

# 株洲市白马乡土壤和农作物重金属污染评价

刘扬林<sup>1</sup> 蒋新元<sup>2</sup>

(1 长沙环保职业技术学院 长沙 410000; 2 中南林学院 湖南株洲 412006)

**摘要** 本文对株洲市白马乡土壤及其农作物中重金属含量进行了调查并对其污染进行了评价。结果表明:该乡土壤和作物均受到了不同程度的重金属污染,土壤达不到土壤环境质量二级标准要求,作物达不到食品卫生标准要求,土壤重金属污染因子主要为 Cd,作物中主要重金属污染因子为 Cd、Pb。附近清水塘工业区排放的大气污染物重金属尘是造成白马乡土壤和作物重金属污染的主要因素。不同测点土壤和作物污染程度差别极大,主要和各测点与最大重金属尘污染源距离的远近、方位及风向有关。

**关键词** 土壤;农作物;重金属;污染;评价

中图分类号 X82

株洲市清水塘工业区位于株洲市老城区西北部,是 20 世纪 50 年代中后期开始建立起来的以冶金、化工、建材为主导产业的工业生产区,随着工业生产的发展,工业“三废”对环境的污染也日趋严重,至 20 世纪 70 年代中期,清水塘工业区对环境的污染达到高峰程度,尤以大气污染和重金属污染最为突出,成为全国环境污染严重的地区之一。此后,清水塘工业区加强了环境污染综合防治,在工业生产不断发展的同时,污染防治取得了一定成效。

目前,清水塘工业区有大小工厂 70 余家,该工业区产品品种多达 90 余种,主要为化工和冶金产品,如 Pb、Cu、Zn、Ta、Nb 制品、尿素、复合肥、硫酸铵、氯化铵、保险粉、玻璃、水泥等,工业总产值占全市的 40%。在进行工业生产的同时,也产生大量的废物,据统计,清水塘工业区排入大气的污染物主要有 20 多种,其中年排放量较大的主要为 SO<sub>2</sub>、烟尘、粉尘、NO<sub>x</sub> 和 CO,均在数千吨以上。区域内龙头企业某冶炼集团和某化工集团,既是区内支柱企业,也是污染物排放大户,区域重金属烟尘主要来自该冶炼集团和化工集团及某乡镇冶炼厂。清水塘工业区工业废水总量的 90% 以上排入区域内的霞湾港再排入湘江,霞湾港污水成份极为复杂,呈现重金属和有机污染物共存的复合污染特征,霞湾港水系是周围土地灌溉的主要来源。清水塘工业区工业废渣主要为某冶炼集团的冶炼废渣,渣场未作防渗处理,渣场渗流水中 Zn、Cd、Pb、Cu、As、F 等都有检出。除工业“三废”对土壤和作物

造成的污染外,作物生长过程中农药、肥料的使用也会对土壤和作物造成一定的污染。

株洲市白马乡位于清水塘工业区外围,西、北二面山峰林立,南临湘江,其东、西、南三面与工业区毗邻,环抱清水塘工业区,部分农田甚至位于清水塘工业区腹地。土壤主要是红壤,还有黄壤、砂红壤、紫色土、锥冠土等。白马乡现辖 15 村,总人口 17800 人,2001 年末,全乡耕地面积 613 hm<sup>2</sup>,经济结构以农业种植为主,主要种植水稻和蔬菜,受城市辐射的影响,处于清水塘工业区内及外围边缘地带范围内的 6 个村以种植蔬菜为主,占全乡蔬菜种植面积的 45.7%,水稻种植面积仅占全乡的 8.28%。长期以来,受清水塘工业区“三废”排放特别是大气污染物排放影响,境内生态环境受到较大程度的损害,尤其是一些难降解的重金属等污染物在作物内积累,影响了作物的产量和质量,严重的环境问题已成为制约白马乡农业发展的重要因素。

## 1 研究方法

### 1.1 监测范围

清水塘工业区最大的重金属尘污染源为某冶炼集团 133m 高烟囱,其重金属尘最大落地浓度与烟囱的距离可用《环境影响评价技术导则》<sup>[1]</sup>中大气扩散模式求出,结果见表 1。结果表明:白马乡全境均在 133m 烟囱影响范围内。考虑到逆温因素和该冶炼集团内其他排气筒的因素,污染影响以近距离为最大,随着距离加大而逐渐减小。

表 1 某冶炼集团 133m 高烟囱最大落地距离 (m)

Table 1 Maximum falling distance of the chimney, 133m in height, in a Smeltery

气象条件	大气稳定度		
	B	C	D
平均风速	683	949	1740
危险风速	746	4188	7750

## 1.2 测点布设

在调查区域内作 1000 m × 1000 m 网格, 每个网

表 2 监测点情况

Table 2 Distribution of monitoring sites

编号	测点名	方位	距离(m)	编号	测点名	方位	距离 (m)
1	泥湾里	南南东	2200	10	石塘组	北	1000
2	乌龟塘	南	2200	11	翁家老屋	东	3200
3	槽门屋场	南南西	2000	12	白马垅	北	3400
4	荷叶塘	西南	3500	13	荷花村	东北	3500
5	新屋湾	西南	2500	14	小寺塘	西北	5200
6	杨家坝	西	1200	15	新塘冲	北北西	6100
7	长塘	西西北	2200	16	苦竹坡	北	6500
8	枞树组	西北	500	17	下曹家冲	东北	5800
9	815 油库西	西北	3200		西塘对照点 (区域外)	东北	9000

## 1.3 样品的采集<sup>[2, 3]</sup>

土壤: 每个测点按对角线法, 采取 0 ~ 20 cm 表层土样品 1kg 左右, 放室内自然风干, 弃去土壤中的杂质, 压碎、碾细, 过 100 目尼龙筛, 装瓶、密封备测。

作物: 与土壤监测同步, 即取土壤监测点上所种植的作物 (稻谷或蔬菜) 为分析样本。蔬菜以包菜外层老叶为代表, 稻谷以退壳的晚稻米为代表, 每个点均按对角线法采集蔬菜 2 ~ 3 kg 左右, 稻谷 1 kg 左右。各种蔬菜样品冲洗干净后, 经自然风干, 置于烘箱中 105 杀青 30 min, 65 ~ 70 烘 24 h 左右, 碾碎、磨细, 过 100 目尼龙筛, 装瓶、密封备测。将采集的稻谷洗净自然风干后退壳, 制备糙米, 压碎、磨细, 过 100 目尼龙筛, 装瓶、密封备测。作物样品测定结果以鲜重来计算。

## 1.4 监测项目

依据区域污染源调查结果, 监测项目确定为 pH、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 共 7 项。

## 1.5 分析方法

土壤和作物样品分析均按照国家标准分析方法<sup>[4]</sup>进行。

## 1.6 土壤和作物污染状况评价方法与评价标准

### 1.6.1 评价方法<sup>[5]</sup> 土壤和作物环境质量分别

格代表 1km<sup>2</sup>, 监测点布设在网格中心处, 每个网格最多只能布设 1 个测点, 重点区域内监测点可以适当多取, 远离清水塘工业区的外围区域, 则监测点位布设较少。

调查区域共布设监测点 17 个, 点位情况见表 2, 其中距离和方位均以工业区最大的重金属尘污染源某冶炼集团 133 m 高烟囱为参照。另取调查区域东北面的西塘 (9000 m 远) 为土壤监测对照点, 作物监测对照点白关则位于株洲市某水库风景区。

采用单项污染指数和综合污染指数进行评价。

(1) 单项污染指数法: 单项污染指数法评价模式为:

$$P_i = C_i/S_i$$

式中:  $P_i$  为某测点土壤或作物中污染物  $i$  的单项污染指数;  $C_i$  为某测点土壤或作物中污染物  $i$  的实测值;  $S_i$  为污染物  $i$  的评价标准。

$P_i < 1$  表示未受污染物  $i$  的污染;  $1 < P_i < 2$ , 轻度污染;  $2 < P_i < 3$ , 中度污染;  $P_i > 3$ , 重污染。其值越大, 污染越严重。

(2) 综合污染指数法: 采用综合污染指数法 (尼梅罗污染指数法) 进行各测点多因子综合评价, 评价模式为:

$$P_{综} = \sqrt{\frac{(P_{imax})^2 + (\bar{P}_i)^2}{2}}$$

式中:  $P_{综}$  为某测点土壤或作物综合污染指数;  $P_{imax}$  为污染物中最大污染指数;  $\bar{P}_i$  为土壤或作物各污染指数平均值。 $\bar{P}_i$  计算方法为:  $\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$

$P_{综} < 1$  表示某测点未受污染,  $1 < P_{综} < 2$ , 轻度污染;  $2 < P_{综} < 3$ , 中度污染;  $P_{综} > 3$ , 重污染。其值越大, 污染越严重。

### 1.6.2 评价标准 采用 GB15618-1995《土壤环

境质量标准》<sup>[6]</sup> 二级标准值作为土壤污染评价标准 标准（蔬菜）和国家食品卫生标准（粮食），进行进行单项和综合污染指数评价。根据国家食品卫生 包菜和大米的单项和综合污染指数评价（表 3）。

表 3 评价标准 (mg/kg)  
Table 3 Evaluation standards (mg/kg)

标准		Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
土壤环境质量二级标准	pH<6.5	50	250	200	0.30	0.30	30 (水田)/40 (旱地)
	6.5 pH 7.5	100	300	250	0.30	0.50	25 (水田)/30 (旱地)
	pH > 7.5	100	350	300	0.6	1.0	20 (水田)/25 (旱地)
国家食品卫生标准	蔬菜	10	0.2	20	0.05	0.01	0.5
	粮食	10	0.4	50	0.2	0.2	0.7

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤中重金属元素分析监测结果与污染评价

#### 2.1.1 土壤样品重金属元素分析监测结果

土壤样品重金属元素分析监测结果见表 4。

表 4 各测点土壤中重金属元素监测结果 (mg/kg)  
Table 4 Results of the monitoring of heavy metals in soil

编号	测点名	土壤类型	pH	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
1	泥湾里	菜土	6.94	78.0	608.7	781.9	35.8	1.34	51.2
2	乌龟塘	菜土	6.75	103.3	456.1	887.1	17.0	2.26	48.3
3	槽门屋场	稻田	6.28	59.0	467.4	1055.6	10.2	0.96	31.4
4	荷叶塘	菜土	4.01	94.8	226.7	461.9	4.9	0.50	15.8
5	新屋湾	稻田	5.53	81.9	338.6	1057.4	6.1	1.17	20.1
6	杨家坝	稻田	5.38	65.5	354.5	599.6	8.4	1.25	19.3
7	长塘	稻田	4.95	62.4	293.8	824.1	7.4	1.13	19.1
8	枞树组	菜土	7.6	159.6	1061.6	1834.3	39.3	3.27	48.8
9	815 油库西	稻田	5.41	53.3	266.6	457.2	6.3	0.77	20.8
10	石塘组	菜土	6.80	89.1	629.3	1273.0	24.6	1.30	25.5
11	翁家老屋	菜土	7.00	79.3	110.5	197.4	3.3	0.23	20.6
12	白马垅	菜土	5.85	85.3	313.2	502.3	13.9	0.80	23.3
13	荷花村	菜土	6.92	55.7	113.9	260.6	2.6	0.19	16.9
14	小寺塘	稻田	5.52	56.0	230.2	383.5	8.7	0.52	21.8
15	新塘冲	稻田	5.16	51.7	151.9	220.0	2.5	0.44	20.4
16	苦竹坡	稻田	5.04	44.9	90.7	130.6	1.7	0.65	9.5
17	下曹家冲	稻田	4.87	49.2	72.6	112.4	1.4	0.45	8.6
	西塘对照点	菜土	5.40	29.4	54.2	110.2	0.4	0.22	21.9

2.1.2 土壤环境质量的评价 根据土壤环境质量评价方法和评价标准，分别计算得到  $P_i$  和  $P_{综}$ ，见表 5。

由表 5 可知，调查区域内样品中重金属元素 Cu 的  $P_i$  范围 0.56 ~ 1.90，17 个测点样品中有 6 个样品未受到 Cu 的污染，11 个样品受到轻度污染；Pb 的  $P_i$  范围 0.29 ~ 3.03，17 个样品中有 7 个样品受到 Pb 的轻度污染，2 个样品受到中度污染，1 个样品受到重污染；Zn 的  $P_i$  范围 0.56 ~ 6.11，17 个样品中有 3 个样品受到 Zn 的轻度污染，有 4 个样品受到 Zn 的中度污染，有 7 个样品受到 Zn 的重污染；Cd 的  $P_i$

范围 4.67 ~ 119.34，全部样品均受到 Cd 的重污染，最高浓度达土壤二级标准值的 119.34 倍；Hg 的  $P_i$  范围 0.38 ~ 4.52，17 个样品中只有 2 个样品未受到 Hg 污染，有 4 个样品受到 Hg 的轻度污染，6 个样品为中度污染，5 个样品为重污染。As 的  $P_i$  范围 0.29 ~ 1.95，17 个样品中有 13 个未受到 As 的污染，只有 4 个样品受到 As 的轻度污染。区域外对照点样品中只有 Cd 的  $P_i$  为 1.33，其余重金属元素的  $P_i < 1$ ，说明区域外样品只受到 Cd 的轻度污染。区域内所测土壤样品 6 种重金属元素中，Cd 污染最严重，是主要污染因子，其次为 Zn、Hg、Pb、Cu、As。

表 5 白马乡土壤重金属污染评价  
Table 5 Evaluation of heavy metal pollution of the soils

编号	测点名	$P_i$						$P_{综}$	从劣到优 排序
		Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As		
1	泥湾里	0.78	2.03	3.13	119.34	2.68	1.71	85.76	1
2	乌龟塘	1.03	1.52	3.55	56.66	4.52	1.61	40.88	3
3	槽门屋场	1.18	1.87	5.28	34.00	3.20	1.05	24.66	6
4	荷叶塘	1.90	0.91	2.31	16.33	1.67	0.40	11.88	12
5	新屋湾	1.64	1.35	5.29	20.33	3.90	0.67	14.90	11
6	杨家坝	1.31	1.42	3.00	28.00	4.17	0.64	20.31	8
7	长塘	1.25	1.18	4.12	24.67	3.77	0.64	17.94	9
8	枞树组	1.60	3.03	6.11	65.5	3.27	1.95	28.54	5
9	815 油库西	1.07	1.07	2.29	21.00	2.57	0.69	15.23	10
10	石塘组	0.89	2.10	5.09	82.00	2.60	0.85	59.02	2
11	翁家老屋	0.79	0.37	0.79	11.0	0.46	0.69	7.95	13
12	白马垅	1.71	1.25	2.51	46.33	2.67	0.58	33.40	4
13	荷花村	0.56	0.38	1.04	8.66	0.38	0.56	6.27	14
14	小寺塘	1.12	0.92	1.92	29.00	1.73	0.73	20.93	7
15	新塘冲	1.03	0.61	1.10	8.33	1.47	0.68	6.09	15
16	苦竹坡	0.90	0.36	0.65	5.67	2.17	0.32	4.18	16
17	下曹家冲	0.98	0.29	0.56	4.67	1.50	0.29	3.44	17
	平均	1.16	1.22	2.87	24.50	2.51	0.83		
	西塘对照点	0.59	0.22	0.55	1.33	0.73	0.55	1.05	18

区域内 17 个土壤样品综合污染指数  $P_{综}$  范围为 3.44~85.76, 区域外对照点的  $P_{综}$  为 1.05, 说明区域内全部测点样品均受到重金属的重污染, 大大高于调查区域外对照点西塘的综合污染指数, 而区域外对照点只受到很轻微的污染。由此可见, 区域内全部土壤测点均达不到土壤环境质量二级标准要求, 区域内土壤重金属污染主要来源于清水塘工业区。

区域内各测点样品综合污染指数  $P_{综}$  相差悬殊, 表明各测点土壤污染差别极大, 按综合污染指数  $P_{综}$  从大到小排列, 区域内各测点重金属污染顺序为: 1# > 10# > 2# > 12# > 8# > 3# > 14# > 6# > 7# > 9# > 5# > 4# > 11# > 13# > 15# > 16# > 17#。不同测点土壤重金属污染状况的差别主要和各测点与最大重金属尘污染源的距离、方位及风向密切相关。污染严重的测点如 1#、10#、8# 与主要污染源距离近, 而 2#、12# 位于主要污染源的夏季、冬季主导风向处。污染较轻的 5 个测点 11#、13#、15#、16#、17# 则位于最大重金属尘污染源的非主导风向处, 或与之距离较远。

## 2.2 作物中重金属元素监测结果与评价

2.2.1 作物样品重金属元素监测结果 从上述土壤中重金属测定结果可知, 区域内各测点土壤受

到了不同程度的重金属污染。有研究结果<sup>[7,8]</sup>显示, 土壤的污染将导致所种植的作物受到不同程度的污染。各测点作物样品重金属元素监测结果(蔬菜以鲜重来计算)见表 6。

3.2.2 作物环境质量的评价 根据作物环境质量评价方法和评价标准, 分别计算得到  $P_i$  和  $P_{综}$ , 见表 7。

(1) 包菜: 从表 7 可知, 7 个测点包菜样品的重金属元素只有 Cu 的  $P_i < 1$ , 表明区域内包菜样品未受到 Cu 的污染。其余 5 项重金属元素 Pb、Zn、Cd、Hg、As 的  $P_i$  均 > 1, 其中 Pb 的  $P_i$  范围为 121.2 ~ 728.0, Zn 的  $P_i$  范围为 9.92 ~ 53.40, Cd 的  $P_i$  范围为 92.2 ~ 1611.6, Hg 的  $P_i$  范围为 12.00 ~ 63.00, As 的  $P_i$  范围为 6.16 ~ 12.10, 表明区域内所测样品均受到了 Pb、Zn、Cd、Hg、As 的严重污染, 其中 Cd、Pb 的污染最严重, 其次为 Hg、Zn、As。

区域内 7 个测点包菜样品综合污染指数  $P_{综}$  为 90.3 ~ 1174.9, 表明区域内所测包菜样品总体环境质量极差, 重金属污染极严重。7 个测点的包菜样品污染顺序为: 1# > 4# > 10# > 2# > 12# > 11# > 13#。从污染大小分布看, 最大重金属尘污染源附近区域及南北两面冬、夏主导风下风向区域污染较

表6 各测点作物中重金属元素监测结果 (mg/kg)

Table 6 Results of the monitoring of heavy metals in the crops

编号	测点名	作物类型	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
1	泥湾里	包菜	5.33	145.6	273.6	80.6	0.63	5.60
2	乌龟塘	包菜	5.26	37.0	549.0	13.01	0.58	4.44
3	槽门屋场	大米	5.63	2.32	40.2	1.84	0.005	0.54
4	荷叶塘	包菜	6.92	70.8	743.4	16.13	0.23	5.70
5	新屋湾	大米	4.28	1.72	28.9	3.40	0.02	0.85
6	杨家坝	大米	4.10	2.41	32.2	0.59	0.015	0.35
7	长塘	大米	3.68	3.25	45.9	0.80	0.015	0.62
8	枞树组							
9	815 油库西	大米	2.18	2.19	31.3	0.58	0.005	1.00
10	石塘组	包菜	6.24	48.6	1068	13.55	0.20	6.01
11	翁家老屋	包菜	4.02	38.2	296.9	8.28	0.22	5.24
12	白马垅	包菜	4.69	44.4	498.3	8.58	0.26	6.05
13	荷花村	包菜	4.11	24.2	198.3	4.61	0.12	3.08
14	小寺塘	大米	3.51	1.19	37.5	0.97	0.015	0.47
15	新塘冲	大米	4.36	1.65	31.9	0.71	0.005	0.76
16	苦竹坡	大米	3.58	1.56	31.0	0.85	0.005	0.425
17	下曹家冲	大米	4.20	0.54	30.4	1.05	0.005	0.22
	白关对照点	大米	3.23	0.67	17.2	0.2	0.01	0.69
		包菜	4.0	1.59	92.9	1.04	0.06	1.15

重 (如 1#、10#、2#), 其分布规律与土壤污染分布规律基本一致。

白关对照点包菜中重金属元素 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 的  $P_i$  分别为 0.40、7.95、4.62、20.8、6.00、2.30, 表明对照点样品未受到 Cu 的污染, 但 Cd、Pb 的污染较严重, 其次为 Hg、Zn、As。对照点白关包菜样品中重金属元素的  $P_i$  较区域内测点样品对应重金属元素的  $P_i$  均小得多 (其中 Cu 相差不大), 重金属元素综合污染指数  $P_{综}$  为 15.5, 均比区域内 7 个测点包菜样品的综合污染指数小得多。表明区域内所种植的包菜受清水塘工业区的重金属污染影响极为明显, 该区域内所种植的包菜不宜为人或牲畜食用。

(2) 稻谷: 由表 7 可知, 9 个测点大米样品重金属元素 Cu、Zn、Hg 的  $P_i$  均  $< 1$ , 表明区域内的大米样品未受到 Cu、Zn、Hg 的污染。9 个测点大米样品 Pb 的  $P_i$  范围为 1.35~8.12, 表明区域内 9 个测点大米样品均受到一定程度的 Pb 污染, 其中 17# 样品为轻度污染, 14# 样品为中度污染, 其余均为重污染。区域内 9 个测点大米样品中 Cd 的  $P_i$  范

围为 2.90 ~ 17.0, 表明区域内全部大米样品均受到一定程度的 Cd 污染, 其中 6# 与 9# 为中度污染, 其余均为重污染。区域内除 5#、9#、15# 大米样品中 As 的  $P_i$  分别为 1.21、1.43、1.09 外, 其余 6 个测点大米样品中 As 的  $P_i$  均  $< 1$ , 表明区域内 9 个测点中, 除 5#、9# 和 15# 测点的大米样品受到 As 的轻微污染外, 其余 6 个测点的大米样品均未受到 As 的污染。区域内大米样品的主要重金属污染因子为 Cd、Pb, 其次为 As。

区域内 9 个测点大米样品综合污染指数为 3.13 ~ 12.34, 表明区域内所测大米样品总体环境质量较差, 均受到一定程度的重金属污染。9 个测点的大米样品污染顺序为: 5# > 3# > 7# > 9# > 6# > 17# > 14# > 16# > 15#。白关对照点大米样品中除 Pb 的  $P_i = 1.67$  外, 其余重金属元素的  $P_i < 1$ , 其重金属元素综合污染指数为  $P_{综} = 1.29$ , 表明对照点大米样品只受到了重金属 Pb 的轻污染。可知区域内所种植的粮食所受的重金属污染主要来自清水塘工业区的污染排放, 该区域内所种植的大米不宜为人或牲畜食用。

表 7 白马乡作物重金属污染评价  
Table 7 Evaluation of heavy metal pollution of the crops

类型	编号	测点名	$P_i$						$P_{\#}$	从劣到 优排序
			Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As		
包菜	1	泥湾里	0.53	728.0	13.68	1611.6	63.00	11.20	1174.9	1
	2	乌龟塘	0.53	185.1	27.45	260.2	58.00	8.88	194.7	4
	4	荷叶塘	0.69	354.2	37.17	322.6	23.00	11.40	265.6	2
	10	石塘组	0.62	243.0	53.40	271.0	20.00	12.02	204.3	3
	11	翁家老屋	0.40	191.2	14.85	165.6	22.00	10.48	143.4	6
	12	白马垅	0.47	222.2	24.92	171.6	26.00	12.10	166.1	5
	13	荷花村	0.41	121.2	9.92	92.2	12.00	6.16	90.3	7
			白关对照点	0.40	7.95	4.65	20.8	6.00	2.30	15.5
大米	3	槽门屋场	0.56	5.80	0.80	9.20	0.025	0.77	6.81	2
	5	新屋湾	0.43	4.30	0.58	17.00	0.10	1.21	12.34	1
	6	杨家坝	0.41	6.02	0.64	2.95	0.075	0.50	4.44	5
	7	长塘	0.37	8.12	0.92	4.00	0.075	0.89	5.99	3
	9	815 油库西	0.22	5.47	0.63	2.90	0.025	1.43	5.75	4
	14	小寺塘	0.35	2.97	0.75	4.85	0.075	0.67	3.61	7
	15	新塘冲	0.44	4.12	0.64	3.55	0.025	1.09	3.13	9
	16	苦竹坡	0.36	3.90	0.62	4.25	0.025	0.61	3.22	8
	17	下曹家冲	0.42	1.35	0.61	5.25	0.025	0.31	3.83	6
		白关对照点	0.32	1.67	0.34	1.00	0.05	0.99	1.29	10

### 3 结 论

综合上述评价结果,可以得出如下结论:

(1) 白马乡全境土壤均不同程度地受到了重金属污染,达不到土壤环境质量二级标准要求。Cd 污染最严重,是主要污染因子,其次为 Zn、Hg、Pb、Cu、As。

(2) 白马乡包菜中主要重金属污染因子为 Cd、Pb,其次为 Hg、Zn、As,其含量均远远超过国家食品卫生标准(蔬菜);大米中主要重金属污染因子为 Cd、Pb,其次为 As,也达不到国家食品卫生标准(粮食)要求。

(3) 白马乡土壤、包菜、大米中主要重金属污染物含量显著高于对照点含量,表明白马乡土壤和作物受清水塘工业区污染影响很大。清水塘工业区排放的大气污染物重金属尘是造成白马乡土壤和作物污染的主要原因。

(4) 白马乡不同测点土壤和作物重金属污染状况差别极大,主要和各测点与最大重金属尘污染源的距离、方位及风向密切相关。

### 参考文献

- 1 国家环境保护局. 环境影响评价技术导则. 北京: 中国环境科学出版社, 1993
- 2 阁伍玖, 吕成文, 陈飞星. 芜湖城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究. 土壤学报, 2000, 37 (1): 136 ~ 141
- 3 李其林, 黄昀, 赵中金, 骆东奇. 重庆市蔬菜基地土壤重金属含量情况. 土壤, 2001, 33 (3): 159 ~ 162
- 4 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1986: 300 ~ 354
- 5 林玉锁, 张孝飞, 窦文倩, 杨建海, 石利利. 徐州地区主要农产品生产基地土壤环境质量评价. 农村生态环境, 2003, 19(1): 60 ~ 63
- 6 葛晓光, 张智敏. 绿色蔬菜生产. 北京: 中国农业出版社, 1997
- 7 Tu C, Zheng CR, Chen HM. Effect of heavy metal pollution on potassium behavior in typic udic ferrisol. Pedosphere, 2000, 10 (1): 21 ~ 30
- 8 Chen HM, Zheng CR, Wang SQ, Tu C. Combined pollution and pollution index of heavy metals in red soil. Pedosphere, 2000, 10 (2): 117 ~ 124

(下转第 564 页)

质地一般为中壤土类至中粘土类。

#### 参考文献

- 1 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978, 132 ~ 135, 146 ~ 148, 196 ~ 200, 500 ~ 502
- 2 南京农学院主编. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1980, 99 ~ 100
- 3 祝寿泉, 张粹雯. 红树林与酸性硫酸盐土. 见: 范航清, 梁士楚主编, 中国红树林研究与管理. 北京: 科学出版社, 1995, 6~11
- 4 何金海. 广东省海涂土壤资源及其开发利用. 广东土壤通讯, 1986, (2): 11 ~ 12
- 5 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分. 北京: 科学出版社, 1982, 148 ~ 150
- 6 刘振乾, 王建武, 骆世明, 区美美, 黎华寿. 酸性硫酸盐土酸消长的水动力机制研究. 土壤学报, 2002, 39 (5): 726 ~ 733
- 7 廖金凤. 海南岛的红树林盐土. 见: 范航清, 梁士楚主编, 中国红树林研究与管理. 北京: 科学出版社, 1995, 1 ~ 5

## PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF MANGROVE SOLOCHAK IN LEIZHOU PENINSULA

LIAO Jin-feng

(*Department of Geography, Zhongshan University, Guangzhou 510275*)

**Abstract** Mangrove solochak is a special type of soil under mangrove vegetation. Soil pH value varies from 3.08 to 5.98 with the soil layer in the mangrove solochak in Leizhou Peninsula, but often below 4. The average content of organic matter in the soil is 24.1g/kg. There's no certain rule for distribution of organic matter in the soil profile. The cation exchange capacity in the soil ranges from 3.83cmol/kg to 14.53 cmol/kg, averaging 6.94 cmol/kg. The content of soluble salt varies from 7.6g/kg to 42.1g/kg, with an average of 18.4g/kg, showing a downward eluviation trend. The proportion of particles less than 0.01mm is usually more than 200 g/kg in the soil, and the texture of the soil is medium loam to medium clay.

**Key words** Mangrove solochak, Mangrove, Leizhou Peninsula

\*\*\*\*\*

(上接第 556 页)

## EVALUATION OF HEAVY METAL POLLUTION OF SOIL AND CROPS IN BAIMA VILLAGE ZHUZHOU CITY

LIU Yang-lin<sup>1</sup> JIANG Xin-yuan<sup>2</sup>

(1 *Changsha Environmental Protection Professional College, Changsha 410000;*

2 *Central South Forestry University, Zhuzhou, Hunan 412006*)

**Abstract** Content of heavy metals in the soil and crops are analyzed and their pollutions are evaluated. The results indicate that the soil and crops in this village are polluted by heavy metals to a varying extent. The soil fails to meet Grade II standard for soil environmental quality and the crops fall short of the hygienic standard for food. The main polluting factor of the soil is Cd, and of the crops are Cd and Pb. Heavy metal-containing dust from Qingshuitang Industry Zone in the neighborhood is the most important factor that causes the soil and crops polluted in Baima Village. The pollution level of the soil and crops varies from one monitoring spot to another, which is mainly related to variation of the distance and azimuth of the monitoring spots from the pollution source and direction and strength of the wind.

**Key word** Soil, Crop, Heavy metal, Pollution, Evaluation