

扬州市职业大学

毕业设计说明书

题目：瓜洲饮用水源地土壤重金属
污染调查与评价

学 院： 生物与化工工程学院

专 业： 应用化工技术

班 级： 化工 1301

学生姓名： 肖 蓉

学 号： 130702134

指导教师： 马武生

张瑜蓉（企业）

完成时间： 2016 年 5 月

摘要

为了获取集中式饮用水源地土壤中重金属元素的含量及分布,以瓜洲土壤重金属背景值为标准,分析了瓜洲水源地中 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni、Co、Hg、As 和 Se 的含量,分别利用了单因子指数法、尼梅罗综合指数法对水源地土壤中重金属污染水平进行了评价。结果表明:水源地土壤中 Cd 超过二级标准的样品数最多,超标率为 73% (平均含量 $0.441 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、而 Cr 和 Ni 超标率为 10%左右。土壤中 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Se 平均含量均超过环境背景值,存在污染的表层积累。Ni、Co 和 As 平均含量与环境背景值相当,但由于变异系数较大,故均有点位超过环境背景值。分别选用 GB 15618-1995 一级标准、二级标准和江苏省土壤背景值为评价参照值,结果显示,瓜洲水源地土壤存在一定程度的重金属累积情况,处于轻微-中等程度的污染水平,其中 Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn 已接近或已处于预警水平。采用潜在生态危害指数法进行重金属潜在生态风险指数评价。结果表明:各种金属元素的潜在生态危害系数 E_r^i 平均值大小顺序为 Cd(66.15) > Hg(43.47) > As(12.07) > Cu(12.03) > Pd(8.87) > Co(5.33) > Ni(4.90) > Cr(3.45) > Zn(2.28),除了 Cd 和 Hg 重金属 E_r^i 的平均值大于 40,各重金属 E_r^i 的平均值都小于 40 处于轻微生态风险,RI 最小值处于轻微生态危害,而最高值达到中等生态危害,从总体来看,研究区土壤生态危害级别为轻微生态危害。本研究为该地区饮用水水源地的风险管理与环境保护提供科学依据。

关键词: 重金属; 瓜洲饮用水源地; 污染评价; 土壤

Abstract

In order to obtain the concentrations and distribution of heavy metal elements in soil of Guazhou water source, On the basis of Guazhou such soil background values of heavy metals as Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Co, Hg, As and Se were measured. The degree of heavy metals concentrations was assessed based on single factor indices and Nemero comprehensive indices methods. The results showed that the proportion of soils samples exceeding the Grade II of environmental quality standard for soil of Cd was the largest in all the elements. The over standard rates of Cd were 73% ($0.441 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). The Cr and Ni which is approximately 10%. The average contents of Pb, Cr, Cd, Cu, Zn and Se were higher than the background values and exist the surface accumulation of contamination in three water sources. The average contents of Ni, Co and As is approximately equal to the environmental background and presence of sampling points over the environmental

background values because the coefficient of variation is larger. In this study, the pollution situation of heavy metals in three water sources was evaluated against references of the Grade I and II of environmental quality standard for soil national standard limits and background values of Jiangsu province soil respectively. The result showed that Liaojiagou water sources exist heavy metal accumulation and reached minor - moderate pollution levels, in particular, Cd, Pb, Cr, Cu and Zn has been close to or has been at the level of early warning. Results showed that the order of the average values of the potential ecological risk coefficient E_r^i for the heavy metal element turned out to be the inequality lined as Cd (66.15) > Hg (43.47) > As (12.07) > Cu (12.03) > Pd (8.87) > Co (5.33) > Ni (4.90) > Cr (3.45) > Zn (2.28), In addition to the heavy metals Cd and Hg an average of more than 40, which revealed that the average value of E_r^i for each heavy metal was less than 40, implying the slight ecological risk. Also, while the minimum value of RI was of slight ecological risk, its maximum value was of averaged ecological risk. From an overall point of view, the ecological risk level of the soil in the focused area was of slight ecological risk. These results would provide partly scientific databases for the risk management and environmental protection of this area of drinking water sources.

Key words: heavy metal; Guazhou source of drinking water; pollution evaluation; soil

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	I
1 引言.....	1
1.1 环境污染现状.....	1
1.2 土壤重金属对人体的危害.....	1
1.3 研究目的和意义.....	2
2 材料与方法.....	3
2.1 研究区域概况.....	3
2.2 布点和样品采集.....	3
2.3 样品处理与分析.....	3
2.4 污染水平评价.....	4
2.4.1 评价标准.....	4
2.4.2 评价方法.....	4
3 结果与讨论.....	6
3.1 重金属在土壤中的含量.....	6
3.2 重金属污染现状评价.....	7
3.3 潜在生态风险评价.....	8
3.4 结论.....	8
参考文献.....	9
致谢.....	9

1 引言

1.1 环境污染现状

资源问题以及环境问题是当今世界的热门问题，而在这其中水体污染问题却是全球性的热点问题。随着经济的不断向前推进，很多地区供水量日益缺乏，甚至导致水资源的干枯，但是水是人类赖以生存必不可少的物质之一，一旦水资源出现短缺，那人类的工业、农业将会停滞。当今世界各地已有不少国家严重缺水，这种水资源紧缺现象还在继续发展。与此同时，世界许多地区水资源受到严重污染，水质恶化。农业生产中，人们随意的将化肥、农药喷洒到田地里，工业生产中人类随意排污以及城镇居民的生活污水、发电机的大量热水不做处理直接融入江河。这些原因都可以是造成水污染的重要因素。当水体被污染后，其自净能力不能对上述因素造成完全自净，随着时间的推移，污水情况将日益加重。目前，我国居民对水污染的认识，不断提高对水质检测及分析的准确性、快速性以及在线监测分析的要求也愈来愈高。据统计每年排入大气的气体， CO_2 约为57亿t， CH_4 约为2亿t，排放有害金属Cd为5500t，Al为200万t，Hg为1.1万t，As为7.8万t，超出天然背景值200-300倍^[1]， SO_2 排放诱发酸雨的频度还在增加，面积也在扩大；空气的质量在严重下降，全球大约有8亿人生活在空气污染的城市中。

1.2 土壤重金属对人体的危害

(1) Cd对人体的危害：痛痛病是Cd对人体危害的主要表现症状，它是由于Cd在人体内积累过多，骨质中的Ca被Cd所取代，使骨骼疏松软化，极易骨折且疼痛难忍，并且引起肾功能失调。骨质中Ca被Cd取代的原因是， Cd^{2+} 的离子半径与 Ca^{2+} 的离子半径相似。由于 Ca^{2+} 被置换而产生病症是个缓慢积累的过程，所以潜伏期长，少则十年，多则三十年，病发后很难治愈。另外，Cd会损害肾小管，出现糖尿病，Cd还会引起血压升高，出现心血管病，甚至还可能致癌、致畸。

(2) Hg对人体的危害：Hg对人体的危害主要与它的环境条件、侵入人体的途径、方式以及化学形态有关。日本水俣病发生以来的大量事实和实验证明无机Hg化合物的毒性要远小于有机Hg化合物的毒性。水俣病是环境污染造成的最严重的公害病之一，是由于摄入富集在鱼、贝中的甲基Hg而引起的中枢神经疾患。

甲基Hg主要侵害成年人脑皮层的运动区、视神经听觉区和感觉区，也会侵害小脑。对胎儿的侵害几乎遍及全脑。甲基汞所致脑损伤是不可逆，往往导致死亡，易患终身，迄今尚无有效医疗方法。

(3) Pb对人体的危害：Pb是人体的有害元素，它对人体的危害是积累性中毒。通过食物链而引起人体Pb中毒的现象很少，是因为Pb在土壤中固定为难溶性Pb的能力较强。人体中经饮水、食物进入的铅常以难溶性的 $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ 沉积于骨骼，因而干扰机体多方面的生理活动，可导致便秘、食欲不振、贫血、腹痛等多种症状。Pb也对男性的生殖腺有一定的损害。

(4) Cr对人的危害：少量Cr是人体必需元素，但是Cr在人体内用量一旦超过标准范围，它会使人体代谢造成破坏从而使机体发生病变，可能会发生口交溃烂和腹泻、消化不良等疾病。另外 Cr^{6+} 还是蛋白质与核酸的沉淀剂，它还被怀疑有致癌的作用。

(5) As对人体的危害：元素As在体内不会对人体造成太大的影响，但是As的化合物会对人体造成伤害，例如砒霜(As_2O_3)就是一种毒性极强的 As^{3+} 化合物。 As^{3+} 是

造成人体危害的主要元凶，它会破坏人体的酶系统从而使人体中毒。

1.3 研究目的和意义

通过采集饮用水源地土壤样品，获取土壤中不同重金属元素的含量及分布现状；采用单项污染指数法、尼梅罗综合污染指数法以及潜在生态风险指数法对重金属污染状况进行评价，为该地区饮用水水源地的风险管理与保护提供科学依据。

2 材料与方方法

2.1 研究区域概况

本课题所研究的区域是在距离扬州市 10Km、距仪征市化工园区 20Km 的瓜洲水源地，瓜洲紧邻长江边上与京口隔江而望。瓜洲面积有 46.20km²，是由长江中泥沙冲击而形成的平原。瓜洲镇有水面 5003 亩，是扬州市重要的水源地之一。瓜洲水源地的来源主要来自长江，镇上有第四水厂，每年平均供水量为 3900 多万 t，直接受益于人口为 40.69 万人。近年来随着该区域经济的迅速发展，工、农业和城市建设、居民生活中不断增多的污染物排放，导致该区域地表水质状况恶化，重金属严重超标。

2.2 布点和样品采集

选取水源地一级保护区陆域作为采样范围，采样区域内无违章建筑、无排污口、无规模化畜禽养殖。按照棋盘式布点法进行布点，每个区域设置 30 个以上采样点(如图 1)，采集 0~20cm 表层土壤作为样本。各样点采集平行 3 份样品，均匀混合后，用四分法处理并制得 1~2kg 混合样。混合样品室温风干，去石块、落叶和根茎，玛瑙研钵研磨后过 100 目尼龙筛，自封袋密封备用。

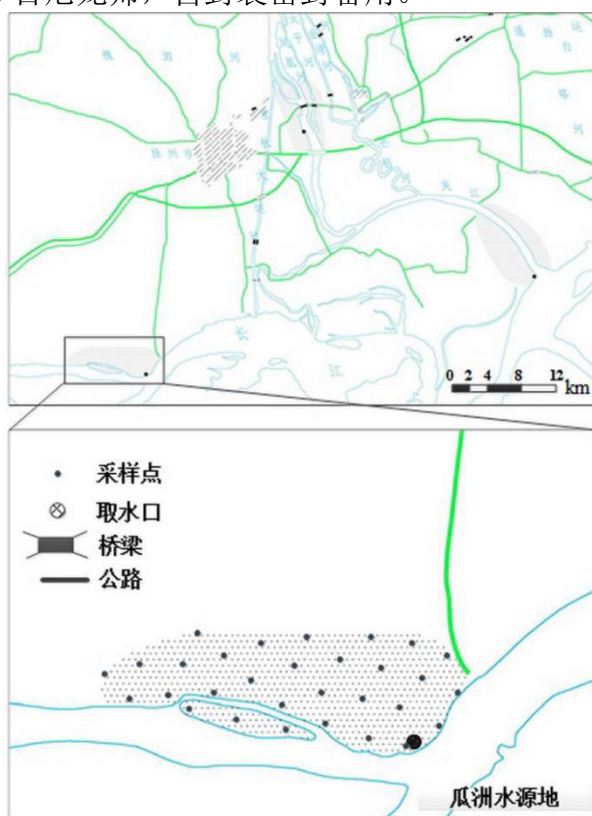


图1 水源地土壤调查采样点分布示意

2.3 样品处理与分析

土壤 pH 及重金属元素测定与分析方法：

(1) 土壤 pH。

实验器材：PHS-3 型 pH 酸度计

实验过程：称取通过 1mm 孔径筛的风干土壤 20.0g，然后放于 50mL 高型烧杯中，加 20mL 去除 CO₂ 水，以搅拌器搅拌 2min，使土粒充分分散，放置 30min 后进行测定。将电极插入待测溶液中（注意玻璃电极球泡下部位于土液界面处）。静置 10min，将读数开关打开，待读数稳定时记下 pH。将读数开关关闭，将电极从待测溶液中取出，用蒸馏水洗涤，然后使用滤纸条将电极上的水分吸干后，即可进行第二个样品的测定。每测 3—4 个样品后，需用标准缓冲溶液进行检查定位。用酸度计测定 pH 时，直接读取 pH。结果保留一位小数，并标明浸提液 pH。本方法规定水土比为 2.5:1。

(2) 土壤 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 和 Co 全量分析。

实验器材：TAS-990AFG 型原子吸收分光光度计

实验过程：仪消解，采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解体系，程序升温至冒浓厚白烟，并蒸发至内容物呈粘稠状^[2-3]。Cu、Zn 采用 DTPA 浸提—原子吸收分光光度法。（用 pH7.3 的 DTPA-CaCl₂ 缓冲溶液作为浸提剂，螯合浸提出土壤中有效态 Cu、Zn，用原子吸收分光光度法测定。）Cd 和 Pb 采用石墨炉原子吸收分光光度法测定。Cr、Ni 和 Co 采用火焰型测定。（TAS-990AFG 型原子吸收分光光度计）。

(3) 土壤 Hg 和 As 全量分析。

实验器材：AFS-933 型原子荧光光度计

实验过程：土壤中各种形态砷的化合物，经硝酸—高氯酸消解后，转变成砷酸或砷酸盐，As⁵⁺在 KMnO₄ 溶液中经过 KI 与 SnCl₂ 溶液还原为 As³⁺，再与 H₂ 生成 AsH₃ 气体，通过乙酸铅棉花消除多余的 H₂S，最终的产物为一种红色络合物。颜色深度与三价砷离子成正比，比色测定。

(4) 土壤 Se 全量分析。

实验器材：AFS-933 型原子荧光光度计

实验过程：土壤样品用含钼酸盐的硫酸—高氯酸消化，使四价以下的无机或有机硒化合物转化为 Se⁴⁺，以盐酸将 Se⁶⁺还原 Se⁴⁺。在酸性条件下，Se⁴⁺与 2,3—二氨基萘作用，用环己烷萃取，在波长 376nm 紫外光照射下，产生强荧光，荧光波长为 520nm，其强度与 Se⁴⁺浓度成正比。重金属离子及大量氧化物对本法测定有干扰，可用 EDTA 及盐酸羟胺消除。

(5) 质量控制。测定全过程按照质量控制要求操作，制备全过程空白溶液，同步测定标准物质或加标回收，测定误差范围≤2%。实验药剂均与标准方法一致，未标注试剂类型均选择优级纯，实验用水为 MiliQ 纯水。

2.4 污染水平评价

2.4.1 评价标准

评价标准执行《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995) 规定限值。鉴于《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 中一级标准值是依据全国 4095 个样点的统计资料所制定^[4]，故该标准中的一级限值可作为当地土壤环境背景值参考依据之一。该标准中的二级标准值为土壤受到污染的警示值，故此将标准中二级标准值作为是否受到污染的评价依据。对于 GB 15618-1995 中没有的评价标准则执行《全国土壤污染状况评价技术规定》(环发[2008]39 号) 中规定限值。另外还选取江苏省土壤背景值调查数据作为参考^[5]。

2.4.2 评价方法

(1) 用单因子指数法对土壤环境质量进行评价^[6]，按如下公式计算单因子指数：

$$P_i = C_i / S_i$$

式中： P_i 为污染物的单项污染指数； C_i 为调查点位土壤中污染物的实测浓度值； S_i 为污染物*i*的评价标准值或参考值。 P_i 值越大，污染程度严重。（土壤环境质量等级见表1）

表1 土壤环境质量等级

分级	单项污染指数 (P_i)	污染等级
0级	$P_i \leq 1$	清洁
1级	$1 < P_i \leq 2$	轻污染
2级	$2 < P_i \leq 3$	中污染
3级	$P_i > 3.0$	重污染

(2) 尼梅罗综合污染指数 (P_N) 计算公式为：

$$P_N = \sqrt{\frac{(C_i/S_i)_{ave}^2 + (C_i/S_i)_{max}^2}{2}}$$

式中： $(C_i/S_i)_{ave}$ 为污染物各单向污染指数的平均值， $(C_i/S_i)_{max}$ 为污染物中单向污染指数的最大值。 P_N 不仅考虑了各种污染物的平均污染水平，同时兼顾污染物中最严重污染所造成的危害。（尼梅罗综合污染指数法所用分级标准如表2所示）。

(3) 潜在生态风险指数法^[7]，由瑞典HaKanson提出，该指数法综合考虑不同重金属含量及毒性水平。计算公式：

$$ERI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad E_r^i = T_r^i C_{表层}^i / C_n^i$$

式中： ERI 为多种重金属综合潜在生态风险指数； E_r^i 为重金属*i*的潜在生态风险指数（表3）； T_r^i 为重金属*i*毒性影响系数，反映了重金属的毒性水平。 $C_{表层}^i$ 为重金属*i*实测浓度值； C_n^i 为重金属*i*评价参照值。

表2 土壤综合污染指数分级标准

分级	综合污染指数(P_N)	污染等级	污染水平
I	$P_{综} \leq 0.7$	安全	清洁
II	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
III	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻污染	土壤已受到污染
IV	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中污染	土壤已受到中度污染
V	$P_{综} > 3.0$	重污染	土壤已受到严重污染

表3 重金属单项潜在生态风险指数 (E_r^i) 和潜在综合风险指数 (ERI) 的风险等级划分

E_r^i	ERI	潜在生态风险程度
<40	<105	低
40~80	105~210	中等

80~160	210~420	较重
160~320	≥420	严重
≥320	-	很严重

3 结果与讨论

3.1 重金属在土壤中的含量

瓜洲饮用水源地土壤中的重金属全量分析结果如表4和图2所示。结果表明瓜洲水源地最小变异系数为16.2% (Cr)，最大变异系数为39.8% (Cd)，说明土壤中重金属含量受外界干扰显著。

通过与环境背景值（以《土壤环境质量标准》中一级标准为主要参考依据，江苏省土壤背景值为辅）对比可知，除Hg外，Cd、Pb、Cr、Cu和Zn元素平均含量均超过了其环境背景值（环境背景值的1.4~2.4倍），瓜洲水源地土壤中该5种重金属的平均含量分别是环境背景值的2.2、1.8、1.8、2.4和2.1倍；Ni、Co和As平均含量位于环境背景值上下，但由于3种元素变异系数较大，瓜洲水源地的As的变异系数分别为26.0%（浓度范围为6.3~24.4 mg·kg⁻¹），故此Ni、Co和As均有采样点位超过环境背景值；Se是煤中除S、N、F、Cl、Br、Hg外极易挥发的微量元素，是煤中潜在的有毒微量元素之一，也是燃煤污染排放的标识元素。在对样品Se检测结果可知，水源地土壤Se平均含量均超过环境背景值，揭示瓜洲水源地存在Se污染的表层积累。

表4 瓜洲饮用水源地土壤中重金属的含量（单位：mg·kg⁻¹）

元素	长江瓜洲水源地(n=30)			环境背景值	
	含量范围	CV%	平均值	一级标准	文献[8]*
Cd	0.158~0.723	39.8	0.441	0.2	0.13
Pb	31.3~94.1	27.9	62.1	35.0	26.2
Cr	100.8~206.3	16.2	160.9	90.0	77.8
Cu	36.6~124.9	33.2	84.2	35.0	22.3
Zn	112.3~332.5	26.5	209.9	100.0	62.6
Ni	23.8~55.1	20.6	40.3	40.0	26.7
Co	8.7~19.0	19.5	13.4	-	12.6
Hg	0.052~0.226	26.1	0.163	0.15	0.29
As	6.3~24.4	26.0	18.0	15.0	10.0

*注：选用A层土壤数据。

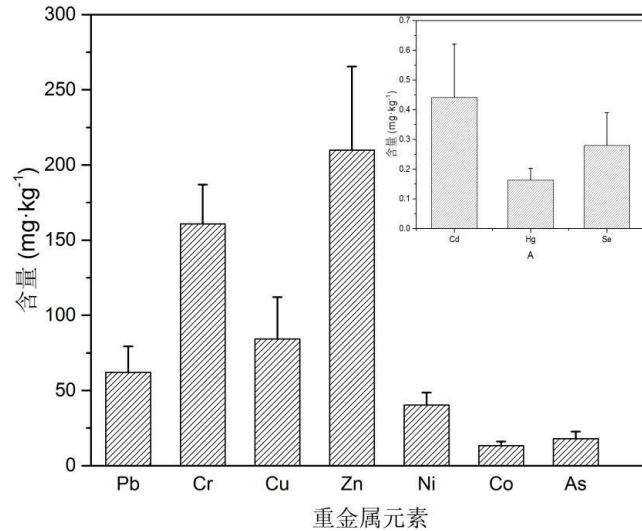


图2 污染样品中重金属的含量

结合相应采样点位样品的pH值，将金属含量与《土壤环境质量标准》中一级标准和二级标准限值进行比对，获得各金属含量在区间的占比（如图3）所示。由图可知，水源地土壤中金属Cd含量超过二级标准的样品数最多，瓜洲水源地Cd超标比分为73%（平均含量为0.441 mg·kg⁻¹），其次是Zn、Pb和Cu，平均超标率分别为30%、20%和18%，而Cr和Ni超过二级标准的样品数比例为10%左右。Co、As和Se含量均未超二级标准，相反，瓜洲水源地土壤中的Co和As相当比例尚未超过环境本底值，这可能与该区域土壤的形成年代有关。

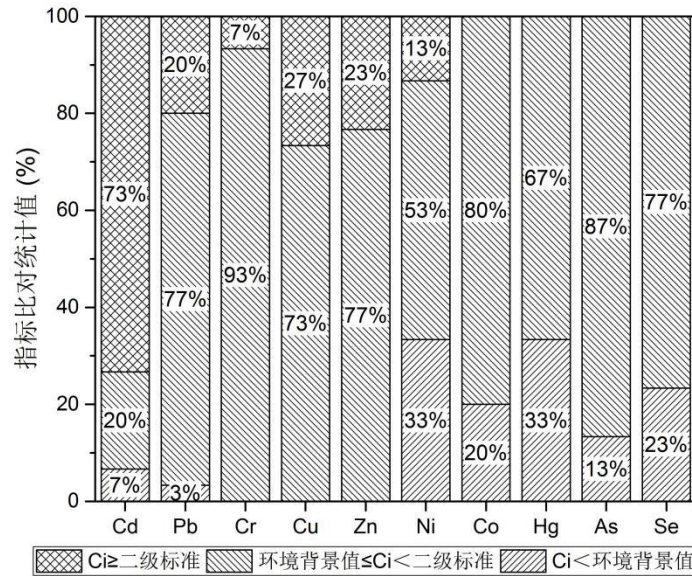


图3 源地采样点位样品金属含量与环境背景值和二级标准比对比例

3.2 重金属污染现状评价

根据单项污染指数和尼梅罗综合污染指数的计算方法，分别选取《土壤环境质量标准》一级标准、二级标准和江苏省土壤背景值作为评价参照值，计算结果见表5。结果表明，按照一级标准作为评价参照值，瓜洲水源地土壤中Cd、Pb、Cr、Cu和Zn的单因子污染指数范围位于1.4~2.4之间，说明水源地土壤重金属表现为富集现象，尤其是Cd、Cu和Zn，属于中等程度污染-重污染。水源地土壤中Ni、Co、Hg、As单

因子污染指数处于0.9~1.2范围之内,属于非污染-轻污染状态。虽然Hg和As处于污染较轻,但由于它们毒性系数大,因此潜在环境危害较大,其发展趋势也应引起关注。结合上文分析讨论可知,该区域Hg处于中等程度污染。Se作为动物体必需的营养元素和植物有益的营养元素,且含量远远低于《全国土壤污染状况评价技术规定》中土壤污染物的干预值(100 mg·kg⁻¹),故Se不参与评价。对于尼梅罗综合污染指数,瓜洲水源地土壤 P_N 位于2左右,进一步说明土壤已受到轻微污染或中等程度污染。若取江苏省土壤背景值作为参照,则瓜洲水源地 P_N 位于3左右,说明土壤已受到较严重污染。若取二级标准作为评价参照值,瓜洲水源地土壤已受到轻度污染。

总的来说,瓜洲水源地土壤存在一定程度的重金属累积情况,处于轻度-中等程度的污染水平,尤其是Cd、Pb、Cr、Cu和Zn,已接近或已处于预警水平。

表5 瓜洲处饮用水源地土壤中重金属污染指数

水源地	评价参照值	单因子污染指数 (P_i)										P_N
		Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Co	Hg	As		
长江瓜洲水源地	GB 15618-1995一级标准	2.2	1.8	1.8	2.4	2.1	1.0	-	1.1	1.2	2.1	
	江苏省土壤背景值	3.4	2.4	2.1	3.8	3.4	1.5	1.1	0.6	1.8	3.1	
	GB 15618-1995二级标准	1.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	0.6	1.2	

3.3潜在生态风险评价

根据潜在生态风险指数法进行评价,从(表6)可以看出单金属元素潜在生态风险 $Cd > Hg > As > Cu > Pb > Co > Ni > Cr > Zn$,其中重金属Cd潜在生态风险指数最小值为23.7,最大值为108.45,其平均值为66.15,属于中等潜在风险程度,而Hg的的潜在生态指数平均值为43.47,也属于中等潜在风险程度。

表6 潜在生态风险程度划分

	系数	Cd	Pd	Cr	Cu	Zn	Ni	Co	Hg	As	RI
E_r^i	最小值	23.7	5.24	2.74	5.23	1.12	3.18	3.45	13.87	4.47	63
	最大值	108.45	13.66	4.81	17.87	3.33	6.81	8.02	57.87	16.27	237.09
	平均值	66.15	8.87	3.57	12.03	2.01	5.04	5.33	43.47	12.07	158.63
	危害程度	中等	低	低	低	低	低	低	中等	低	中等

3.4 结论

(1) 瓜洲水源地土壤中重金属含量分布较为分散,受外界干扰比较显著。水源地土壤中Cd、Pb、Cr、Cu、Zn和Se平均含量均超过环境背景值,存在污染的表层积累。Ni、Co和As均有点位超过环境背景值。

(2) 采用一级标准做评价参照值,水源地已受到污染或中等程度污染,若取二级标准作参照,瓜洲水源地土壤受到轻度污染。总体来说,瓜洲水源地土壤存在一定程度的重金属累积情况,处于轻度-中等程度的污染水平,其中Cd、Pb、Cr、Cu和Zn已接近或已处于预警水平。

(3) 采用潜在生态风险指数法评价了研究区域土壤重金属潜在的生态危害,认为该区域Pb、Cr、Cu、Zn、Ni、Co、As的潜在风险指数都低于40,属于低等风险程度,而Cd、Hg的潜在风险指数在40到80之间为中等的生态风险程度。

参考文献

- [1]严金龙, 潘梅, 杨百忍, 等. 环境检测与实训[M]. 北京:化学工业出版社, 2014.
- [2] Rice, E., Bridgewater, L. Association APH: Standard methods for the examination of water and wastewater[J]. American Public Health Association, 2012.
- [3] 中国环境监测总站, 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室. 环境监测方法标准实用手册(第3册):土壤、固体废物和生物监测方法(第1版)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [4] 谢小进, 康建成, 李卫江, 等. 上海宝山区农用土壤重金属分布与来源分析[J]. 环境科学, 2010, 31 (3): 768-774.
- [5] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1996.
- [6] 石光辉. 土壤及固体废物检测与评价[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2008.
- [7] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- [8] 中国环境监测总站, 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室. 环境监测方法标准实用手册(第3册):土壤、固体废物和生物监测方法(第1版)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.

致谢

美好的三年大学时光如流星般转瞬即逝,在这最后迎接我们的就是毕业论文。本次论文我非常感谢我的指导老师马武生老师、张睿老师以及企业老师张瑜蓉老师对我的极大帮助,在他们细心的指导下我才能完成本次论文。在刚开始写论文的时候,我感到无从下手不知从何写起,通过和指导老师的沟通与交流我才慢慢有了一些写作思路,首先我在写论文的时候阅读大量的书籍与文献,然后通过实验数据来论证我的观点,最后才进行论文的写作。在这期间,指导老师为我提供了很多帮助,给我找了许多宝贵的文献与资料,在我论文的写作上也给了我许多建议,在这最后我对我的指导老师表示最真诚的感谢!