

苏南河网地区河岸带土壤重金属污染生态风险评价

钱新锋¹ 沈国清²

(1. 常熟市绿化委员会, 江苏 常熟 215500)

(2. 上海交通大学农业与生物学院资源与环境系, 上海 200240)

[摘要] 以苏南河网地区常熟青墩塘河岸带土壤为研究对象,在系统调查河岸带土壤环境中重金属含量的基础上,采用单因子污染指数与模糊数学综合评价相结合的方法,分别对河岸带土壤重金属污染进行了分析与评价。结果表明,土壤中重金属 As、Pb、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni、Hg 的含量分别为 39.72 mg/kg ~ 210.16 mg/kg、2.23 mg/kg ~ 9.56 mg/kg、94.88 mg/kg ~ 64.08 mg/kg、0 mg/kg ~ 0.12 mg/kg、82.34 mg/kg ~ 238.39 mg/kg、31.13 mg/kg ~ 52.22 mg/kg、15.33 mg/kg ~ 30.30 mg/kg 和 0.19 mg/kg ~ 0.56 mg/kg。单项污染指数评价结果表明,除 As 为重污染外,Pb 属于安全级别,Cd 和 Ni 处于警戒级别,Cr、Cu 和 Zn 为轻度污染。模糊综合评价结果表明,河岸土壤受污情况尚好,多数为清洁状态,各采样点 As 为主导污染因子。因此,在该地区河岸绿化时,可配置一定量的砷超富集植物,实现河岸绿化和污染修复功能相得益彰、相映成趣的生态效果。

[关键词] 污染评价,重金属,河岸带,土壤

[中图分类号] X53 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2012)04-0078-06

Heavy Metal Concentrations and Pollution Assessment of Riparian Soils Along River Network of South Jiangsu Region

Qian Xinfeng¹, Sheng Guoqing²

(1. Changshu Bureau of Housing and Urban-Rural Development, Changshu 215500, China)

(2. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Taking the riparian soils along South Jiangsu Region as research object, assessment of heavy metal contamination were carried out by single pollution index and fuzzy comprehensive assessment after the heavy metal concentrations were determined. The results showed that the concentrations of Arsenic (As), Plumbum (Pb), Chrome (Cr), Cadmium (Cd), Zinc (Zn), Cuprum (Cu), Nickel (Ni) and Hydrargyrum (Hg) were 39.72 mg/kg ~ 210.16 mg/kg, 2.23 mg/kg ~ 9.56 mg/kg, 94.88 mg/kg ~ 64.08 mg/kg, 0 mg/kg ~ 0.12 mg/kg, 82.34 mg/kg ~ 238.39 mg/kg, 31.13 mg/kg ~ 52.22 mg/kg, 15.33 mg/kg ~ 30.30 mg/kg and 0.19 mg/kg ~ 0.56 mg/kg respectively. According to the single pollution index, Pb is in safe state, Cd and Ni is in warning level. Cr, Cu and Zn are in venially polluted level and Hg is middle, while As is seriously polluted. Fuzzy comprehensive assessment indicated that: As is the most important polluted factor at all the sampling point. Therefore, As hyperaccumulator should be considered during greening along riparian so as to simultaneously realize the greening riparian and pollution control.

Key words: pollution evaluation, heavy metal, riparian soils

河岸带是指介于陆地和河水之间直至河水影响完全消失为止的过渡地带,是陆地与水生生态系统的连接枢纽,是非常重要的生态交错区。河岸带具有特殊的生境条件,在涵养水源、维持生态平衡和生物多样性、蓄洪防旱及调节微气候等方面具有现实的、重要的潜在价值,在景观学中也有重要的作用^[1]。在欧美发达国家,对河岸带的功能和重要性已形成较为系统的认识,而在我国,河岸带方面的研究才处于起步阶段,还有许多工作亟待我们去研究。特别是近年来,随着河道水体及底泥受到污染,清淤淤泥对两岸农业土壤的环境影响问题较为突出。许多地区河岸带植被惨遭破坏,一些地区的河岸带甚至成为垃圾堆放场。然

收稿日期: 2012-09-19.

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD15B03)。

通讯联系人: 沈国清,教授,博士生导师,研究方向: 环境监测与评价。E-mail: gqsh@sjtu.edu.cn

而,目前国内外对岸带的研究,大多集中在河岸带土地利用和水岸生态系统碳、氮、磷等的生物地球化学过程和动态特性等方面^[2-4],有关河岸带土壤污染研究较少。已有的研究表明,重金属是河岸带土壤环境中的重要污染物^[1,5],开展河岸带土壤重金属含量与污染评价对于河岸生态系统保护和生态重建具有重要的理论和实践意义。

在土壤重金属污染评价方法中,通常采用的是单项评价和多项综合评价,而采用数学模型评价土壤污染的方法较为普遍,主要包括指数评价法、模糊数学评价法和灰色聚类法等。其中,模糊数学评价法可以通过隶属度描述土壤重金属污染状况的渐变性和模糊性,使评价结果更加准确可靠^[6],它有效地解决了土壤重金属污染级别的模糊边界问题,并且能够控制评价结果的误差^[7],在土壤环境质量评价中其分辨率明显高于其他评价方法^[8]。本文分别采用单因子污染指数评价法和模糊数学综合评价法,对苏南河网地区河岸带土壤重金属污染进行了综合评价,以期对重金属污染河岸的土壤生物工程维护提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

采样地位于江苏省常熟市青墩塘河岸带,属太湖流域河网地区。2011年9月在现场实地考察的基础上,选择了河岸边分别种植夹竹桃(*Nerium indicum* Mill)、垂柳(*Salix babylonica*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)、水杉(*Metasequoia glyptrobides*)和池杉(*Taxodium ascendens* Brongn.) 6种林带的地方,设置6个采样区域,每个采样区域上,采用“三”字形布点(图1)。在A、B、C、D、E、F、G、H、I各点,先清理表层枯落物,从清理后的地表开始,用环刀在0 cm~10 cm土层深度取一样,再在其下方10 cm~20 cm土层取一样,这样每个点有上下2个样本。每个样地共取18个点,6样地总共108个点。ABC、DEF、GHI这3条样带互相总体平行,也与河流基本平行,3样带带间距大约3 m,每一样带上的样点间隔大约5 m。

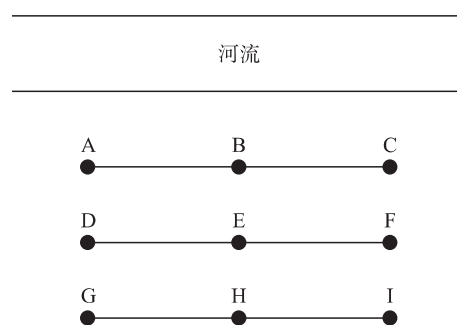


图1 土壤采样点布设示意图

Fig.1 Sketch map of the placement for the soil sampling sites

1.2 方法

1.2.1 样品预处理

首先将新鲜土样内的石粒和新生体拣出,平摊于室内通风处,使土样自然风干。土样风干后,压碎碾细,过100目土样筛,最后将样品装入三角瓶内,密封后保存于干燥处待测。

1.2.2 重金属含量测定方法

采用盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸全分解的方法,彻底破坏土壤的矿物晶体,使试样中的待测元素全部进入试液。然后,将土壤消解液进行过滤、稀释。以AAS法,在HITACHI 180-80型原子吸收分光光度计上测定土壤中重金属As、Pb、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni、Hg的含量。计算公式为:

$$W(\text{mg/kg}) = \frac{\rho V t_s}{mk},$$

式中, W 为沉积物重金属污染物的质量比(mg/kg); ρ 为重金属的质量浓度(mg/L); V 为样品定容总体积(mL); t_s 为分取倍数; m 为风干样品的质量(g); k 为将风干样品换算成烘干样品的水分换算系数。

1.2.3 数据分析

数据处理应用SPSS for windows 13.0对数据按不同河岸带不同采样区域进行方差分析,计算平均值与标准差。

1.2.4 单因子污染指数评价

单因子污染指数计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i,$$

式中, P_i 为单因子污染指数; C_i 为污染物实测值; S_i 为污染物的评价标准。

分级标准为: $P_i \leq 1$ 安全; $1 < P_i \leq 2$ 轻污染; $2 < P_i \leq 3$ 中污染; $P_i > 3$ 重污染。

1.2.5 模糊数学综合评价

1.2.5.1 数学模型

已知因子集 $U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}$, 评价集 $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$ 对因子的权重分配为 U 上的模糊子集 \tilde{A} , 简记为 $\tilde{A} = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)$, 其中 W_i 为第 i 种污染因子 U_i 所对应的权重, 并且规定: $\sum_{i=1}^n W_i = 1$. 对第 i 个因子的单因子评判为 V 上的模糊子集 R_i , 则有 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, 从而可以构成一个单因子评价矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}.$$

鉴于评价因子与土壤环境质量成负相关关系, 选用降半梯形分布隶属函数^[6,7], 该函数为分段函数, 表达式为:

当质量级别 $(j) = 1$ 时,

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i \leq S_{i1}, \\ \frac{S_{i2} - x_i}{S_{i2} - S_{i1}} & S_{i1} < x_i < S_{i2}, \\ 0 & x_i \geq S_{i2}. \end{cases}$$

当质量级别 $1 < j < 5$ 时,

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq S_{i(j-1)} \text{ 或 } x_i \geq S_{i(j+1)}, \\ \frac{x_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} < x_i < S_{ij}, \\ \frac{S_{i(j+1)} - x_i}{S_{i(j+1)} - S_{ij}} & S_{ij} < x_i < S_{i(j+1)}. \end{cases}$$

当质量级别 $(j) = 5$ 时,

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_i \leq S_{i4}, \\ \frac{x_i - S_{i4}}{S_{i5} - S_{i4}} & S_{i4} < x_i < S_{i5}, \\ 1 & x_i \geq S_{i5}. \end{cases}$$

式中 r_{ij} 为第 i 种评价因子隶属于第 j 等级的隶属度, x_i 为第 i 种因子的实测浓度, S_{ij} 为第 i 种因子第 j 等级的标准值.

采用土壤环境中污染物因子的实测浓度与其相应的分级标准的比值来计算权重, 其公式表示为: $W_i = \frac{C_i}{C_{0i}}$, 其中 W_i 为 i 污染物的权重系数; C_i 为 i 种污染物的实测浓度值; C_{0i} 为 i 种污染物分级标准值均值,

将权重归一化, 即 $\bar{W} = \frac{C_i}{C_{0i}} / \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{0i}} \right)$, 从而构成了一个 $1 \times n$ 阶的模糊矩阵 \tilde{A} , 即 $\tilde{A} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3, \dots, \bar{W}_n)$.

R 为因子集 U 与评价集 V 之间的模糊关系, 根据矩阵的运算法则, R 确定了一个模糊映射, 把 U 上的一个模糊子集 \tilde{A} 映射到 V 上的一个模糊子集 \tilde{B} , 则 $\tilde{B} = \tilde{A} * R$. 模糊子集 \tilde{B} 即为多因子综合评价的结果. 因为在我们的评价中所选取的重金属皆对土壤环境的质量状况有一定的贡献, 无论是突出主导因子还是按小中取大, 都与实际情况有较大的偏离, 所以, 我们选用加权模型算法, 即

$$b_j = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^m a_i * r_{ij} \right\}.$$

1.2.5.2 评价标准

土壤环境污染的因素很多, 根据监测结果, 选择 As、Pb、Cr、Cd、Zn、Cu、Hg 作为评价目标. 根据国家土

壤环境质量标准(GB 15618—1995),只能把土壤分为3级。为此,采用依据我国土壤环境质量背景值提出的污染土壤5级分类法^[9,10],将土壤环境质量分为清洁(Ⅰ)、尚清洁(Ⅱ)、轻度污染(Ⅲ)、中度污染(Ⅳ)和重度污染(Ⅴ),评价集为 $V = \{Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ\}$ 。这种方法可使隶属分级更具有层次性^[11,12]。

2 结果与分析

2.1 单因子污染指数评价

表1为监测河流河岸带土壤重金属As、Pb、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni、Hg的含量,表中可见,监测区域河岸土壤中重金属As、Pb、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni、Hg的含量分别为39.72 mg/kg~210.16 mg/kg、2.23 mg/kg~9.56 mg/kg、94.88 mg/kg~64.08 mg/kg、0 mg/kg~0.12 mg/kg、82.34 mg/kg~238.39 mg/kg、31.13 mg/kg~52.22 mg/kg、15.33 mg/kg~30.30 mg/kg和0.19 mg/kg~0.56 mg/kg。

表1 河岸带土壤中各重金属的含量(mg/kg)

Table 1 Heavy metals contents in riparian zone soil(mg/kg)

| 采样区域 | As | Pb | Cr | Cd | Zn | Cu | Ni | Hg |
|------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 46.13 | 3.24 | 64.08 | 0.03 | 44.15 | 31.13 | 24.34 | 0.19 |
| 2 | 127.64 | 9.59 | 86.32 | 0.21 | 82.34 | 32.07 | 19.93 | 0.37 |
| 3 | 210.16 | 6.56 | 86.31 | 0.21 | 238.39 | 37.46 | 15.33 | 0.56 |
| 4 | 75.35 | 3.23 | 91.51 | 0.02 | 90.52 | 52.22 | 17.41 | 0.39 |
| 5 | 39.72 | 2.23 | 94.88 | 0.00 | 34.56 | 34.56 | 18.14 | 0.32 |
| 6 | 116.81 | 4.66 | 89.74 | 0.06 | 70.11 | 48.47 | 30.30 | 0.28 |
| 平均 | 102.64 | 4.92 | 85.47 | 0.09 | 93.34 | 39.32 | 20.91 | 0.35 |
| 背景值 | 8.8 | 20.39 | 65.72 | 0.116 | 73.02 | 22.78 | 29.12 | 0.163 |
| 最大值 | 210.16 | 9.59 | 94.88 | 0.21 | 238.39 | 52.22 | 30.30 | 0.56 |
| 最小值 | 39.72 | 2.23 | 64.08 | 0.00 | 34.56 | 31.13 | 15.33 | 0.19 |
| 标准差 | 3.52 | 0.21 | 2.57 | 0.05 | 9.13 | 1.72 | 0.85 | 0.08 |

表2为以苏南地区土壤背景值计算的各监测区域河岸土壤重金属的单项污染指数与污染程度。从表中可见,河岸带土壤中As重污染,Pb属于安全级别,Cd、Ni处于警戒级别,Cr、Cu、Zn为轻度污染,Hg为中度污染。砷(As)是一种有毒并致畸、致癌的元素,砷污染是现代社会的严重环境问题,含砷物质常被用作杀虫剂、除草剂、防腐剂和半导体生产原料。许多农田、果园、工厂附近的土壤受到砷的严重污染。到目前为止,国内外许多科学家针对砷污染土壤筛选出了一系列砷超累积植物,主要包括蜈蚣草(*Pteris vittata*)、马拉巴野牡丹(*Melastomamal abathricum*)、大叶井口边草(*Pteris cretic*)、含羞草(*Mimosa pudica*)、粉叶蕨(*Pityrogramma calomelanos*)、剑叶凤尾蕨(*Pteris ensiformis*)、酸模(*Rumex acetosa*)和蟋蟀草(*Digitaria sanguinalis*)等。其中,蜈蚣草和大叶井口边草等砷超富集植物已开始应用于砷污染土壤的实地修复^[13]。

表2 以苏南地区土壤背景值计算的单项污染指数与污染程度

Table 2 Single index and degree of contamination based on soil background values

| 采样区域 | As | Pb | Cr | Cd | Zn | Cu | Ni | Hg |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 5.24 | 0.16 | 0.98 | 0.26 | 0.60 | 1.37 | 0.84 | 1.16 |
| 2 | 14.50 | 0.47 | 1.31 | 1.79 | 1.13 | 1.41 | 0.68 | 2.27 |
| 3 | 23.88 | 0.32 | 1.31 | 1.77 | 3.26 | 1.64 | 0.53 | 3.44 |
| 4 | 8.56 | 0.16 | 1.39 | 0.16 | 1.24 | 2.29 | 0.60 | 2.39 |
| 5 | 4.51 | 0.11 | 1.44 | 0.00 | 0.47 | 1.52 | 0.62 | 1.96 |
| 6 | 13.27 | 0.23 | 1.37 | 0.52 | 0.96 | 2.13 | 1.04 | 1.72 |
| 平均 | 11.66 | 0.24 | 1.30 | 0.75 | 1.28 | 1.73 | 0.72 | 2.16 |
| 污染程度 | 重污染 | 安全 | 轻污染 | 警戒级 | 轻污染 | 轻污染 | 警戒级 | 中污染 |

2.2 模糊数学综合评价

上述单因子指数法虽然可以判断河岸带土壤中的主要污染因子,但河岸土壤是一个复杂的体系,往往是由多个污染因子形成的复合污染单因子污染指数法,只能分别反映各个污染物的污染程度,不能全面、综合地反映土壤的污染程度。事实上,各评价因素在优劣之间是渐变的,并在这过渡中呈现出亦此亦彼性。也就是说,对被评价因素的评价具有模糊性。而利用模糊综合决策方法,则可以更好地证明其客观实在性^[11]。

2.2.1 单项污染因子隶属度

根据野外实测数据,依照模型中隶属度的计算方法,可得到单项污染因子隶属度(表3)。由表中所列

单项污染因子的隶属度的大小 ,可判断出各个采样点的主导污染因子. 由 I 到 V 级 ,隶属度大的 ,则表明该污染因子为主导污染因子 ,如在几乎所有的采样区域 ,第 V 级 As 的隶属度都为 1 或接近 1 ,可判断 As 为主导污染因子.

表 3 单项污染因子对各评价区域的隶属度
Table 3 Membership degrees of single pollution factor in evaluation regions

| 污染因子 | 采样区域 | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|------|-----|--------|--------|--------|------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|
| | 1 | | | | | 2 | | | | | 3 | | | | |
| | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 |
| Cu | 0.7749 | 0.2251 | 0 | 0 | 0 | 0.6982 | 0.3018 | 0 | 0 | | | | | | |
| O | | 0.2586 | 0.7414 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| Pb | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zn | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0131 | 0.9869 | 0 | 0 |
| Cr | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5361 | 0.4639 | 0 | 0 | 0 | 0.5365 | 0.4635 | 0 | 0 | 0 |
| Cd | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3207 | 0.6793 | 0 | 0 | 0 | 0.3207 | 0.6793 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hg | 0.4139 | 0.5861 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4193 | 0.5807 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8167 | 0.1833 | 0 |

| 污染因子 | 采样区域 | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|------|-----|--------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|------|-----|
| | 4 | | | | | 5 | | | | | 6 | | | | |
| | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 |
| Cu | 0 | 0.8540 | 0.1460 | 0 | 0 | 0.4951 | 0.5049 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9012 | 0.0988 | 0 | 0 |
| Pb | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zn | 0.7932 | 0.2068 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cr | 0.3256 | 0.6744 | 0 | 0 | 0 | 0.1890 | 0.8110 | 0 | 0 | 0 | 0.4325 | 0.6026 | 0 | 0 | 0 |
| Cd | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| As | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9720 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hg | 0 | 0.3145 | 0.6855 | 0 | 0 | 0 | 0.6813 | 0.3186 | 0 | 0 | 0 | 0.8910 | 0.1090 | 0 | 0 |

2.2.2 单项污染因子权重值

根据模型计算方法 ,得出归一化的权重值列于表 4.

表 4 单项污染因子权重值
Table 4 Weight values of single pollution factor

| 污染因子 | 采样区域 | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Cu | 0.1320 | 0.1359 | 0.1588 | 0.2213 | 0.1465 | 0.2055 |
| Pb | 0.1098 | 0.3249 | 0.2223 | 0.1094 | 0.0756 | 0.1579 |
| Zn | 0.0788 | 0.1470 | 0.4256 | 0.1616 | 0.0617 | 0.1252 |
| Cr | 0.1250 | 0.1683 | 0.1683 | 0.1784 | 0.1850 | 0.1750 |
| Cd | 0.0566 | 0.3962 | 0.3962 | 0.0377 | 0.0000 | 0.1132 |
| As | 0.0749 | 0.2073 | 0.3413 | 0.1224 | 0.0645 | 0.1897 |
| Hg | 0.0900 | 0.1754 | 0.2654 | 0.1848 | 0.1517 | 0.1327 |

2.2.3 评价区域总隶属度模糊综合评价

表 5 为总隶属度模糊综合决策结果. 从表中可见 ,河岸土壤受污情况尚好 ,多数为清洁状态. 但 As 元素的含量较高 ,存在一定的风险 ,需要调查其来源 ,以防止进一步污染影响河流的环境质量安全.

表 5 总隶属度模糊综合决策结果
Table 5 Total membership degree for fuzzy comprehensive decision

| 采样区域 | I 级 | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 | 综合评价结果 | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 1 | 0.5098 | 0.1325 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0749 | 属 I 级 | 清洁 |
| 2 | 0.7391 | 0.4617 | 0.1541 | 0.0000 | 0.2073 | 属 I 级 | 清洁 |
| 3 | 0.4807 | 0.4704 | 0.6368 | 0.0339 | 0.3412 | 属 I 级 | 清洁 |
| 4 | 0.3334 | 0.3979 | 0.2142 | 0.0000 | 0.1224 | 属 II 级 | 尚清洁 |
| 5 | 0.2448 | 0.3435 | 0.0846 | 0.0000 | 0.0645 | 属 II 级 | 尚清洁 |
| 6 | 0.4720 | 0.4469 | 0.0492 | 0.0000 | 0.1897 | 属 I 级 | 清洁 |

3 讨论

模糊综合评价法和单因子指数评价法在评价出发点、评价原理等方面各有特色。单因子指数评价法适用于个别评价参数超标过大、严重影响土壤环境质量的情况,评价出发点是为了体现单因子否决权。而模糊综合评价法则主要适用于各个评价因子超标情况接近,即不存在单因子否决的情况,评价出发点是为了体现不同评价因子对土壤环境质量的综合影响。单因子指数评价法采用某一项污染项目超标就断定整个评价区域超标的一票否决制,具有一定的片面性,但计算简单、方便,安全性高。河岸土壤重金属污染状况是渐变的、模糊的,模糊数学法可以通过隶属度描述土壤重金属污染状况的渐变性和模糊性;但使用模糊综合评价法评价土壤环境质量的计算过程相对复杂,不如单因子评价法简单、快捷。因此在实际应用中,应将单因子指数评价法和模糊综合评价法相结合,以便更全面地反映土壤质量的实际状况。

本文对苏南河网地区河岸带土壤重金属污染的模糊综合评价结果表明,评价区域河岸土壤中重金属 As、Pb、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni、Hg 的含量分别为 39.72 mg/kg~210.16 mg/kg、2.23 mg/kg~9.56 mg/kg、94.88 mg/kg~64.08 mg/kg、0 mg/kg~0.12 mg/kg、82.34 mg/kg~238.39 mg/kg、31.13 mg/kg~52.22 mg/kg、15.33 mg/kg~30.30 mg/kg 和 0.19 mg/kg~0.56 mg/kg。单因子污染指数评价结果表明,除 As 为重污染外,Pb 属于安全级别,Cd 和 Ni 处于警戒级别,Cr、Cu 和 Zn 为轻度污染。模糊综合评价结果表明,河岸土壤受污情况尚好,多数为清洁状态,各采样点 As 为主导污染因子。因此,在该区域河岸带绿化时,对原有树木林带种植的基础上,可配置一定量的蜈蚣草和大叶井口边草等超富集植物,既改善了生态环境,又提升了生态修复能力,实现河岸绿化和污染修复功能相得益彰、相映成趣的生态效果。

【参考文献】

- [1] 李冬林,金雅琴,张纪林,等. 秦淮河河岸带典型区域土壤重金属污染分析与评价[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(2): 228-234.
- [2] Schade J D, Fisher S G, Grimm N B, et al. The influence of a riparian shrub on nitrogen cycling in a Sonoran Desert stream [J]. Ecology, 2001, 82: 3363-3376.
- [3] Richardson D M, Holmes P M, Esler K J, et al. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects [J]. Diversity and Distributions, 2007, 13: 126-139.
- [4] 汤家喜,孙丽娜,孙铁珩,等. 河岸缓冲带对氮磷的截留转化及其生态恢复研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1514-1520.
- [5] 何文鸣,吴峰,张昌盛,等. 河岸带土壤重金属元素的污染及危害评价[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 1993-2001.
- [6] 王建国,杨林章,单艳红,等. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 176-183.
- [7] Shen G Q, Lu Y T, Wang M N, et al. Status and fuzzy comprehensive assessment of combined heavy metal and organo-chlorine pesticide pollution in the Taihu Lake region of China [J]. Journal of Environmental Management, 2005, 76: 355-362.
- [8] Onkal-Engin G, Demir I, Hiz H. Assessment of urban air quality using fuzzy synthetic evaluation [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(23): 3809-3815.
- [9] 徐华君. 土壤重金属污染评价中的模糊综合决策问题[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 1994: 88-92.
- [10] 岳子明,李晓秀,高晓晶. 北京通州区土壤环境质量模糊综合评价[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1402-1405.
- [11] 王晓丹,倪师军,张成江. 成都市土壤质量的模糊综合评价[J]. 物探化探计算技术, 2006, 28(1): 47-48.
- [12] 汪雅各. 农业环境标准实用手册[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1991: 32.
- [13] Chen T B, Wei C Y, Huang Z C, et al. Arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. and its arsenic accumulation [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(11): 902-905.

【责任编辑: 黄 敏】