of heavy metals in Guiyang

| | pH | As | Pb | Cd | Cr | Hg |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 土壤中最大含量 (mg/kg) | 7.82 | 98.0 | 229.8 | 4.52 | 549.0 | 1.85 |
| 地区 | 乌当区 | 清镇市 | 花溪区 | 开阳县 | 花溪区 | 花溪区 |
| 土壤中最小含量 (mg/kg) | 4.13 | 1.08 | 9.4 | 0.025 | 9.22 | 0.003 |
| 地区 | 修文县 | 乌当区 | 小河区 | 小河区 | 息烽县 | 息烽县 |
| 最大含量与最小含量之比 | | 90.7 | 24.4 | 181 | 59.5 | 616 |

3.1.3 各地区土壤中各元素平均含量分析 从图 1 可以看出, Cr 元素平均含量均低于背景值; Cd 元素平均含量均高于背景值, 且富集程度以 1 市 3 县更为突出。清镇市、开阳县、息烽县土壤重金属含量处于较高水平, 各地区相对比较见表 6。

3.1.4 与世界其他国家及国内主要城市的土壤中

重金属含量对比 与国内外对比, 贵阳市土壤中重金属含量总体偏高。除个别指标外, 主要重金属含量均大于以农业为主的湖州市、漳州市和三峡库区。与全国部分大城市相比, 总体状况仅优于沈阳市和广州市, 属土壤重金属含量较高的省会城市之一 (表 7)。

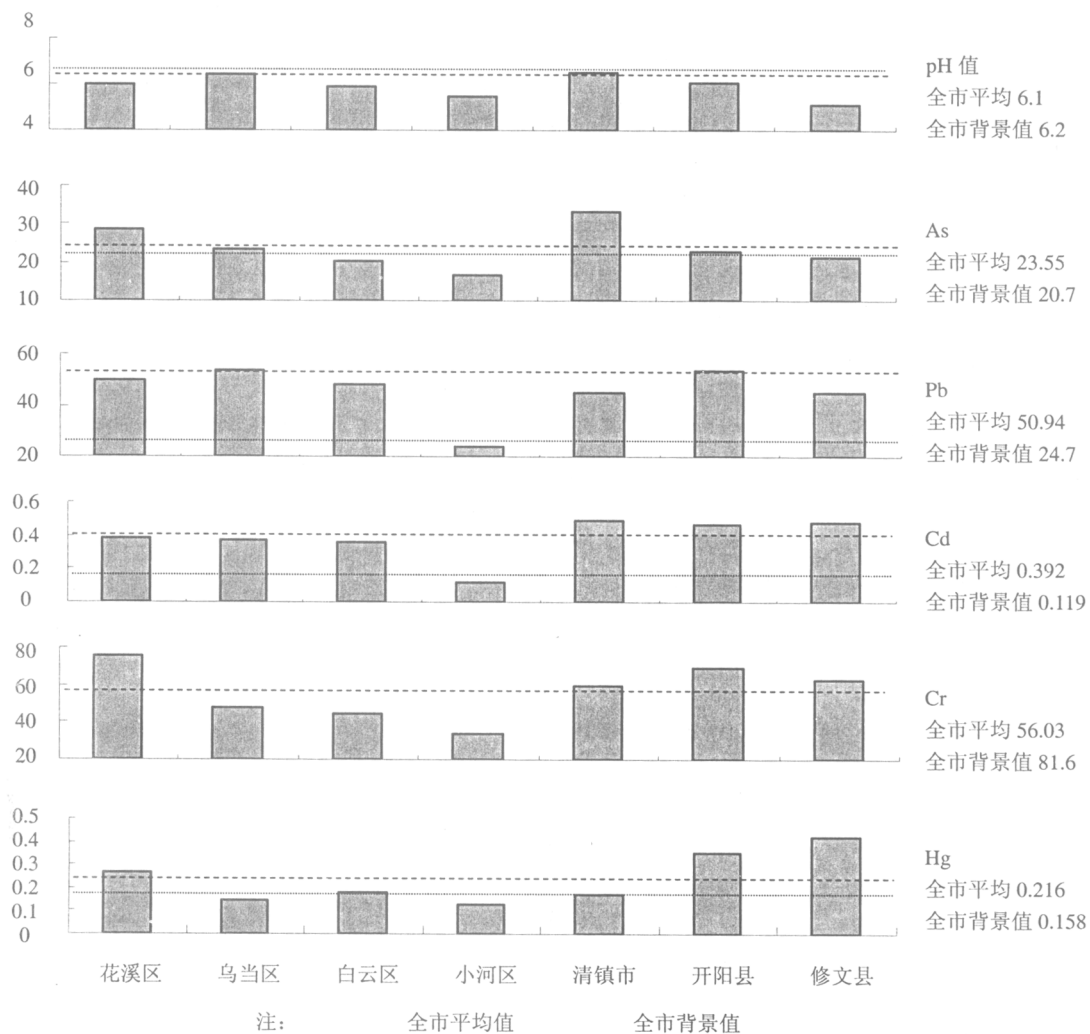


图 1 全市各地区各元素平均值分布 (mg/kg)

Fig. 1 Average contents of heavy metals in different areas in Guiyang

表 6 土壤中重金属平均含量排序（大→小）

Table 6 Decreasing sequences of regions in terms of average concentrations of heavy metals

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| pH | 清镇市 | 乌当区 | 息烽县 | 开阳县 | 花溪区 | 白云区 | 小河区 | 修文县 |
| As | 清镇市 | 花溪区 | 乌当区 | 开阳县 | 修文县 | 白云区 | 息烽县 | 小河区 |
| Pb | 息烽县 | 开阳县 | 乌当区 | 花溪区 | 白云区 | 清镇市 | 修文县 | 小河区 |
| Cd | 清镇市 | 息烽县 | 修文县 | 开阳县 | 花溪区 | 白云区 | 乌当区 | 小河区 |
| Cr | 花溪区 | 开阳县 | 修文县 | 息烽县 | 清镇市 | 乌当区 | 白云区 | 小河区 |
| Hg | 修文县 | 开阳县 | 花溪区 | 息烽县 | 白云区 | 清镇市 | 乌当区 | 小河区 |

表 7 不同地区土壤重金属含量对比（mg/kg）

Table 7 Heavy metal concentrations in soils of different cities

| 地区 | As | Pb | Cd | Cr | Hg |
|-------------------------|-------------|--------------|--------|-------|---------------|
| 贵阳市 | 23.55 | 50.94 | 0.392 | 56.03 | 0.216 |
| 北京市 ^[14] | 8.70 ± 2.20 | 18.78 ± 8.06 | - | - | 0.081 ± 0.056 |
| 上海市 ^[14] | 8.80 | 18.3 | 0.14 | 73.6 | 0.12 |
| 沈阳市 ^[15] | 11.96 | 10.2 | 0.88 | 96.2 | 0.52 |
| 南京市 ^[14] | 10.6 ± 6.08 | 24.8 ± 16.3 | - | - | 0.170 ± 0.13 |
| 广州市（郊区） ^[16] | 10.85 | 58.02 | 0.2808 | 64.65 | 0.7319 |
| 广州市（蔬菜） ^[14] | 8.35 | 34.61 | 0.186 | 38.43 | 0.065 |
| 兰州市 ^[14] | 10.64 | 22.35 | 0.149 | - | 0.034 |
| 南宁市 ^[17] | 27.7 | 46.7 | 0.33 | 133 | 0.15 |
| 成都市 ^[18] | 8.95 | 32.58 | 0.21 | 26.01 | 0.11 |
| 重庆市（近郊） ^[19] | 9.83 | 24.32 | 0.145 | - | 0.217 |
| 三峡库区 ^[20] | 13.72 | 49.40 | 0.78 | 50.33 | 0.07 |
| 湖州市 ^[21] | 6.24 | 28.10 | 0.40 | 54.92 | 0.198 |
| 漳州市 ^[13] | 7.73 | 15.12 | 0.053 | 12.65 | 0.146 |
| 美国 ^[14] | 10.78 | 18.5 | <1 | 34.7 | 0.049 |
| 日本 ^[14] | 17.26 | 31.8 | 0.4 | 40.16 | 0.07 |

注：“-”为无数据

3.1.5 超标率、超背景值样本占总样本百分率 可看出，各土壤中 Pb、Cr 超标率极低，大部分地区所采样本 5 种重金属元素全部检出。从表 8 中无超标样本；Cd 含量超标率最高，除小河区外，大

表 8 各地区土壤重金属含量超标样本数、超标率、超背景值样本数及超背景值率

Table 8 Numbers and percentages of the samples whose heavy metal concentrations were higher than their respective standard values and the background values

| 项目 | 花溪区 | 乌当区 | 白云区 | 小河区 | 清镇市 | 开阳县 | 修文县 | 息烽县 | 贵阳市综合 | |
|-------|-----|---------|----------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 超标数 | As | 16/21.9 | 11/8.4 | 15/17.6 | 1/8.3 | 7/29.2 | 4/11.1 | 2/8.3 | 1/3.2 | 57/13.7 |
| (个)超 | Pb | 0/0 | 1/0.8 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 1/3.8 | 1/4.2 | 0/0 | 3/0.7 |
| 标率(%) | Cd | 36/49.3 | 47/35.9 | 32/37.6 | 0/0 | 10/41.7 | 20/55.6 | 5/20.8 | 19/61.3 | 169/40.6 |
| | Cr | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 1/4.2 | 0/0 | 1/0.2 |
| | Hg | 18/24.7 | 4/3.1 | 4/4.7 | 2/16.6 | 1/4.2 | 10/27.8 | 17/70.8 | 4/12.9 | 60/14.4 |
| 超背景 | As | 58/79.5 | 81/61.8 | 54/63.5 | 2/16.7 | 13/54.2 | 19/52.8 | 10/41.7 | 13/41.9 | 250/60.1 |
| 值数/超 | Pb | 69/94.5 | 116/88.5 | 65/76.5 | 3/25 | 22/91.7 | 28/77.8 | 20/83.3 | 31/100 | 354/85.1 |
| 背景值 | Cd | 66/90.4 | 109/83.2 | 64/75.3 | 4/33.3 | 24/100 | 35/97.2 | 19/79.2 | 31/100 | 352/84.6 |
| 率(%) | Cr | 18/24.7 | 4/3.1 | 2/2.4 | 1/8.3 | 4/16.7 | 16/44.4 | 4/16.7 | 5/16.1 | 54/13.0 |
| | Hg | 44/60.3 | 51/38.9 | 37/43.5 | 2/16.7 | 4/16.7 | 27/75.0 | 24/100 | 21/67.7 | 210/50.5 |

部分地区超标率在 30% ~ 60% 之间; 样本中 Cr 含量超背景值率最低; As、Pb、Cd、Hg 超背景值率都较高。Cd 最突出, 清镇市、息烽县达 100%, 说明这几种元素在土壤中出现了明显富集。

3.1.6 土壤中重金属含量分布非均匀性分析

各地区内土壤样本 pH 值和重金属元素含量分组, 对贵阳市样本作统计分析, 考察地区对各元素分布影响的显著程度, 计算结果列于表 9。可以看出, 土壤中各重金属元素受地区影响显著性排序为: Hg > Cr > pH > As > Pb > Cd。

表 9 地区对土壤中重金属含量的影响

Table 9 Regional influences on heavy metal concentrations in the soils

| 项目 | pH | As | Pb | Cd | Cr | Hg |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 按地区组合的 F 值 | 7.71 | 7.16 | 2.07 | 1.65 | 9.31 | 12.1 |
| 地区影响显著性 | 高度显著 | 高度显著 | 不显著 | 不显著 | 高度显著 | 高度显著 |

3.2 贵阳市土壤环境质量评价

根据贵阳市 8 个地区耕地样本测定结果, 计算

5 种重金属元素单项污染指数、综合污染指数及各项污染指数分担率, 列于表 10。

表 10 各地区土壤重金属污染指数及分担率

Table 10 Pollution index and contribution index of each heavy metal in the farm soil in different regions of Guiyang

| 采样地区 | As | | Pb | | Cd | | Cr | | Hg | | 综合指数 |
|------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | 污染指数 | 分担率(%) | 污染指数 | 分担率(%) | 污染指数 | 分担率(%) | 污染指数 | 分担率(%) | 污染指数 | 分担率(%) | |
| 花溪区 | 0.72 | 20.0 | 0.20 | 5.6 | 1.26 | 35.1 | 0.51 | 14.2 | 0.9 | 25.1 | 1.03 |
| 乌当区 | 0.58 | 20.4 | 0.21 | 7.4 | 1.23 | 43.3 | 0.32 | 11.3 | 0.50 | 17.6 | 0.96 |
| 白云区 | 0.51 | 18.4 | 0.19 | 6.8 | 1.18 | 42.4 | 0.30 | 10.8 | 0.60 | 21.6 | 0.92 |
| 小河区 | 0.42 | 26.8 | 0.10 | 6.4 | 0.37 | 23.5 | 0.25 | 15.9 | 0.43 | 27.4 | 0.38 |
| 清镇市 | 1.10 | 31.4 | 0.15 | 4.3 | 1.63 | 46.6 | 0.3 | 8.6 | 0.33 | 9.5 | 1.26 |
| 开阳县 | 0.58 | 14.5 | 0.22 | 5.5 | 1.58 | 39.3 | 0.46 | 11.5 | 1.17 | 29.2 | 1.25 |
| 修文县 | 0.53 | 12.8 | 0.18 | 4.4 | 1.60 | 38.7 | 0.42 | 10.2 | 1.40 | 33.9 | 1.27 |
| 息烽县 | 0.48 | 13.3 | 0.27 | 7.5 | 1.62 | 45.0 | 0.41 | 11.4 | 0.82 | 22.8 | 1.25 |
| 贵阳市 | 0.59 | 18.5 | 0.20 | 5.3 | 1.31 | 41.1 | 0.37 | 11.6 | 0.72 | 22.5 | 1.03 |

从单项污染指数看, Cd 污染最突出, 除小河区外, 各地区均属轻度污染, 清镇市最高达 1.63; Pb 和 Cr 的污染较轻, 各地区单项污染指数均在 0.7 以下, 属安全的清洁区。As 污染除清镇市属轻污染区、花溪区处于警戒状态外, 余下各地区均属安全的清洁区。Hg 污染指数差异较大, 开阳县和修文县属轻度污染区, 花溪区和息烽县处于警戒区, 乌当区、小河区、清镇市均属安全的清洁区。各单项污染指数均小于综合污染指数。

贵阳市综合污染指数 1.03, 说明已处于警戒级。从各地区看, 小河区属于安全清洁区, 而花溪区、乌当区、白云区处于警戒级, 清镇市、开阳县、修文县、息烽县均受到轻度污染。

从各单项污染指数分担率看, Cd 元素指数分担率最高, 除小河区外, 其余地区在 35% ~ 47% 的范

围内。Cd 元素污染是贵阳市综合污染指数升高的主要原因。

4 讨论

贵阳市所辖清镇市、开阳县、修文县、息烽县污染程度均大于市郊的花溪区、乌当区、白云区和小河区。这与 3 县 1 市是贵阳市的主要工业区密切相关。Pb 的污染主要受贵阳地区各冶炼厂排出废气和汽车排放尾气影响; Hg 和 As 的污染主要受大型工业企业、电厂和煤气气源厂燃煤和个别企业排出废水影响; Cr 的污染主要受耐火材料厂和铝厂以及一些电镀厂等工业废水影响。

Cd 是贵阳市主要污染重金属, 笔者认为, 这与工业发展密切相关。息烽县和开阳县是贵阳市主要磷化工区, Cd 元素污染最突出。贵州磷矿中含 Cd

量为 $(1.24 \pm 1.35) \text{ mg/kg}^{[22]}$, 两县每年共生产磷矿石 350~400 万 t, 现有黄磷生产能力近 15 万 t/年, 磷肥生产能力约 40 万 t/年 (P_2O_5), 每年就地加工磷矿约 200 万 t, 从“三废”中排出的 Cd 对土壤造成很大污染。据资料介绍, 钙镁磷肥生产过程中, 需经过高温熔融, 大部分 Cd 随尾气挥发逸出, 息烽县曾长期生产钙镁磷肥, 尽管现已停产, 但尾气中的 Cd 已对环境造成污染。冶炼烟气也是 Cd 的重要污染因子之一^[23], 清镇市受冶炼厂及煤化工等企业影响很大。贵阳市经济发展规划中磷化工、煤化工仍是发展重点, 而降低尾气及废水中 Cd 含量是减少土壤 Cd 污染的重要措施, 需有关部门给予高度重视, 以阻止土壤中 Cd 的进一步富集和环境的进一步恶化。

5 结论

(1) 贵阳市耕地土壤重金属含量地区内及地区间差异都较大, 说明点污染源有较大影响。Hg 和 Cd 在土壤中最大含量与最小含量相差 616 和 181 倍。除 Cr 外, As、Pb、Cd、Hg 在土壤中富集度较高。

(2) 贵阳市所辖 1 市 3 县(清镇市、开阳县、修文县、息烽县)是贵阳市的主要工业区, 属轻度污染。4 郊区中除小河区属于安全的清洁区外, 花溪区、白云区、乌当区均属警戒级。

(3) 贵阳市土壤 Cd 元素污染十分突出, 全市单项污染指数为 1.31, 1 市 3 县单项污染指数均 >1.5 , 均属轻度污染。初步分析其与磷化工、煤化工及冶炼等工业污染密切相关, 值得深入研究, 并采取相应防治措施。

参考文献:

- [1] 李天杰. 土壤环境学. 北京: 高等教育出版社, 1995: 96-100
- [2] 赵其国. 土壤与环境问题国际研究概况及其发展趋势. 土壤, 1998, 30 (6): 281-310
- [3] 王慎强, 陈怀满, 司友斌. 我国土壤环境保护研究的回顾与展望. 土壤, 1999, 31 (5): 255-260
- [4] 张桃林, 潘剑君, 赵其国. 土壤质量研究进展与方向. 土壤, 1999, 31 (1): 1-7
- [5] Zhang MK, Ke ZX. Heavy metals, phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou City, China. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 177-185
- [6] Zhang MK, Wang MQ, Liu XM, Jiang H, Xu JM. Characterization of soil quality under vegetable production along an urban-rural gradient. *Pedosphere*, 2003, 13 (2): 173-180
- [7] 贵州省综合地图册编辑委员会. 贵州省综合地图册. 贵阳: 贵州人民出版社, 2003: 69-72
- [8] 杨谨华, 扈伦, 陈胜元, 张家琦. 贵州省经济开发现在与未来. 贵阳: 经济管理出版社, 1995: 181-190
- [9] 贵阳市人民政府网. 农业信息 <http://www.gygov.gov.cn/nyxx/zzy/plant.htm>
- [10] 刘凤枝主编. 农业环境监测实用手册. 北京: 中国标准出版社, 2001: 18-19
- [11] 刘凤枝主编. 农业环境监测实用手册. 北京: 中国标准出版社, 2001: 590-597
- [12] 陆引罡, 王巩. 贵州贵阳市郊区菜园土壤重金属污染的初步调查. 土壤通报, 2001, 32 (5): 253-237
- [13] 郭义龙, 林壹兵, 胡少宜. 漳州市农业土壤重金属现状、分析及防治. 土壤, 2003, 35 (2): 131-135
- [14] 魏秀国, 何江华, 陈俊坚, 杜应琼, 杨秀琴. 广州市蔬菜地土壤重金属污染状况调查及分析. 土壤与环境, 2002, 3: 252-254
- [15] 张勇. 沈阳郊区土壤及农产品重金属污染的现状评价. 土壤通报, 2001, 32 (8): 182-186
- [16] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 董汉英, 陈玉娟, 龙祥葆, 罗妙榕, 向运荣, 周毛. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征. 中国环境科学, 2003 (6): 592-596
- [17] 孔德工, 唐其展, 田忠孝, 方东, 粟学军. 南宁市蔬菜基地土壤重金属含量及评价. 土壤, 2004, 36 (1): 21-24
- [18] 刘红樱, 谢志仁, 陈德友, 周雪梅, 冯小铭, 郭坤一. 成都地区土壤环境质量初步评价. 环境科学学报, 2004 (3): 297-302
- [19] 李其林, 黄昀. 重庆市近郊区蔬菜地土壤重金属含量变化及污染情况. 土壤通报, 2002, 33 (4): 158-160
- [20] 许书军, 魏世强, 谢德体. 三峡库区耕地重金属分布特征初步研究. 水土保持学报, 2003, 17 (4): 64-66
- [21] 袁旭音, 陶于祥, 王润华, 姜月华, 王爱华. 湖州市不同土壤重金属的污染现状. 上海地质, 2002 (3): 6-11
- [22] 鲁如坤, 时正元, 熊礼明. 我国磷矿石, 磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价. 土壤学报, 1992, 29 (5): 150-156
- [23] 刘芬, 刘文华, 娄涛, 刘国胜, 李小江. 土壤镉污染与冶炼烟气的相关性研究. 湘潭矿业学院学报, 2003, 18 (3): 88-91

Distribution and Evaluation of Heavy Metals in Cultivated Soil of Guiyang

DENG Qiu-jing^{1,2}, SONG Chun-ran^{1,2}, XIE Feng^{1,2}, HE Jin-lin², TAN Hong², JI Yu-bi^{1,2}, CHEN An-ning^{1,2}

(1 College of Chemistry and Bioengineering, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003, China;

2 Guizhou Research Center for Physical Test and Chemical Analysis, Guiyang 550002, China)

Abstract: Investigation and assessment of concentrations of heavy metals (As, Pb, Cd, Cr, and Hg) in the cultivated soils in Guiyang (including four suburbs, one city and three counties that are Huaxi, Wudang, Xiaohe and Baiyun District, Qingzheng City, Xi Feng, Kaiyang and Xiuwen County) were carried out. Results showed that the contents of heavy metals varied largely both within and between the regions. They were all relatively high, except Cr, in all the area investigated. The average contents of heavy metals in the main industrial areas including Qingzheng City and three counties were obviously higher than in the other areas of Guiyang. Cd was the most important contributor of heavy metal pollution of the soil and was followed by Hg and As, which was presumed to have resulted from the presence of phosphorus chemical industry, coal chemical industry and ferroalloy industry in those area.

Key words: Cultivated soil, Heavy metals, Investigation, Assessment, Guiyang City