

广州增城市垃圾填埋场封场土壤及植物重金属调查与评价

王春铭, 高云华, 张登伟, 何秋健, 吕 怡

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘要:对广州增城市简易生活垃圾填埋场封场土壤及植物重金属 Cu、Zn、Cd、Cr、Ni 进行调查及评价。重金属含量采用火焰原子吸收分光光度计测定。结果表明, 填埋场区内封场土壤呈碱性, 场外农业土壤呈酸性, 土壤中 Cd 元素的污染贡献最大。3 号封场土壤 Cu 元素含量、Cd 元素含量超过珠三角土壤背景值, 处于轻污染状态; 场外 5 号土壤处于安全级别, 其余点位土壤属警戒级别。场内主要有 4 种本土植物, 分别为芦苇、薇甘菊、三叶鬼针草和芒萁。各植物体内重金属 Zn 含量均最高, Cd 含量最低。

关键词:增城市垃圾填埋场; 土壤; 植物; 重金属; 调查评价

中图分类号: X825 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2013)04-0714-07 doi:10.11654/jaes.2013.04.009

Investigation and Assessment of Heavy Metals in Soil and Plants from a Sealed Landfill in Zengcheng, Guangzhou, China

WANG Chun-ming, GAO Yun-hua, ZHANG Deng-wei, HE Qiu-jian, LÜ Yi

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Heavy metals (including Cu, Zn, Cd, Cr and Ni) in soil and plants from a sealed landfill were investigated and assessed. All the samples were collected from a landfill located in Zengcheng of Guangzhou, and the concentrations of heavy metals were determined by flame atomic absorption spectrophotometry. The results showed that the soil of the landfill was alkaline soil, and the agricultural soil near to the sealed landfill was acidic soil. The soil in this sealed landfill was polluted mainly by Cd element. The bare soil in the 3rd point was polluted slightly by Cu and Cd which exceeds the background value of soil in Pearl River Delta. The agricultural soil in the 5th point was in a safe state, while the soil in other points was in alert state. Besides, there were four kinds of native plant in the sealed landfill, which are *Phragmites*, *Dicranopteris*, *Bidens pilosa*, *Mikania micrantha*. In each plant, among five elements, the concentration of Zn was highest, and that of Cd was lowest.

Keywords: Zengcheng landfill; soil; plant; heavy metal; investigation and assessment

目前, 填埋处理在我国城市生活垃圾处理中所占的比重最大。对于已经达到库容的垃圾填埋场, 在其表层覆土并种植植物进行生态恢复, 不但能降低污染, 实现可持续利用土地资源, 还能为居民提供全新优美的景观和游憩空间^[1]。垃圾填埋场的植被重建即植被恢复的重要性是不言而喻的, 研究垃圾填埋场植被特征和土壤特性对于封场绿化具有参考价值。

我国有相当数量的生活垃圾填埋场属于简易填埋场, 不能完全达到卫生填埋场的技术标准^[2]。为了确定简易生活垃圾填埋场的封场土壤环境质量及植被

现状, 有必要对其进行调查评价^[3-4]。本文选取珠江三角洲典型小城镇——广州增城市的简易生活垃圾填埋场作为研究对象。该垃圾填埋场位于增城市中部地区, 距离市区约 15 km, 共分两个填埋区, 其中 1 号填埋区已封场, 2 号填埋区为作业区。本研究针对 1 号填埋区封场土壤的肥力状况、重金属含量, 及本土植物重金属含量进行了调查分析, 为该填埋场开展生态修复时进行封场植物科学选型提供参考数据, 同时为政府部门制定填埋场植被恢复技术标准提供依据, 对于确保填埋场最大限度地安全再利用, 促进环境管理及环境修复工作具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集与预处理

2011 年 1 月至 12 月到广州增城市简易生活垃

收稿日期: 2012-09-12

基金项目: 华南农业大学资源环境学院院长基金项目(ZHXY2010A001)

作者简介: 王春铭(1975—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为固体废物处理处置、环境规划评价与认证。

E-mail: mirian88@126.com

垃圾填埋场进行现场调查,每两个月采集一次样品。根据《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004),结合填埋场区的实际情况,在已封场的1号填埋区及周边环境共布设6个采样单元,具体位置见图1。1号至4号采样单元布设在已封场的1号填埋区,其中1号、2号采样单元有本土植物生长,3号、4号采样单元为裸土。5号采样单元布设在距场外约600 m的稻田土壤中,6号采样单元为5号采样单元附近的荔枝园土壤。每个采样单元设3个采样点,在距地表40~50 cm处取土,装入干净的聚乙烯(PE)袋中并编号。

1.2 样品分析测试方法

土壤样品经自然风干后,拣除植物碎片、石子等杂物,经研钵磨碎,部分土壤过60目筛,测定干基含水率、pH值;另取部分土壤过100目筛,测定重金属元素Cu、Zn、Cd、Cr、Ni含量及有效氮、有效磷、有机质。每份样品做3个平行样。

土壤化学性质测定方法:土壤含水率采用烘干法测定;土壤pH值采用酸度计测定;土壤重金属Cu、Zn、Cd、Cr、Ni含量分别根据《土壤质量铜、锌的测定火焰原子吸收分光光度法》(GB/T 17138—1997)、《土壤总铬的测定火焰原子吸收分光光度法》(HJ 491—2009)、《土壤质量铅、镉的测定》(GB/T 17141—1997)、《土壤质量镍的测定火焰原子吸收分光光度法》(GB/T 17139—1997),采用盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸全分解方法,经火焰原子吸收分光光度计测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;土

壤有效氮用碱解扩散法测定;土壤有效磷采用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 法测定。

植物含水率采用烘干法测定。植物重金属的测定方法是:将植物剪开茎叶和根部后,分别采用《土壤农化分析》中干灰法处理,再用火焰原子吸收分光光度计测定植物茎叶和根部的Zn、Cd、Cu、Cr、Ni含量^[5]。其中薇甘菊因根部细小,难以与茎叶分开,故取整株进行重金属的测定。

1.3 土壤环境质量评价标准与方法

1.3.1 土壤环境质量评价标准

采用珠三角地区土壤重金属背景值作为土壤环境质量评价标准^[6-8]。

1.3.2 土壤重金属评价方法

分别采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法进行土壤重金属污染评价。根据农业部行业标准《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000)的分级方法,按内梅罗污染指数划定污染等级^[9]。

1.3.3 土壤肥力评价

综合有机质、有效氮、有效磷测定值,采用广州市地方性技术规范《园林种植土》(DB 440100/T 106—2006)中通用种植土标准进行土壤养分分级^[10-13]。

1.3.4 植物对重金属的富集能力

植物对重金属的富集能力用生物浓缩系数、生物富集系数和生物转移系数表示^[14-16]。3种系数计算公式如下:

$$\text{植物生物浓缩系数} = C_{\text{植}} / C_{\text{背}} \quad (1)$$

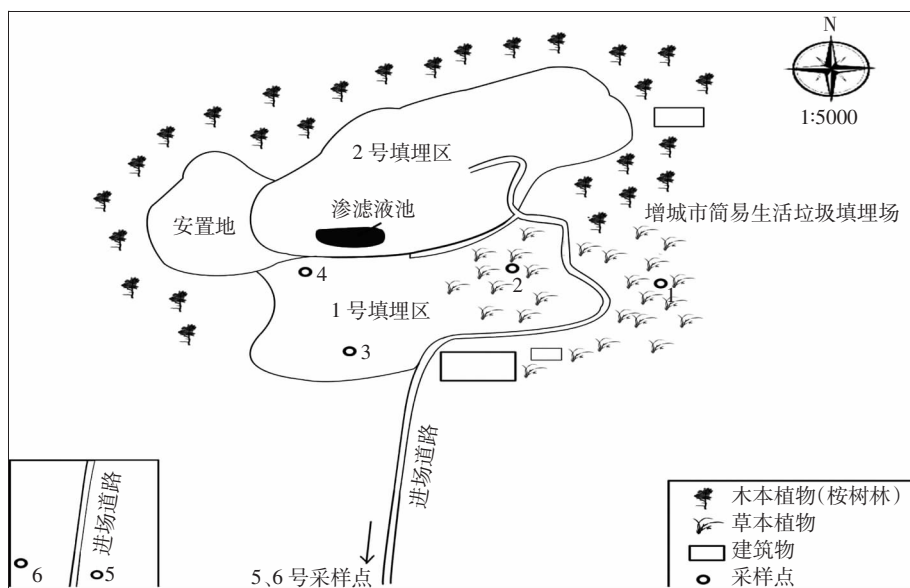


图1 土壤和植物采样点位分布

Figure 1 Distribution of soil and plant monitoring sites

式中: $C_{植i}$ 为植物体内*i*金属元素含量; $C_{背i}$ 为珠三角土壤*i*金属元素的背景值。

生物富集系数= $C_{植i}/C_{土i}$ (2)

式中: $C_{植i}$ 为植物体内*i*金属元素含量; $C_{土i}$ 为土壤样品中*i*金属元素含量。

生物转移系数= $C_{上i}/C_{根i}$ (3)

式中: $C_{上i}$ 为植物地上部分*i*金属元素含量; $C_{根i}$ 为植物根部*i*金属元素含量。

2 结果与分析

2.1 土壤

2.1.1 土壤含水率及土壤肥力

经测定,1 号至 4 号采样点位的土壤含水率及土壤肥力如表 1 所示。

2.1.2 土壤肥力评价

由《园林种植土》(DB440100/T 106—2006)通用种植土标准和表 1 测值可知,1 号土壤有机质符合一级种植土标准,2 号土壤有机质符合二级种植土标准,3 号、4 号土壤有机质低于二级种植土标准。全部土壤样品的有效氮含量均远超一级种植土标准。全部土壤样品的有效磷含量均低于二级种植土标准。

2.1.3 土壤 pH 值

土壤 pH 值如图 2 所示。垃圾场内 1 号至 4 号封场土壤呈碱性;场外 5 号、6 号农田土壤呈酸性。

2.1.4 土壤重金属

各点位土壤重金属含量如图 3 所示。土壤样品 Cu 元素含量除 3 号点超过珠三角背景值外,其余各点均低于背景值。场区内 1~4 号封场土壤中除 2 号土壤 Cd 元素含量未超过珠三角土壤背景值外,其余点位土壤 Cd 元素含量均超过背景值;场外 5~6 号土壤 Cd 元素含量则低于背景值。土壤样品中 Zn 元素、Cr 元素、Ni 元素含量均低于珠三角土壤背景值。

2.1.5 土壤重金属环境质量评价

将上述 5 种土壤重金属按照单因子污染指数法

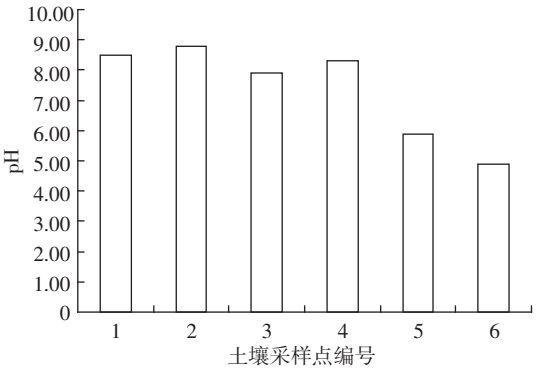


图 2 不同采样点土壤 pH 值比较
Figure 2 pH of soil samples

和内梅罗综合污染指数法,依据珠三角地区土壤重金属背景值进行评价,评价结果见表 2。由表 2 可知,土壤重金属污染贡献依次为: Cd>Cu>Zn>Ni>Cr。1、3、4 点位中 Cd 元素单因子指数大于 1。1~6 点位 Cd 元素单因子指数平均值 $P_{Cd平}=1.056$,处于 1~2 之间,表示土壤受 Cd 元素轻微污染。

对土壤环境质量进行内梅罗综合污染指数评价,各点位污染情况依次是 3 号>4 号>1 号>2 号>6 号>5 号。其中,3 号点位内梅罗综合污染指数 $P_{1综}=1.110$,处于 1.0~2.0 之间,属轻污染级别;5 号点位 $P_{5综}=0.617$,小于 0.7,处于安全级别;其余点位内梅罗综合污染指数 $P_{综}$ 处于 0.7~1.0 之间,属警戒级别。

2.2 植物

2.2.1 植物种类

经实地调查,填埋场内生长的植物中木本植物较少,以草本植物为主,多为禾本科、里白科和菊科,具体见表 3。这些植物均为当地的野生乡土植物,经过气候与土壤环境的长期选择与进化,能够很好适应增城市垃圾填埋场的生态环境。

2.2.2 植物重金属

每种植物茎叶和根部的重金属含量如表 4 所示。芦苇茎叶和根部、三叶鬼针草茎叶和根部、芒萁茎叶

表 1 土壤含水率及土壤肥力
Table 1 The moisture content and the fertility of soil

采样点位	含水率/%	有机质含量/g·kg ⁻¹	有效氮含量/mg·kg ⁻¹	有效磷含量/mg·kg ⁻¹
1	1.34	26.94	533.28	3.51
2	1.70	23.85	515.39	2.33
3	0.69	13.57	419.58	1.55
4	0.53	8.87	476.28	2.73
《园林种植土》(DB440100/T 106—2006)	一级种植土标准值	≥24.6	≥90	≥30
	二级种植土标准值	17.6~24.6	54~90	19~30

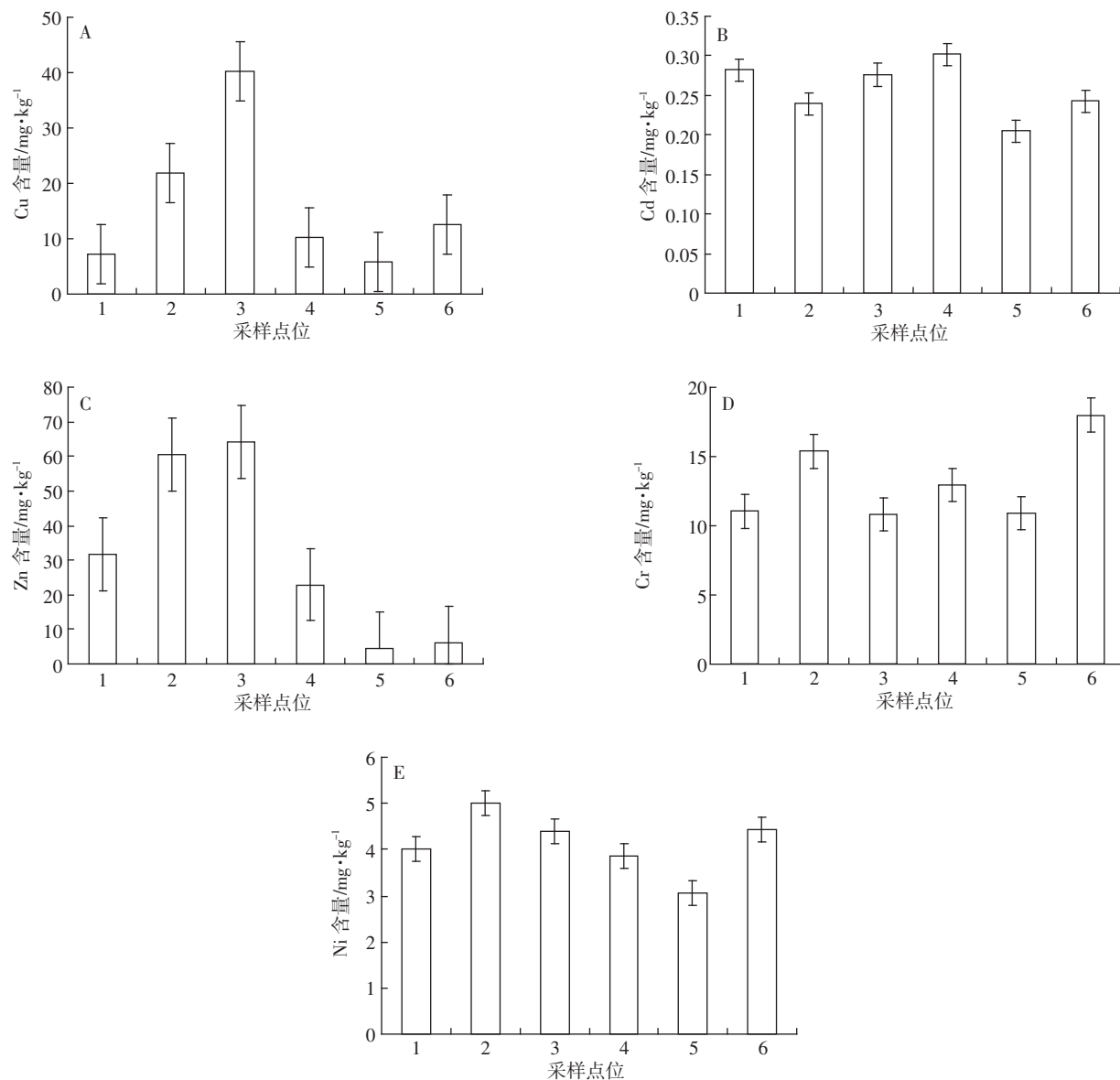


图 A~E 分别为土壤 Cu、Cd、Zn、Cr、Ni 元素含量测值,对应的珠三角土壤背景值分别为 29.1、0.243、86、66.4、14.4 mg·kg⁻¹。

Figure A~E are the content of Cu, Cd, Zn, Cr, Ni in soil. The background value of these heavy metal in the pearl river delta soil are

29.1, 0.243, 86, 66.4, 14.4 mg·kg⁻¹

图 3 土壤样品重金属含量

Figure 3 Content of heavy metal in soil samples

表 2 土壤重金属元素单因子污染指数和内梅罗综合污染指数

Table 2 Single factor pollution indexes and Nemerow comprehensive pollution indexes of heavy metal in soil

单因子污染指数	1 号点 P_1	2 号点 P_2	3 号点 P_3	4 号点 P_4	5 号点 P_5	6 号点 P_6	$P_{\text{平均}}$
Cu	0.246	0.752	1.380	0.349	0.201	0.430	0.560
Zn	0.367	0.702	0.746	0.267	0.054	0.072	0.368
Cd	1.152	0.988	1.152	1.235	0.823	0.988	1.056
Cr	0.166	0.232	0.162	0.195	0.164	0.271	0.198
Ni	0.279	0.347	0.305	0.267	0.213	0.307	0.286
内梅罗综合污染指数 $P_{\text{综}}$	0.872	0.819	1.110	0.933	0.617	0.757	

表 3 优势植被种类
Table 3 Types of advantage vegetation

植物名	拉丁学名	属	科
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	芦苇属	禾本科
芒萁	<i>Dicranopteris dichotoma</i>	芒萁属	里白科
薇甘菊	<i>Mikania micrantha</i>	假泽兰属	菊科
三叶鬼针草	<i>Bidens pilosa</i>	鬼针草属	菊科

中重金属含量依次为:Zn>Cr>Cu>Ni>Cd。芒萁根部和薇甘菊中重金属含量依次为:Zn>Cu>Cr>Ni>Cd。

2.2.3 植物对重金属的富集能力

2.2.3.1 生物浓缩系数

根据公式(1)计算植物对重金属的生物浓缩系数,结果表明所调查的植物生物浓缩系数均小于 1。4 种植物中,薇甘菊对 Cu、Cd、Ni 的浓缩能力最强,生物浓缩系数分别为 0.072 9、0.000 26、0.010 8。芦苇则对 Zn、Cr 的浓缩能力最强,生物浓缩系数分别为 0.285 1、0.135 1。

2.2.3.2 生物富集系数

根据公式(2)计算植物对重金属的生物富集系数。其中,公式(2)中土壤重金属 Cu、Zn、Cr、Cd、Ni 含量分别取 7.175、31.520、11.024、0.282、4.023 mg·kg⁻¹。结果表明,各植物的生物富集系数均小于 1,生物富集能力较差。

2.2.3.3 生物转移系数

根据公式(3)计算芦苇、三叶鬼针草和芒萁对重金属的生物转移系数。结果表明,三叶鬼针草和芒萁中 Cu 的生物转移系数大于 1.0,分别为 1.204 和 1.620,具有一定的 Cu 转移能力。芦苇和三叶鬼针草中 Zn 的生物转移系数大于 1.0,分别为 1.936 和 1.058,具有一定的 Zn 转移能力。芦苇和芒萁中 Cr 的生物转移系数大于 2.0,分别为 2.201 和 2.420,具有较强的 Cr 转移能力。芒萁中 Cd 的生物转移系数达到 8.143,远超出 1.0,

具有明显的 Cd 转运能力。芦苇中 Ni 的生物转移系数大于 1.0,为 1.040,具有一定的 Ni 转移能力;芒萁中 Ni 的生物转移系数为 3.050,具有较强的 Ni 转移能力。

3 讨论

3.1 生活垃圾重金属污染物来源

生活垃圾中的重金属污染物来源于很多方面,如尘土、电池、油漆、涂料和其他电子产品等。在有机垃圾中,纸、布和塑料组分重金属含量占垃圾中重金属总量的 15%~60%^[17-18]。由本研究可知,增城市垃圾填埋场土壤受 Cd 元素轻微污染。其原因可能是现阶段该地区生活垃圾未实行垃圾分类,填埋场中混有电池、电器元件、电镀类工业垃圾、报纸等印刷品,导致 Cd 含量增加^[19-23]。

3.2 土壤环境质量评价

参照珠江三角洲土壤元素背景值,由内梅罗综合污染指数可知,位于裸土的 3 号、4 号点受重金属污染情况最严重,处于轻污染状态。有植物覆盖的 1 号、2 号点位较好,处于尚清洁状态。农业用地中的 5 号、6 号点处于清洁状态。在 1 号和 2 号土壤中,土壤有机质含量处于中等水平,有效氮含量处于丰富级别,有效磷含量不高,植物生长稀疏。可考虑施加一定量的磷肥来增加土壤磷含量,以促进植物生长。3 号和 4 号土壤中有机质、有效磷含量较低,不适于植物生长;除考虑施加磷肥外,还需要增加覆盖堆肥等富含有机质的土壤。

3.3 植物重金属含量情况

目前除蔬菜、粮食作物外,尚未有植物重金属含量的标准限值,因此本文按植物重金属是否属于正常范围进行评价。增城市垃圾填埋场中 4 种植物重金属 Zn 含量均处于正常值范围(1~160 mg·kg⁻¹)。Cu 含量,除了芒萁根部略低于正常值外,其余均处正常值范围(0.4~45.8 mg·kg⁻¹)。Cr 含量,除芒萁茎叶和根部处于正常值范围外(小于 1 mg·kg⁻¹),其余植物均超过正

表 4 各植物茎叶和根部重金属含量(mg·kg⁻¹)
Table 4 Heavy metal content in stem leaf and root of the plant(mg·kg⁻¹)

植物	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni
芦苇茎叶	1.442±0.232 2	24.515±1.499 7	8.972±0.005 5	0.030±0.008 4	0.130±0.052 6
芦苇根部	1.838±0.585 7	12.664±3.792 0	4.076±2.942 6	0.043±0.020 7	0.125±0.072 9
三叶鬼针草茎叶	0.855±0.149 5	7.573±0.641 0	1.181±0.258 1	0.039±0.019 7	0.056±0.005 5
三叶鬼针草根部	0.710±0.059 3	7.159±2.718 9	1.997±1.092 3	0.052±0.004 9	0.068±0.005 4
芒萁茎叶	0.575±0.071 6	10.832±1.649 6	0.789±0.213 0	0.057±0.000 3	0.061±0.020 9
芒萁根部	0.355±0.039 5	14.259±0.004 5	0.326±0.005 7	0.007±0.001 6	0.020±0.003 0
薇甘菊	2.122±0.758 0	17.475±0.543 4	1.648±0.244 4	0.062±0.031 7	0.156±0.054 1

常值范围。所有植物 Cd 含量均低于正常值范围($0.08\sim 0.15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。Ni 含量,除芒萁根部低于正常值外,其余植物均在正常值范围($0.05\sim 5.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[24]。

3.4 植物对重金属的生物富集能力

植物生物富集系数大于1,意味着植物地上部分某种重金属含量大于所生长土壤中重金属的浓度,是超富集植物区别于普通植物的一个重要特征。本研究中4种植物的生物富集系数均小于1,且生物浓缩系数小于1,不具备超富集植物的特征。其原因可能与垃圾填埋场土壤里的重金属形态不利于植物根系的吸收,或者植物根际环境不利于填埋土壤重金属的活化有关^[25-27]。因此,进行增城市垃圾填埋场环境修复时可考虑从外部引入富集 Cd 元素的植物,以及在3号点加种富集 Cu 元素的植物^[28-30]。上述研究成果除了为增城市垃圾填埋场在生态修复时进行植物科学选型提供参考数据外,还为政府部门制定填埋场植被恢复技术标准提供依据,对于确保填埋场最大限度地安全再利用,进行环境修复及管理工作起到促进作用。

4 结论

通过调查及评价广州增城市生活垃圾填埋场封场土壤、植物及周边农业土壤中 Cu、Zn、Cd、Cr、Ni 等5种重金属含量和封场土壤肥力,得到以下结论。

(1) 填埋场区内封场土壤为碱性土壤,场外农业土壤为酸性土壤。1号、2号土壤有机质分别符合一级、二级种植土标准,3号、4号土壤有机质低于二级种植土标准。土壤有效氮含量均远超一级种植土标准,有效磷含量均低于二级种植土标准。

(2) 土壤中 Cd 元素的污染贡献最大。3号土壤 Cu 元素含量、Cd 元素含量超过珠三角土壤背景值,处于轻污染状态;5号土壤处于安全级别;其余点位土壤属警戒级别。

(3) 增城生活垃圾填埋场封场土壤中主要有4种植物,分别为芦苇、薇甘菊、三叶鬼针草和芒萁。植物中重金属 Zn 含量最高,Cd 含量最低。

参考文献:

- [1] 茹雷鸣,李 胜,张燕雯,等.垃圾填埋场生态恢复中的植被重建研究[J].安徽农业科学,2008,36(6):2504-2505.
- [2] RU L M, LI S, ZHANG Y W, et al. Research on the vegetation recovery and ecological restoration of landfills[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(6):2504-2505.
- [3] 张记市,孙可伟,苏存荣,等.城市生活垃圾处理前沿动态[J].中国资源综合利用,2004(9):18-22.
- [4] ZHANG J S, SUN K W, SU C R, et al. The advanced development of MSW treatment[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2004(9):18-22.
- [5] 增城市市政管理局.增城市垃圾填埋场整治工程环境影响报告书(简本)[M/OL]. 2009:9-10. <http://www.cn-hw.net/html/sort060/201102/25001.html>.
- [6] Zengcheng Municipal Administration. Environmental impact statement of Zengcheng landfill renovation project (abridged edition)[EB/OL]. 2009:9-10. <http://www.cn-hw.net/html/sort060/201102/25001.html>.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2008:25-38.
- [8] Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis[M]. Third edition. Beijing: China agriculture press, 2008:25-38.
- [9] Li R B, Tan J A, Wang L Z, et al. The fluoride content in the cultivated soil under different geographical condition in China and its relation to endemic floristic[J]. *Geographical Research*, 1985, 4(1):30-41.
- [10] 陈俊坚,张会化,刘鉴明,等.广东省区域地质背景下土壤表层重金属元素空间分布特征及其影响因子分析[J].生态环境学报,2011,20(4):646-651.
- [11] CHEN J J, ZHANG H H, LIU J M, et al. Spatial distributions and controlled factors of heavy metals in surface soils in Guangdong based on the regional geology[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(4):646-651.
- [12] 魏复盛.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990:110-112.
- [13] Wei F S. Soil element background values in China [J]. Beijing:China Environmental Science Press, 1990:110-112.
- [14] 李福燕,李许明,吴鹏飞,等.海南省农用地土壤重金属含量与土壤有机质及pH的相关性[J].土壤,2009,41(1):49-53.
- [15] LI F Y, LI X M, WU P F, et al. Correlation between heavy metal pollution and basic properties of agricultural soils in Hainan Province[J]. *Soils*, 2009, 41(1):49-53.
- [16] 文启孝.土壤有机质研究法[M].北京:农业出版社,1984:1-8.
- [17] Wen Q X. Soil organic matter approach [M]. Beijing: Agriculture Press, 1984:1-8.
- [18] 孙长安,王炜炜,董 磊,等.我国植被恢复对土壤性状影响研究综述[J].长江科学院院报,2008,25(3):6-9.
- [19] SUN C A, WANG W W, DONG L, et al. Review on impact of vegetation restoration on soil properties[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2008, 25(3):6-9.
- [20] Maurice C, Bergman A, Ecke H, et al. Vegetation as a biological indicator for landfill gas emissions. Initial investigations[C]//Proceedings of Sardinia' 95, Fifth International Landfill symposium. S. Margherita di Pula, Italy, 1995:2-6.
- [21] Nagendran R, Selvam A. Phytoremediation and rehabilitation of municipal solid waste landfills and dumpsites: A brief review[J]. *Waste Management*, 2006, 26:1357-1369.

- [14] 杨刚, 伍钧, 唐亚, 等. 铅锌矿业废弃地草本植物重金属耐受性研究[J]. 四川环境, 2006, 25(4): 18-21.
- YANG G, WU J, TANG Y, et al. Tolerance to heavy metals of some herbages in mining wasteland[J]. *Sichuan Environment*, 2006, 25(4): 18-21.
- [15] 余玮, 揭雨成, 邢虎成, 等. 湖南冷水江铋矿区苎麻对重金属的吸收和富集特性[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 91-96.
- SHE W, JIE Y C, XING H C, et al. Uptake and accumulation of heavy metal by Ramie(*Boehmeria nivea*) growing on antimony mining area in Lengshuijiang City of Hunan Province[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1): 91-96.
- [16] 陈三雄, 陈家栋, 谢莉, 等. 广东大宝山矿区植物对重金属的富集特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 216-220.
- CHEN S X, CHEN J D, XIE L, et al. Heavy metal accumulation characteristics of plants in Dabaoshan Mine in Guangdong Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(6): 216-220.
- [17] 郑曼英, 叶晓玫, 曾智, 等. 垃圾各组分中重金属对环境二次污染的贡献值[J]. 环境卫生工程, 2003, 11(1): 31-32.
- ZHENG Man-ying, YE Xiao-mei, ZENG Zhi, et al. Dedictory values of heavy metals in different components of domestic waste to secondary pollution of the environment[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2003, 11(1): 31-32.
- [18] 安晓雯, 杨凤林, 仇春华, 等. 大连市城市生活垃圾填埋场垃圾重金属污染物分析[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2007, 16(3): 206-209.
- AN Xiao-wen, YANG Feng-lin, ZHANG Chun-hua, et al. Analysis on heavy metal pollutants of solid wastes in Dalian municipal landfill[J]. *Journal of the CUN(Natural Sciences Edition)*, 2007, 16(3): 206-209.
- [19] 陈志明, 王玉军, 于森, 等. 某电镀厂附近土壤铬污染及植物富集特征研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 363-368.
- CHEN Z M, WANG Y J, YU M, et al. Investigation for chromium-polluted soil and characteristics of plant accumulation nearby electroplating factory[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(19): 363-368.
- [20] 刘育红. 土壤镉污染的产生及治理方法[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2006, 24(2): 75-79.
- LIU Y H. Soil cadmium pollution generation and management method[J]. *Journal of Qinghai University (Natural Science Edition)*, 2006, 24(2): 75-79.
- [21] 孟宪玺, 张丽萍, 王宗义, 等. 松嫩平原西南部生态环境中的氟[J]. 生态学报, 1988, 8(4): 324-329.
- MENG X X, ZHANG L P, WANG Z Y, et al. Fluring in eco-environment in southwestern of Song-Nen Plan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1988, 8(4): 324-329.
- [22] 李瑞成. 简易生活垃圾填埋场污染的控制[J]. 环境工程, 2010, 28(6): 59-62.
- LI R C. Introduction to pollution control of the uncontrolled MSW landfills[J]. *Environmental Engineering*, 2010, 28(6): 59-62.
- [23] 黄晓军, 孟了. 我国垃圾渗滤液处理现状及存在误区[J]. 给水排水, 2009(10): 36-39.
- HUANG X J, MENG L. Current situation and misunderstanding of waste leachate treatment in China[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2009(10): 36-39.
- [24] 唐世荣. 污染环境植物修复的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 11-15.
- TANG S R. Pollution of the environment phytoremediation principle and method[M]. Beijing: Science Press, 2006: 11-15.
- [25] Baker A J M, Brooks R R, Posse A I, et al. Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa within the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) from Zaïre[J]. *Plant and Soil*, 1993, 73: 377-385.
- [26] 王英辉, 陈学军, 赵艳林, 等. 铅锌矿区土壤重金属污染与优势植物累积特征[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(4): 487-492.
- WANG Y H, CHEN X J, ZHAO Y L, et al. Soil heavy metal pollution and advantage plant accumulation characteristics in lead and zinc mine[J]. *Journal of China University of Mining*, 2007, 36(4): 487-492.
- [27] 周泐. 探索运用景观生态学的方法恢复被破坏土地: 以北京海淀区六里屯垃圾填埋场为例[J]. 山东林业科技, 2007(2): 100-102.
- ZHOU Y. Exploring the method of landscape ecology to restore destroyed land: By the six chariot landfill in Beijing Haidian district as an example[J]. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2007(2): 100-102.
- [28] 蒋满元, 唐玉斌. 垃圾填埋的生态环境问题及治理途径[J]. 城市问题, 2006(7): 76-80.
- JIANG M Y, TANG Y B. Garbage landfill ecological environment problems and treatment ways[J]. *Urban Problems*, 2006(7): 76-80.
- [29] Russell D J, Alberti G. Effects of long-term, geogenic heavy metal contamination on soil organic matter and microarthropod communities, in particular Collembola[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 9(1/3): 483-488.
- [30] 舒俭民, 沈英娃, 高吉喜, 等. 城市垃圾填埋场植树造林试验研究[J]. 环境科学研究, 1995, 8(3): 13-20.
- SHU J M, SHEN Y W, GAO J X, et al. Afforestation at a municipal waste landfill site[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1995, 8(3): 13-20.