

成都平原土壤中 Cd 的空间分布 与第四纪单元响应分析

刘应平^{1,2} 喻成燕²

(1.成都理工大学,成都 610059;2.四川省地质调查院,成都 610081)

摘要:通过样品采集和室内分析,研究了成都平原区土壤中 Cd 高含量区的区域分布特征和第四纪分布的空间响应关联。在绵远河、石亭江流域冲积物中存在 Cd 含量高值区。在同一流域 I、II 级阶地→III 级阶地→IV 级或 V 级阶地冲积物中 Cd 含量逐渐降低。发育于龙门山的河流(绵远河、石亭江)沉积物 Cd 含量显著高于其他水系沉积物。Cd 高含量分布区与不同级次的阶地相吻合的特征表明其控制因素显著,属于地质作用的产物。这一结论与多数研究者认为的人为因素引起的具有根本区别。

关键词:表层土壤;Cd 空间分布;冲积扇;成都平原

中图分类号:X141 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)03-0804-07

1 引 言

成都平原位于四川盆地与青藏高原东南缘接合部位,东至龙泉山西麓,西缘龙门山前山之边,南抵总岗山西北坡,北东濒临川中红层丘陵区,为轴向呈 NE30~40 展布盆地,面积大于达 8 400 km²。

成都平原是由多个冲积扇体联合组成的堆积平原,自南而北主要有绵远河冲积扇、石亭江冲积扇、湔江冲积扇、文锦江冲积扇、斜江冲积扇等。平原的西缘部分为冲积扇体,冲积扇的扇根部分均位于山口处,在扇体外围即其东南侧主要为二级阶地,一级阶地仅限于现代河床附近。也就是说,成都平原的主体是由二级阶地构成的^[1-3]。

平原的两端及两侧均展布堆积台地。这些台地主要由 III 级、IV 级或 V 级阶地组成。一般说来,这些台地高出当地现代河床 30~100 m。台地一般由中生界红层构成基座,基座上覆风化砾石层,砾石层上覆亚粘土层。在部分台地上,局部出露由中生界红层构成的基岩残丘。

区内所有河流均发源于青藏高原,除蒲江河外,均由西北流向东南,横穿成都平原。主要河流为涪江、绵远河、石亭江、鸭子河、金马河、西河—南河、蒲江河等。按照水系,东北部河流属涪江水系,绵远河、石亭江及鸭子河属沱江水系,其余河流属岷江水系。

成都平原的大部分土壤层发育在第四纪河流相沉积物的表层。这些河流源区范围内分布的岩石地层单元各不相同,决定或影响了相关河流第四系沉积物的物质成分。河流沉积物的物质成分又会影响到覆土壤层的地球化学特征。在这些河流中,有的源区范围内分布的岩石/地层单元基本相同,有的则有显著差别。所以,为了阐明区内不同地区土壤层的地球化学特征,笔者按物源区岩石地层单元组合的不同,将成都平原划分为 7 个小流域,即绵远河、石亭江、鸭子河、金马河、西河—南河、蒲江河、岷江(新津—乐山段)等 7 个小流域(图 1)。

在成都平原不同时代地层发育而成的土壤中分布着规模不等的镉等重金属元素的高含量区域。有观点认为土壤中 Cd 的高含量主要是人为活动的叠

收稿日期:2011-10-11;改回日期:2012-04-10

基金项目:成都经济区生态地球化学调查项目(200214200027)及四川省成都经济区土地质量地球化学评估项目(GZTR20070314)资助。

作者简介:刘应平,男,1967 年生,博士,高级工程师,主要从事应用地球化学研究;E-mail:ypdxm@163.com。



图 1 成都平原地貌及水系分区图

Fig.1 Landform and drainage zoning of Chengdu plain

加,土壤中的输入主要是大气沉降、灌溉水和化肥^[2-9]。

2 研究区概况与样品采集测试

2.1 成都平原第四纪沉积物的分布

第四系在成都平原分布较广,成因类型众多。对于成都盆地内第四纪沉积的成因认识,有两种截然

不同的意见。以李承三为代表的冰泛说,认为岷江上游的五次冰期的冰川直接影响到成都盆地,龙门山前有规模巨大的名邛冰泛,盆地内为冰川和冰水堆积物,在盆地中心区的全新统冲积层之下埋藏着冰泛沉积物,盆地边缘由冰泛沉积物组成了多级阶地。以刘兴诗为代表的冲积说,认为所谓冰泛实则是冲

积、洪积相沉积,属流水成因,西部山地内的冰川并未下达盆地之中^[1]。

成都平原第四纪堆积物厚度大,保存较完好,冲积层厚度一般在 200~300 m。平原表面主要为 I 级阶地和河漫滩冲积物,成分为砂砾、粉砂、亚砂土;东北部出露于 II 级阶地上部的广汉粘土及其上的成都粘土(图 2)。

Q₄全新统, I 级阶地和河漫滩沉积,构成成都平原的主体,阶面平坦、宽阔。一般高出河面的高度,厚度 2~7 m,局部地段厚度可达 30 m。成分组成特征为:上部为砂质粘土、粘质沙土,下部为砂砾石层。不同流域成分有所差异。

Q₃上更新统, II、III 级阶地。主体为成都粘土。分布很广泛——呈地毯式批盖在 II 级的各级阶地^[1]。成都粘土为灰黄、棕色,含钙质结核,质地均匀一致,无层理。钙质结合一般直径 3~6 cm,局部可达 20 cm 以上。粘土下步场含有黑褐色豆粒状锰质结合或斑块。

Q₂中下更新统, IV、V 级阶地,以砾石层为主,可见多个沉积韵律层。不同河流域差异较大,常见于古河床凸岸的最高台地上,地貌上呈圆滑的丘状或梁状。在凤凰山、磨盘山、牧马山等地有较集中出露。

2.2 样品采集

在成都平原系统采集了浅层(0~20 cm)和深层(120~150 cm)土壤样品。

样品采集采用网格法。浅层样品采集于可代表样品理论代表单元的地质、土壤类型和用地类型的地段,以一个采样点为主,多个样点(100 m 范围内放射状采集不少于 5 个点)组合成一件样品,样品介质为地表 0~20 cm 土柱,野外现场组合为一件样品,重量 1.5 kg。一般采样密度为 1 件/km²,在城镇化程度较高、土地利用类型复杂、经济相对发达的地区和农业经济发达、种植结构相对复杂的地区采样密度为 1.5~2 件/km²。

深层样品亦按网格法布设样品,但在样品布设和采集时均应结合地形地貌、地质单元,采样密度为 1 件/4 km²,样品布设在该单元格的代表性地质土壤单元内,样品介质为地表 120~150 cm 土柱。样品重量为 1.5 kg。采样时要避开建设工程等运积物质。

样品采集均使用高精度 GPS 导航、现场选点、定位和样品采集。样品采集信息直接记录进入数据库^[2]。

2.3 样品分析测试

浅层样品按 4 km² 为单元组合分析,深层样品

采用单样分析。

样品分析测试由具有计量资质的成都岩矿测试中心承担,分析测试技术方法和质量控制按中国地质调查局《覆盖区多目标地球化学调查暂行规定》的要求执行,有中国地质调查局分析测试质量监控专家组监控分析测试质量^[2,7]。

3 结果与讨论

3.1 研究区土壤中 Cd 的基本分布特征

成都平原第四系可分为 3 个单元,即全新统(Q₄)、上更新统(Q₃)和中更新统(Q₂)。在全新统为冲洪积物,主要由灰色、黄灰色砂、砾、粘土等组成,Cd 含量较高(表 1),平均值达 0.308 mg/kg,变异系数(Cv)大 0.714,表明其含量分布极不均匀,存在局部显著富集。此一区域多受近现代河流沉积物的影响,即近现代矿产资源的规模开采利用,可能加剧了地层中 Cd 等元素的剥蚀,通过水流带入下游、进入土壤中。上更新统中 Cd 含量 0.07~1.4mg/kg,平均值达 0.257 mg/kg,变异系数 0.511,含量起伏变化较大,局部集中富集趋势显著。在中更新统中 Cd 含量相对平稳,起伏不大,其绝对含量值显著低于 Q₃、Q₄。剔除特异值后的统计结果显示,Cd 的绝对含量 Q₄>Q₃>Q₂,标准离差和变异系数均相近,表明区域性地质作用是土壤中 Cd 的主要来源和影响因素,近现代的矿产开采对土壤中 Cd 的积累有显著的贡献。

3.2 不同流域地质体中 Cd 的含量特征

不同流域第四系单元土壤中 Cd 的含量差异较大,在金马河、西河—南河、鸭子河流域的土壤中 Cd 含量较低,分布相对均匀;浦江、岷江、浦江流域的土壤中 Cd 含量亦较低,但局部地段有高含量点/区,特别是在 Q₄ 单元中,局部含量很高;绵远河、石亭江流域的土壤中 Cd 含量普遍较高,是其他区域的 2 倍以上,且含量起伏变化较小。

各流域的 Q₄ 单元土壤中 Cd 含量显著高于 Q₃ 单元, Q₂ 单元中含量最低。

3.3 Cd 特高值的分布

局部 Cd 高含量点在各流域、不同第四纪地层单元中均有检出,同一地层单元中高点点的分布较杂乱,不具有显著的规律性;总体而言具有 Q₄>Q₃>Q₂;具有一定分布面积的高含量区域主要集中在绵远河、石亭江流域。

绵远河古称绵水,为降水补给河流。发源于龙门

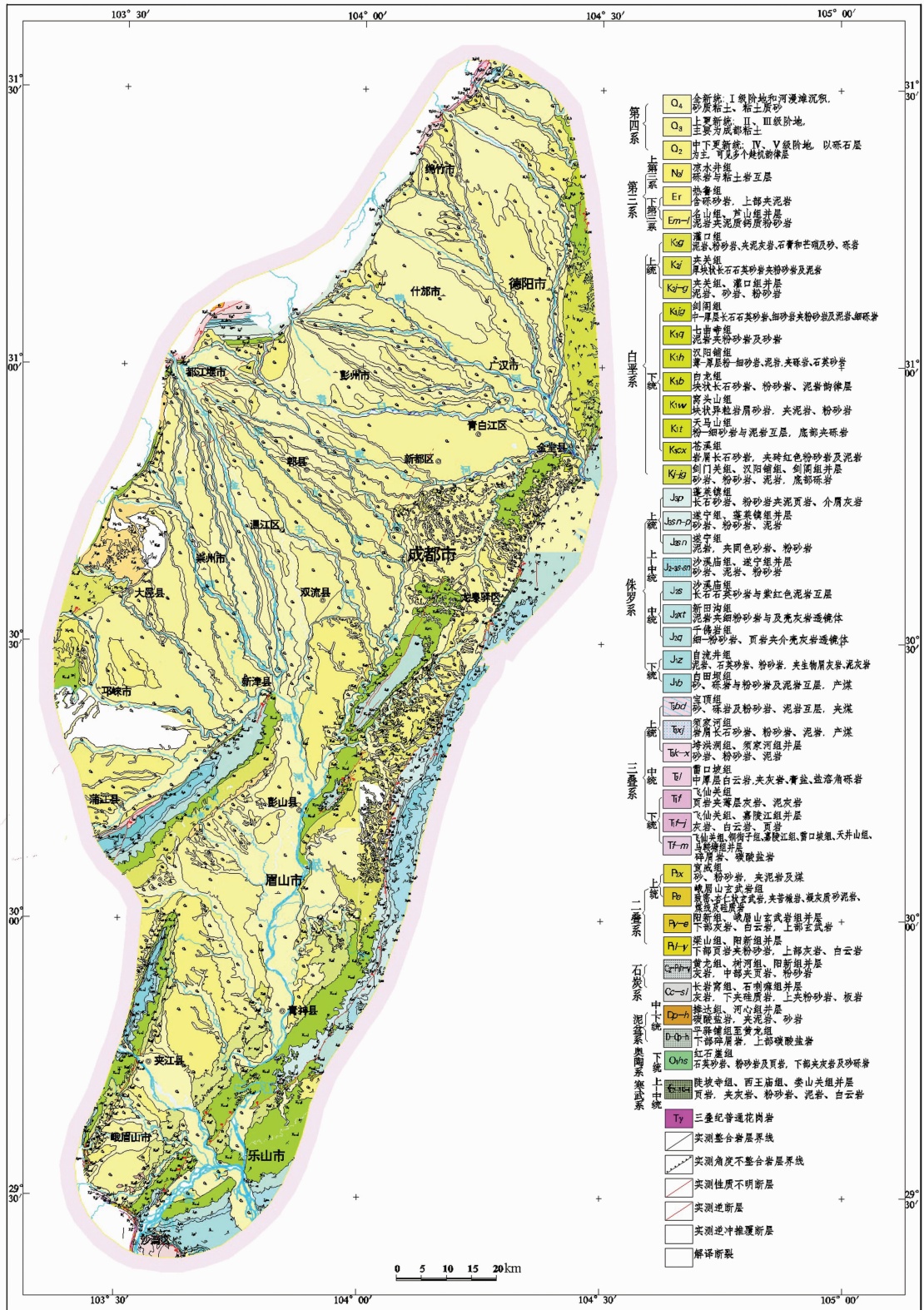


图 2 成都平原主要第四纪单元分布图

Fig.2 Distribution of main Quaternary units in Chengdu plain

表 1 不同时代第四系土壤中 Cd 的含量 (单位:mg/kg)
Table 1 Content of Cd in Quaternary soil of different areas

单元	N	max ₁	min ₁	X ₁	S ₁	Cv ₁	N ₂	max ₂	min ₂	X ₂	S ₂	Cv ₂
Q	3345	3.21	0.07	0.27	0.175	0.647	2979	0.394	0.07	0.223	0.057	0.255
Q ₂	667	0.76	0.083	0.203	0.056	0.277	643	0.311	0.083	0.196	0.04	0.202
Q ₃	1123	1.4	0.07	0.257	0.131	0.511	997	0.37	0.07	0.219	0.051	0.231
Q ₄	1555	3.21	0.095	0.308	0.22	0.714	1354	0.442	0.095	0.243	0.068	0.279

表 2 不同流域地质体中 Cd 的含量 (单位:mg/kg)
Table 2 Content of Cd in geological bodies of different basins

水系	单元	N	max ₁	min ₁	X ₁	S ₁	Cv ₁	N ₂	max ₂	min ₂	X ₂	S ₂	Cv ₂
金马	Q	776	0.71	0.07	0.203	0.06	0.296	759	0.31	0.08	0.197	0.04	0.202
	Q ₂	92	0.29	0.09	0.17	0.039	0.229	89	0.25	0.09	0.166	0.033	0.199
	Q ₃	313	0.71	0.07	0.21	0.076	0.363	301	0.31	0.09	0.199	0.038	0.189
	Q ₄	371	0.44	0.11	0.206	0.045	0.217	365	0.31	0.11	0.203	0.038	0.189
岷江 (新津-乐山段)	Q	586	0.6	0.083	0.257	0.168	0.654	527	0.38	0.083	0.217	0.056	0.256
	Q ₂	167	0.4	0.083	0.203	0.041	0.201	162	0.3	0.13	0.2	0.033	0.167
	Q ₃	134	1.4	0.1	0.233	0.146	0.625	122	0.35	0.1	0.198	0.054	0.274
	Q ₄	285	2.6	0.12	0.3	0.208	0.693	261	0.49	0.12	0.254	0.08	0.315
绵远河	Q	311	1.74	0.15	0.519	0.269	0.517	297	1.12	0.15	0.483	0.214	0.442
	Q ₂	29	0.76	0.2	0.32	0.115	0.359	28	0.52	0.2	0.304	0.08	0.264
	Q ₃	133	1.37	0.16	0.436	0.203	0.464	128	0.84	0.16	0.41	0.151	0.37
	Q ₄	149	1.74	0.15	0.632	0.291	0.46	148	1.36	0.15	0.625	0.277	0.444
浦江	Q	245	3.21	0.13	0.211	0.195	0.924	239	0.28	0.13	0.196	0.029	0.15
	Q ₂	175	0.32	0.13	0.196	0.031	0.16	172	0.26	0.13	0.194	0.028	0.145
	Q ₄	65	3.21	0.13	0.25	0.372	1.488	62	0.28	0.13	0.2	0.032	0.16
石亭江	Q	158	2.2	0.19	0.382	0.239	0.625	143	0.5	0.19	0.327	0.06	0.183
	Q ₃	36	1.17	0.23	0.37	0.159	0.43	33	0.464	0.23	0.332	0.057	0.173
	Q ₄	119	2.2	0.21	0.39	0.26	0.666	107	0.5	0.21	0.328	0.059	0.179
西河+南河	Q	221	0.38	0.14	0.234	0.038	0.162	220	0.34	0.14	0.233	0.037	0.157
	Q ₂	16	0.24	0.14	0.201	0.026	0.128	16	0.24	0.14	0.201	0.026	0.128
	Q ₃	136	0.34	0.15	0.233	0.036	0.153	135	0.32	0.15	0.232	0.035	0.149
	Q ₄	69	0.38	0.16	0.243	0.04	0.164	68	0.31	0.16	0.241	0.037	0.151
鸭子河	Q	364	0.66	0.12	0.235	0.063	0.27	354	0.37	0.12	0.228	0.048	0.21
	Q ₂	12	0.31	0.13	0.193	0.051	0.266	12	0.31	0.13	0.193	0.051	0.266
	Q ₃	201	0.56	0.13	0.236	0.061	0.257	192	0.34	0.13	0.228	0.044	0.195
	Q ₄	151	0.66	0.12	0.235	0.066	0.282	149	0.36	0.12	0.23	0.049	0.215

山脉之九顶山(4 989 m)南麓,从绵竹市汉旺镇山口进入成都平原,向南奔腾而下,是沱江上游正源。成都平原区绵远河流域段 Q_4 分布面积约占总面积的二分之一,其次是 Q_3 , Q_2 仅在龙门山山前和龙泉山山前台地上有零星分布。Cd 的高含量点在各地层单元中均有分布,其上游沉积物中的绝对含量值略高于下游。

石亭江源头为龙门山脉之九顶山东侧的二道金河(洛水)和头道金河(章水)。在高景关以上称洛水,以下称石亭江。成都平原石亭江流域段以 Q_4 为主, Q_3 仅在东部有少量呈带状出露。该流域不同第四纪单元土壤中 Cd 的绝对含量基本相当,高含量点分布较零乱。

鸭子河又称湔江,是成都平原西北山区的一条重要河流,发源于龙门山脉中的太子城峰(海拔 4 814 m)西南,是沱江三大源头之一。西北—东南流向,穿越龙门山,在丹景山镇进入成都平原。成都平原鸭子河流域区内 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 均有出露, Q_3 的面积略大于 Q_4 , Q_2 仅在龙门山山前台地有零星出露。各地层单元土壤中 Cd 含量基本相当,在不同第四纪单元中靠近上游(龙门山)略高于下游。

其余各流域的分布特征与鸭子河流域类似。

绵远河、石亭江均发源于龙门山脉之九顶山麓,流经形成于古生代的磷质岩沉积建造(沙窝子组、总长沟组或梁山组、灯影组等);鸭子河源于龙门山脉中的太子城峰西南、西河—南河、金马河是岷江在成都平原段的名称,源于岷山南麓(弓杠岭),穿越龙门山;浦江源于邛崃山脉。

上述 Cd 的分布特征显示,成都平原区表层土壤中 Cd 的区域差异性分布与其表生地球化学条件显著相关,与地貌关系密切。在现代河道(水系)发育的地段含量相对较高,且分布零乱,无显著趋势可循,表明土壤中 Cd 高含量区与第四系沉积物来源密切相关。

3.4 Cd 高含量区形成的原因

成都平原是由多个冲积扇体联合组成的堆积平原,冲积扇的扇根部分均位于山口处,在扇体外围即其东南侧主要为二级阶地;Ⅲ级、Ⅳ级或Ⅴ级阶地组成平原的两端及两侧均展布堆积台地。在地球化学上体现出不同冲积扇区域内具有不同元素组合特征。

Cd 的高含量区域主要分布在成都平原西北部

的绵远河、石亭江冲积扇,其余大部分平原区为 Cd 的背景区。Cd 高含量区的区域分布特征明显,控制因素显著:Ⅰ、Ⅱ级阶地—Ⅲ级—Ⅳ级或Ⅴ级阶地冲积物中 Cd 含量逐渐降低,西北部冲积物高于中部及南部,发育与龙门山中的水系冲积物 Cd 含量高于切穿龙门山的水系冲积物,浅表部土壤介质中 Cd 含量高于深部。Cd 的高含量区主要分布在河流Ⅰ、Ⅱ级阶地和发育与龙门山的水系冲积扇,与当地工农业生产关系不密切。

4 结 论

上述研究表明,成都平原 Cd 高含量区是成都平原形成过程中,富含 Cd 的河流(绵远河、石亭江等)物质在平原区冲/沉积而成,高含量区的分布与阶地展布基本一致,近源区域略高于远源区域,近期沉积物高于远期沉积物($Q_4 > Q_3 > Q_2$),属于典型的地质作用形成的。这一结论与多数研究者认为是人为因素引起的具有根本差别。

参考文献(References):

- [1] 四川省地质矿产局. 地质专报 23 号, 四川省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1991, 238-379.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province, Regional Geology of Sichuan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 238-379 (in Chinese with English abstract).
- [2] 刘应平, 张森, 等. 运用生态地球化学调查成果指导农业生产管理[J]. 物探化探计算技术, 2007, 5, 253-256.
Liu Yingping, Zhang Miao, et al. Application of ecological geochemistry to agricultural administration fertilization experiments directing the Boron Shortage in Soil in Pengzhou County [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 5: 253-256 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李冰, 王昌全, 等. 成都平原农田土壤 Pb 的形态特征及其生物效应研究[J]. 农业现代化研究, 2008, 11: 751-754.
Li Bing, Wang Changquan, et al. Speciation and bioavailability of Pb in farmland soil in Chengdu Plain [J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 11: 751-754 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李富华. 成都平原农田土壤重金属污染现状级防治对策 [J]. 四川环境, 2009, 8: 60-64.
Li Fuhua. Atatus Quo of heavy metal pollution of agricultural soil in Chengdu Plain and control countermeasures [J]. Sichuan Environment, 2009, 8: 60-64 (in Chinese with English abstract).
- [5] 汤奇峰, 杨忠芳, 张本仁. 成都经济区农业生态系统土壤镉通量研究[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 869-877.
Tang Qifeng, Yang Zhongfang, Zhang Benren. Cadmium flux in soils of the agroecosystem in the Chengdu economic region [J].

- Geological Bulletin of China, 2007, 26 (7):869– 877 (in Chinese with English abstract).
- [6] 金立新, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 德阳镉污染农田区生态安全性及居民健康风险评估[J]. 地学前缘, 2008, 22(6):984–989.
Jin Lixin, Hou Qingye, Yang Zhongfang, et al. Environmental health risk assessment of heavy metals in argo-ecosystems of Deyang district, Sichuan Province[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5): 047–056(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘应平, 何政伟, 阚泽中, 等. 土地质量地球化学分等顶级方法技术探讨[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 6:308–315.
Liu Yingping, He Zhengwei, Kan Zezhong, et al. Research on the technology of land quality classification by geochemistry [J]. Journal of Chengdu University of Technology:Sci & Technol., 2010, 6: 308–315(in Chinese with English abstract).
- [8] 施泽明, 倪师军, 等. 不同粒径近地表大气尘元素分配规律研究——以成都经济区为例[J]. 生态环境, 2007, 6:1590–1596.
Shi Zeming, Ni Shijun, et al. Element distribution rule of air dust near the Ground in particle Sizes:A Case Study of Chengdu Economic Region[J]. Ecology and Enviroment, 2007, 6:1590–1596 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘爱华. 土壤环境中 As、Cd、Hg、Pb 地球化学背景及通量研究 [D]. 北京:中国地质大学, 2005:81–83.
Liu Aihua. Research on Geochemical Background and flux for Arsenic, Cadmium, Mercury and Lead in soil Environment [D]. Beijing:China University of Geosciences, 2005:81–83 (in Chinese with English abstract).

A study of the spatial distribution and genesis of Cd in soil of Chengdu plain

LIU Ying-ping^{1,2}, YU Cheng-yan²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Sichuan Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Based on sample collection and laboratory analysis, this paper studied the distribution features and genesis of Cd in soil of high content areas in Chengdu plain lying in the alluvium of Mianyuan River and Shiting River basin. The high content areas of Cd are distributed in alluvium of Terrace 1 and 2, and gradually decrease from Terrace 3 to Terrace 5. The content of Cd in alluvium along the two rivers developed in the Longmeng Mountain is remarkably higher than that of other water systems. The feature that the high content areas of Cd are consistent with different terraces indicate evidently that the evolution of geological processes served as a controlling factor. This conclusion is radically different from the opinion of most investigators that it resulted from human factors.

Key words: topsoil; Cd; spatial distribution; alluvial fan; Chengdu plain

About the first author: LIU Ying-ping, male, born in 1967, doctor, senior engineer; engages in the research of applied geochemistry; E-mail: ypldxm@163.com.