

城市周边生活污水排放对绿地土壤环境质量的影响

田 媛¹, 杨 昕^{1,*}, 花伟军², 刘 传¹

(1. 北京工商大学化学与环境工程学院, 北京 100037; 2. 北京市丰台区园林局, 北京 100071)

摘要:大城市郊区的小型居住区,将生活污水未经处理直接排入附近的绿地是比较常见的。这种直接排放虽然利用了有限水源,但对绿地土壤带来环境影响。为了研究这类排放对周边土壤环境的影响,选择了京郊一处接受附近生活污水直接排放的绿地,取其污水排放口附近的土壤样品为实验对象,以远离该点的土样为对照来研究生活污水排放对周边土壤环境质量的影响。模糊聚类分析结果表明:与对照点相比,生活污水排放提高了排放口附近土壤的养分含量,土壤 pH 值由 8.9 降低至 7.32,有机质含量由 1.7873% 提高到 5.9455%,钾含量由 220 mg/kg 提高到 1230 mg/kg,磷含量由 11.8 mg/kg 提高到 150.72mg/kg,全氮含量由 0.1078% 提高到 0.5325%,重金属铅含量由 52.87 mg/kg 提高到 129.53mg/kg、镉含量由 0.7525mg/kg 提高到 2.5692mg/kg。铅含量达到了国家二级标准,而镉含量超过了国家三级标准,存在严重的土壤环境污染。

关键词:生活污水;土壤环境质量;模糊聚类分析

文章编号:1000-0933(2008)02-0742-07 中图分类号:Q142,X171 文献标识码:A

Fuzzy analysis of the effect of city sewage water on environmental quality of greenspace soil

TIAN Yuan¹, YANG Xin^{1,*}, HUA Wei-Jun², LIU Chuan¹

1 School of Chemical and Environmental Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China

2 Fengtai District Gardens and Landscape Administration of Beijing Municipality, Beijing 100071, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0742 ~ 0748.

Abstract: It is a common phenomenon that untreated sewage water is delivered to the greenspace in suburban residential areas of large cities. Though this is an attempt to maximize the usage of a finite supply of water, it does have an impact on greenspace in these regions. In order to investigate the effects of sewage water on the soil quality of greenspace, we analyzed the soil quality of a section of greenspace in a suburb of Beijing, which was irrigated with sewage water. Soil samples from different depths of soil near the drainage outlet of the sewage water were analyzed and compared with the soil samples collected away from the drainage outlet. Fuzzy clustering analysis was applied to the evaluation of soil quality. The results showed that compared with other soil samples the pH value near the drainage outlet of the sewage water was quite low, from 8.9 to 7.32, but the sewage water can increase the soil contents of organic matter content from 1.7873% to 5.9455%, potassium content from 220 mg/kg to 1230 mg/kg, phosphorous content from 11.8 mg/kg to 150.72mg/kg, nitrogen content from 0.1078% to 0.5325%, heavy metal Pb from 52.87 mg/kg to 129.53mg/kg, Cd from 0.7525 mg/kg to 2.5692mg/kg. Pb content of the soil had reached the second level of the national standard. While Cd content exceeded the third level of the national standard, which has an adverse impact on the soil environment.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50679002)

收稿日期:2006-12-03; 修订日期:2007-11-02

作者简介:田媛(1962~),女,甘肃兰州人,博士,教授,主要从事污染生态学研究. E-mail: tianyuan@th.btbu.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangxinsherry@sina.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50679002)

Received date: 2006-12-03; **Accepted date:** 2007-11-02

Biography: TIAN Yuan, Ph. D., Professor, mainly engaged in contaminated ecology. E-mail: tianyuan@th.btbu.edu.cn

Key Words: sewage; soil environmental quality; fuzzy clustering analysis

城市污水是一种污染源,但是如果将它合理利用,也可以作为一种资源。对城市污水的合理利用,特别是北方缺水城市作为绿地灌溉水源或补充水源,是缓解水资源矛盾的一项有效措施。而且城市污水中含有较丰富的 N、P、K、Cu、Zn 等,为城市绿地植物提供营养元素。污水灌溉也使部分土壤和环境受到污染^[1],已有研究表明,污水灌溉会导致土壤重金属含量增加,甚至产生土壤污染问题^[2,3]。生活污水的无限制排放对水资源的破坏作用是显而易见的,但其对土壤资源的破坏作用却相对不易被发现。由于土壤污染具有隐蔽性、滞后性、积累性、不可逆转性和难以治理性等特点,因此生活污水排放对周边土壤环境质量的影响不可忽视。本文以北京丰户营地区一污水排放口附近的土壤样品为实验对象,以远离该点的土样为对照,通过模糊聚类的分析方法来研究城市生活污水排放对周边土壤环境质量的影响。

1 材料与方法

1.1 污水水质测定

严格按照中国环境科学出版社出版的《水和废水监测分析方法》测定污水水质,各项目监测结果及测定方法见表 1,自来水水质来源于丰户营地区周边农户。

表 1 丰户营地区生活污水及自来水水质情况
Table 1 Quality of sewage and tap water in FengHuYing area

水质标准 Water quality standard	丰户营地区污水水质 Sewage quality of FengHuYing area	自来水水质(对照) Tap water quality	测定方法 Method
pH	7.37	7.6	玻璃电极法 Glass Electrode
BOD ₅ (mg/L)	116.0	2.0	接种稀释法 Vaccination dilution method
NH ₄ -N (mg/L)	9.38	0.07	蒸馏酸滴定法 Distillation acid titration
TP (mg/L)	6.84	0.02	过硫酸钾分解,钼锑抗光度法 Persulfate decomposition, molybdenum-antimony Spectrophotometric
色度(度)	26.5	1.0	铂钴标准比色法 Platinum cobalt standard colorimetric
浊度(NTU)	96.7	0.03	分光光度法 Spectrophotometry
总硬度(以 CaCO ₃ 计)	204.5	268.1	EDTA 滴定法 EDTA Titration
SS (mg/L)	10.25	4	重量法 Gravimetric Method
氯化物 (mg/L)	94.1	73.1	硝酸银滴定法 Silver nitrate titration
余氯 (mg/L)	0.19	0	N,N-二乙基对苯二胺光度法 N, N-ethyl-phenylenediamine spectrophotometry
硫酸盐 (mg/L)	137.7	97.6	重量法 Gravimetric Method
挥发酚 (mg/L)	1.01	0	4-氨基安替比林直接光度法 4-amino antipyrine extraction spectrophotometric
Cu (mg/L)	0.025	0.074	火焰原子吸收分光光度法 Flame atomic absorption spectrophotometry
Zn (mg/L)	0.125	0.02	火焰原子吸收分光光度法 Flame atomic absorption spectrophotometry
Mn (mg/L)	0.05	0.01	火焰原子吸收分光光度法 Flame atomic absorption spectrophotometry

1.2 土壤采样及预处理

采样点位于北京丰户营地区一普通城市绿地污水排放口附近。距污水排放口 0.1m 处设立采样点 A,垂直 A 地面以下 0~10cm 处采集土样 A₁,垂直 A 地面以下 10~20cm 处采集土样 A₂。在距排放口水平方向 10m 处设采样点 B,以同样的垂直深度采集土样 B₁、B₂。在距排放口水平方向 50m 处设采样点 C,以同样的垂直深度采集土样 C₁、C₂。同时在北京工商大学校园内一花园处设立采样点 D,以同样的垂直深度采集样品 D₁、D₂ 作为对照。以上各实验点均取 3 个重复。

将采集的土样于实验室自然风干。3d 后将风干土样中的石粒、动植物残体除去,用玻璃研钵将土壤研细,过 70 目(孔径 0.22mm)筛。

1.3 测定内容与方法

土壤 pH 值的测定采用电位计法^[4];土壤有机质的测定采用滴定法中的铬酸氧还滴定法的外热源法^[5];土壤速效钾的测定采用 NH_4Ac 浸提——火焰光度法^[5];土壤有效磷的测定采用 NaHCO_3 浸提——钼锑抗吸光光度法^[5];土壤全氮的测定采用半微量开氏法^[5];土壤铅、铬的测定采用 KI-MIBK 火焰原子吸收分光光度法^[6]。土壤各项指标的测定结果见表 2。

表 2 土壤各项指标测定结果

Table 2 The measurement results of soil indexes

土样 Soil	pH 值 pH	有机质含量(%) Organic matter	K(mg/kg) Potassium	P(mg/kg) Phosphor	全氮含量(%) Nitrogen	Pb(mg/kg) Plumbum	Cd(mg/kg) Chrome
A ₁	7.32f	5.9455a	1230a	150.72a	0.5325a	129.53a	2.5692c
A ₂	7.67e	4.101b	1220a	136.22b	0.3105b	115.57d	2.5922c
B ₁	8.31bc	1.9021c	570b	104.08c	0.1572c	118.98c	2.6678b
B ₂	8.12d	1.0517d	210f	26.12f	0.1181f	122.39b	2.7889a
C ₁	8.37cd	1.4959c	480c	46.06d	0.1406e	82.52f	1.4793e
C ₂	8.23cd	0.9249d	260e	19.28g	0.1083g	97.42e	1.9685d
D ₁	8.67ab	1.8489c	440d	30.71e	0.1479d	69.68g	0.7143g
D ₂	8.9a	1.7873c	220f	11.8h	0.1078g	52.87h	0.7525f

同列内数值后不同字母表示差异达 1% 极显著水平 Data with different letters within the same column meant significant difference at 0.01 level

表 3 A、B、C、D 土样之间化学特性差异方差分析

Table 3 Analysis of variance for differences in chemical properties between A,B,C,D

项目 Item	pH 值 pH	有机质 Organic matter	K Potassium	P Phosphor	全氮 Nitrogen	Pb Plumbum	Cd Chrome
F 值 F value	76.78	280.1	17355	375493	70429	71937	6544
显著性 Sig	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ANOVA 分析结果(表 3)表明,土壤 pH 值、有机质、钾、磷、全氮及重金属铅、铬含量在 A、B、C、D 各监测点之间均存在极显著差异($P \leq 0.01$)。

2 模糊聚类分析方法与模型

2.1 模糊聚类分析方法

聚类分析方法是一种多元客观的分类方法,其基本原理是依照样品的属性或特征定量的确定其间的亲属关系,再按亲疏分型化类,得出能反映个体间的亲密关系的分类系统。模糊数学中的模糊聚类方法有多种,本文采用模糊等价关系的传递闭包法^[7]。

设有 n 个土质监测点的各项土质指标的总(论域): $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 每个土质监测点的土壤环境质量由 m 个指标 $u_j (j=1, 2, \dots, m)$ 的数值所确定。

设各个土质监测点的土壤环境质量为: $U_1 (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}), U_2 (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}), \dots, U_n (x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm})$, 其中 x_{ij} 为第 i 个土质监测点第 j 项指标的数值($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

(1) 数据标准化

在进行模糊聚类分析的过程中,所研究的各因子变量的单位,量级往往是不同的,若直接利用原始数据进行计算就会突出绝对值较大的变量而压低了绝对值较小的变量所起的作用。为了使不同量纲的数据能进行比较,需要对原始数据实施变换。另一方面,为了满足模糊矩阵的要求,变换后的矩阵元素必须在 $[0, 1]$ 上,数据的标准化恰好能实现这一目的。因此,进行模糊聚类分析要首先进行数据的标准化^[7]。

(2) 建立模糊相似矩阵

即按照某个准则或方法,算出衡量被分类单元间相似程度的相似系数,从而确定论域 U 上的模糊关系矩

阵 R 。

(3) 判断此模糊相似矩阵是否是模糊等价矩阵。

若为模糊等价矩阵即可根据后面的步骤进行聚类分析,若不是模糊等价矩阵,需要将模糊相似矩阵 R 改造成模糊等价矩阵 R^* 用平方法求 R 的传递闭包 $t(R)$,结果就是模糊等价矩阵 R^* 。

(4) 聚类分析

在已建立的模糊关系矩阵上,给出不同的水平进行截取,即得到论域 U 的不同分类。

2.2 丰户营地区土壤环境质量的模糊聚类分析

分别选取 A、B、C、D 0~10cm 及 10~20cm 深处 8 个土壤环境质量监测点的主要环境质量指标进行模糊聚类分析, $U_1(A_1: \text{垂直 A 地面以下 } 0 \sim 10\text{cm})$ 、 $U_2(A_2: \text{垂直 A 地面以下 } 10 \sim 20\text{cm})$ 、 $U_3(B_1: \text{垂直 B 地面以下 } 0 \sim 10\text{cm})$ 、 $U_4(B_2: \text{垂直 B 地面以下 } 10 \sim 20\text{cm})$ 、 $U_5(C_1: \text{垂直 C 地面以下 } 0 \sim 10\text{cm})$ 、 $U_6(C_2: \text{垂直 C 地面以下 } 10 \sim 20\text{cm})$ 、 $U_7(D_1: \text{垂直 D 地面以下 } 0 \sim 10\text{cm})$ 、 $U_8(D_2: \text{垂直 D 地面以下 } 10 \sim 20\text{cm})$, 即论域为 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_8\}$ 。每个监测点选择 7 个主要环境质量指标作为因子,集合为 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_7\}$ 。

对表 2 土壤各项指标的测定结果进行数据标准化。其公式为:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

此公式采取极差变换方法^[4]对实测数据 x_{ik} 进行标准化。式中 $\max(x_{ij})$ 和 $\min(x_{ij})$ 分别表示同一环境质量因子实测值中的最大值和最小值。将各土壤环境质量指标归一化转换算成 $[0, 1]$ 之间的数,见表 4。

表 4 土壤各项指标标准化数据表

Table 4 The standardized data of the soil indexes

土样 Soil	pH 值 pH	有机质含量 Organic matter	K Potassium	P Phosphor	全氮含量 Nitrogen	Pb Plumbum	Cd Chrome
A ₁	0	1	1	1	1	1	0.89
A ₂	0.22	0.63	0.99	0.90	0.47	0.82	0.91
B ₁	0.63	0.19	0.35	0.66	0.12	0.86	0.94
B ₂	0.51	0.03	0	0.10	0.02	0.91	1
C ₁	0.66	0.11	0.26	0.25	0.08	0.39	0.37
C ₂	0.58	0	0.05	0.05	0.001	0.58	0.60
D ₁	0.85	0.18	0.23	0.14	0.09	0.22	0
D ₂	1	0.17	0.01	0	0	0	0.02

依据标准化后的数据,确定模糊相似矩阵:

$$R = \{S_{ij}\}_{n \times m} = R(x_i, x_j) \quad (2)$$

本文采用夹角余弦方法计算相似系数,其公式为:

$$S_{ij} = \frac{\sum_k x_{ik} x_{jk}}{(\sum_k x_{ik}^2 \sum_k x_{jk}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

式中, S_{ij} 为区域 i 与区域 j 的相似系数; x_{ik} , x_{jk} 为两个区域的同类指标。相似系数 S_{ij} 的取值范围是 $[0, 1]$, 描述区域相似程度。如果 $S_{ij} = 0$, 两个监测点土壤环境质量有相似之处, 如果 $S_{ij} = 1$, 则两个监测点的土壤环境质量完全相似。求出 S_{ij} 后, 以 S_{ij} 为矩阵元, 即得模糊关系矩阵 R , 该矩阵实际上是一个对称矩阵。定义某一阈值 S , 当 $S_{ij} \geq S$ 时, 则两个区域基本相似^[8]。

如果 R 满足: ①自反性 $r_{ii} = 1$, ②对称性 $r_{ij} = r_{ji}$, ③传递性, 则称 R 是 U 上的一个模糊等价关系^[9]。经验证明上述 R 是不满足传递性的, 需要把模糊相似关系矩阵转化为模糊等价关系矩阵。可采用下式改造 R : $(r_{ij}) \cdot (r_{ij}) = (r_{ij})^2 = (\vee (r_{ik} \wedge r_{kj}))$, 即先取小后取大的原理。把模糊相似矩阵 R 通过模糊矩阵合成改造为

模糊等价矩阵,从模糊相似矩阵 R 出发,依次求平方: $R \rightarrow R^2 \rightarrow R^4 \rightarrow \dots \rightarrow R^{2^k} \rightarrow \dots$,当首次出现 $R^{2^k} = R^{2^{(k+1)}}$ 时, $t(R) = R^{2^k}$ 就是所求的模糊等价矩阵 R^* ,此方法叫做逐次平方法^[10]。即 $t(R) = R^*$ 。经计算得 $R^2 \times R^4 = R^8$,即 R^8 为所求的 R^* 。

$$R = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.7 & 0.94 & 0.56 & 0.63 & 0.5 & 0.38 & 0.08 \\ 0.7 & 1.0 & 0.87 & 0.65 & 0.75 & 0.62 & 0.47 & 0.18 \\ 0.94 & 0.87 & 1.0 & 0.46 & 0.93 & 0.89 & 0.62 & 0.41 \\ 0.56 & 0.65 & 0.46 & 1.0 & 0.81 & 0.97 & 0.47 & 0.37 \\ 0.63 & 0.75 & 0.93 & 0.81 & 1.0 & 0.9 & 0.89 & 0.73 \\ 0.5 & 0.62 & 0.89 & 0.97 & 0.9 & 1.0 & 0.66 & 0.56 \\ 0.38 & 0.47 & 0.62 & 0.47 & 0.89 & 0.66 & 1.0 & 0.93 \\ 0.08 & 0.18 & 0.41 & 0.37 & 0.73 & 0.56 & 0.93 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$R^2 = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.87 & 0.94 & 0.63 & 0.93 & 0.89 & 0.63 & 0.63 \\ 0.87 & 1.0 & 0.87 & 0.75 & 0.87 & 0.87 & 0.75 & 0.73 \\ 0.94 & 0.87 & 1.0 & 0.89 & 0.93 & 0.9 & 0.89 & 0.73 \\ 0.63 & 0.75 & 0.89 & 1.0 & 0.9 & 0.97 & 0.81 & 0.73 \\ 0.93 & 0.87 & 0.93 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.89 & 0.89 \\ 0.89 & 0.87 & 0.9 & 0.97 & 0.9 & 1.0 & 0.89 & 0.73 \\ 0.63 & 0.75 & 0.89 & 0.81 & 0.89 & 0.89 & 1.0 & 0.93 \\ 0.63 & 0.73 & 0.73 & 0.73 & 0.89 & 0.73 & 0.93 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$R^* = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.87 & 0.94 & 0.9 & 0.93 & 0.9 & 0.89 & 0.89 \\ 0.87 & 1.0 & 0.87 & 0.87 & 0.87 & 0.87 & 0.87 & 0.87 \\ 0.94 & 0.87 & 1.0 & 0.9 & 0.93 & 0.9 & 0.89 & 0.89 \\ 0.9 & 0.87 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.97 & 0.89 & 0.89 \\ 0.93 & 0.87 & 0.93 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.89 & 0.89 \\ 0.89 & 0.87 & 0.9 & 0.97 & 0.9 & 1.0 & 0.89 & 0.89 \\ 0.89 & 0.87 & 0.89 & 0.89 & 0.89 & 0.89 & 1.0 & 0.93 \\ 0.89 & 0.87 & 0.89 & 0.89 & 0.89 & 0.89 & 0.93 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$R_{0.94}^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

利用 R^* , 并根据不同的阈值 $\lambda \in [0, 1]$ 就可以进行分类。如取 $\lambda = 0.94$, 将 R^* 中凡 $r_{ij} \geq 0.94$ 的全部改记为 1, $r_{ij} < 0.94$ 的全改记为 0, 得 $R_{0.94}^*$ 。

由 $R_{0.94}^*$ 可以看出城市生活污水排放对周边土壤环境质量的影响可分为 5 类: $[\{u_1, u_3\}, \{u_2\}, \{u_4, u_6\}, \{u_5\}, \{u_7, u_8\}]$ 。第一类包括 A_1 (垂直 A 地面以下 0 ~ 10cm)、 B_1 (垂直 B 地面以下 0 ~ 10cm), 第二类为 A_2 (垂直 A 地面以下 10 ~ 20cm), 第三类包括 B_2 (垂直 B 地面以下 10 ~ 20cm)、 C_2 (垂直 C 地面以下 10 ~ 20cm), 第四类为 C_1 (垂直 C 地面以下 0 ~ 10cm), 第五类包括 D_1 (垂直 D 地面以下 0 ~ 10cm)、 D_2 (垂直 D 地面以下 10 ~ 20cm)。

3 结果与讨论

(1) 在上述模糊聚类分析中无论 λ 取何值 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$ 都不可能与 U_7, U_8 具有相似性, 即北京丰户营地区生活污水排放对周边 A、B、C 三点的影响与无污染参照 D 点无相似性。这与 ANOVA 分析结果(表 3)一致。

(2) 从影响范围来看, 生活污水对周边土壤环境质量的影响随着水平距离的增加而逐渐减弱、随着深度的加深而逐渐减弱。生活污水排放对土壤 pH 值、有机质含量和氮、磷、钾含量的影响, 基本仅限于 A 点和 B 点的表层土壤, 即 A_1, B_1 点。 A_2, B_2, C_1, C_2 点氮、磷、钾等元素基本上没有向下、向外迁移的趋势。但是重金属

铅、镉有向深处、远处迁移的趋势。镉的污染达到了 C_1 、 C_2 点,且镉含量已超过了国家三级标准,这与夏增禄等提出的镉具有较强的迁移能力^[11-13]相一致。经分析这可能是因为其迁移方式、转化机理等异于其它元素,而该地的土质为砂壤土有利于镉在土壤胶粒间交换、传递所致。

(3)从土壤肥力角度来看, A_1 、 B_1 点影响比较明显:其中数 A_1 点影响最为明显,其 pH 值明显低于 B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 、 D_1 、 D_2 点,这主要是由于在短期内生活污水中自由 CO_2 含量比空气中 CO_2 含量高得多,自由 CO_2 进入土壤后,有降低 pH 值的趋势^[14]。而 pH 值降低后,更有利于植物对土壤中各种营养微量元素的吸收。有机质含量在 A_1 点最高,这主要是由于所排放的生活污水中高含量的有机物质所致,这与 Zenjari 等的研究结果一致^[15]。同时 A_1 、 A_2 点氮、磷、钾等土壤肥力指标也明显高出 B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 、 D_1 、 D_2 点土壤的好几倍,远超过肥沃土壤的标准; B_1 点除 pH 值几乎未受影响外,有机质、氮、磷、钾等肥力指标都有较明显的增长, B_2 点变化不明显,但其各项综合指标也已达到较丰富的标准,满足植被良好生长的需要; C_1 、 C_2 点只存在微弱的影响,其各项指标都和 D_1 、 D_2 点相似,与 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 相比,其肥力明显较低,但也能满足植被正常生长的需要。

(4)从重金属污染来看,由于污水排放的影响使其明显增加。 A_1 、 A_2 点铅含量增长到 D_1 、 D_2 点两倍以上。本试验土壤中铅含量都达到了国家二级标准,笔者认为这主要是试验期较短所致。而镉含量超过了国家三级标准,存在严重的污染。对于污水灌溉造成的土壤重金属污染国内外已有很多报道^[16,17]。土壤对污染物的自然消解能力是有限的,因重金属具有难迁移、易富集、危害大等特点,当土壤重金属含量达到一定水平后,仅依靠生态系统本身的消化能力很难使土壤重金属污染物的含量降低到原有水平^[18],应予以重视采取相应的措施治理。

(5)从植被生长情况来看,由于生活污水排放的影响使得 A_1 、 A_2 点土壤的 pH 值降低,更有利于各种营养微量元素的吸收, A_1 、 A_2 点土壤的 pH 值分别为 7.32、7.67,近似于中性,使得一些重金属的活度急剧降低,更有利于植物生长^[19]。 A_1 、 A_2 点土壤有机质含量和氮、磷、钾含量也极高,使得 A 点生长的植物与 B 点存在较大差异,A 点生长的是多年生草本植物冰草(*Agropyron cristatum* Gaertn.), B 点生长的是 1 年生草本植物灰条菜(*Chenopodium album* L.)。C 点镉含量严重超标,其土壤肥力和 D 点相似,处于中等肥力范围,其上面常绿乔木侧柏(*Platycladus orientalis*)生长良好。这与目前大量调查和研究结果所证明的土壤重金属污染不一定能够从植物的生长状态表现出来^[20]相一致,因此,不易从植物生长的表观察觉土壤的受污染情况。因而增加了植物受土壤重金属污染的风险。

综上所述,城市生活污水直接排放虽然可有效缓解水资源短缺的压力,为植物物生长发育提供相应的营养元素,增强土壤肥力,但是超过一定限度和量度会引起重金属积累,从而造成土壤污染。因此不同区域在施用污水灌溉绿地时,均应结合当地的具体情况对其环境风险进行研究和评价,要对土壤的变化进行定期监测,推进城市污水的有效利用。

References:

- [1] Liao J F. The Affects of Urbanization to Soil Environment. *Ecologic Science*, 2001, 20(1-2): 91—95.
- [2] Anikwe M A N, Nwobodo K C A1 Long term effect of municipal waste disposal on soil properties and productivity of sites used for urban agriculture in Abakaliki, Nigeria1 *Bioresource Technology*, 2002, 83 (3): 241—250.
- [3] Moller A, Muller H W, Abdullah A, *et al* Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in t he soils of the Damascus Ghouta1 *Geoderma*, 2005, 124 (1-2): 63—71.
- [4] Li Q, Zhao X L, Hu C R. ISO10390:2005 soil quality pH measurement. *Pollution Control Technology*, 2006; 53—55.
- [5] Li X H. Soil chemistry. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [6] Department of Science, Technology and Standards, SEPA. The Chinese environmental protection standard collection. Beijing: The Publishing Company of Chinese Environmental Science, 2001; 62—65.
- [7] Wang Z L, Qiu L, Liang C, *et al*. A study of compartmentalizing areas based on cluster analysis of water resources. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 2001, 22(2): 7—10.
- [8] Li Y H, Ou Y S P, Kong Q J. The application of the fuzzy clustering analysis method on water quality classification in FuHe river. *Jiangxi Hydraulic*

Science and Technology, 2006; 32(1): 20—23.

- [9] Tai J M. A fuzzy assembling analysis on the fishery biologic environment of Chaohu lake. South China Fisheries Science, 2006; (3): 25—31.
- [10] Li A G, Zhang Z H, Meng Y, *et al.* Fuzzy mathematics and its application. Beijing: The publishing company of Metallurgy industry, 2005.
- [11] Xia Z L, Li S Z, Mu C R, *et al.* Vertical distribution and transfer of heavy metals in soils of Beijing. Journal of Environmental Sciences, 1985, 5 (1): 105—112.
- [12] Xia Z L. Soil environment capacity and its application. Beijing: The Publishing Company of Weather, 1988. 102—116.
- [13] Andreu V, Gimeno Garcia E. Evolution of heavy metals in marsh area under rice farming. Environmental Pollution, 1999, 104 (2): 271—282.
- [14] Yang L L, Yang P L, Ren S M, *et al.* Experimental Studies on Effects of Reclaimed Water Irrigation on Soil Physicochemical Properties. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 82—85.
- [15] Zenjari B, Ahmed N ejmeddane. Impact of spreading olive mill waste water on soil characteristics: laboratory experiments. A gronomie, 2001, 21: 749—755.
- [16] Rattan R K, Datta S P, Chhonkar P K, *et al.* Long term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater - a case study. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 109(3-4): 310—322.
- [17] Alam M G, Snow E T, Tanaka A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. The Science of the Total Environment, 2003, 308: 83—96.
- [18] Zhao Q L, Zhang J N, Liu Z G, *et al.* Effect of Reclaimed Water Used for Irrigation on the Quality of Crops and Soil. Environment Science, 2007, 28(2): 411—416.
- [19] Li T J. Soil Environment Science. Beijing: Higher Education Press, 1995: 96—178.
- [20] Zhu Y, Yang Z Y. Differences in lead (Pb), zinc (Zn), and cadmium (Cd) concentrations in plant tissues of 24 asparagus bean cultivars grown on lead / zinc (Pb/Zn) mining waste water irrigated farmland. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (4): 1376—1385.

参考文献:

- [1] 廖金凤. 城市化对土壤环境的影响. 生态科学, 2001, 20(1-2): 91~95.
- [4] 李强, 赵秀兰, 胡彩荣. ISO10390:2005 土壤质量 pH 的测定. 污染防治技术, 2006. 53~55.
- [5] 李学恒. 土壤化学. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [6] 国家环境保护总局科技标准司. 中国环境保护标准汇编. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 62~65.
- [7] 王志良, 邱林, 梁川, 等. 基于模糊聚类分析的水资源分区研究. 华北水利水电学院学报, 2001, 22(2): 7~10.
- [8] 李友辉, 欧阳筱平, 孔琼菊. 抚河流域水环境质量模糊聚类分析. 江西水利科技, 2006, 32(1): 20~23.
- [9] 台建明. 巢湖渔业生态环境的模糊聚类分析. 合肥: 南方水产, 2006, 2(3): 25~31.
- [10] 李安贵, 张志宏, 孟艳, 等. 模糊数学及其应用. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [11] 夏增禄, 李森照, 穆从如, 等. 北京地区重金属在土壤中的纵向分布和迁移. 环境科学学报, 1985, 5 (1): 105~112.
- [12] 夏增禄主编. 土壤环境容量及其应用. 北京: 气象出版社, 1988. 102~116.
- [14] 杨林林, 杨培岭, 任树梅, 等. 再生水灌溉对土壤理化性质影响的试验研究. 水土保持学报, 2006, 20(2): 82~85.
- [18] 赵庆良, 张金娜, 刘志刚, 尤世界, 王绍华, 王丽娜, 薛爽. 再生回用水灌溉对作物品质及土壤质量的影响. 环境科学, 2007, 28(2): 411~416.
- [19] 李天杰主编. 土壤环境学. 北京: 高等教育出版社, 1995. 96~178.
- [20] 朱云, 杨中艺. 生长在铅锌矿废水灌溉区的长豇豆组织中 Pb、Zn、Cd 含量的品种间差异. 生态学报, 2007, 27 (4): 1376~1385.