

扬州市职业大学

毕业设计说明书

题目：扬州集中式饮用水源地土壤中
重金属来源解析

学 院：	生物与化工工程
专 业：	应用化工技术
班 级：	化工 1301
姓 名：	王 庭
学 号：	130702128
指导教师：	张 睿
	李益萍（企业）
完成时间：	2016 年 5 月

摘要

为获取扬州集中式饮用水源地重金属的含量及分布,分析了廖家沟饮用水源地、瓜洲饮用水源地、三江营江都饮用水源地土壤中重金属铬(Cr)、镉(Cd)、铅(Pb)、铜(Cu)、镍(Ni)、锌(Zn)、钴(Co)、汞(Hg)、硒(Se)和砷(As)的含量及分布。按照棋盘式布点法进行布点采样,对样品进行原子荧光法测定与分析。采用尼梅罗综合污染指数法和单因子污染指数法对土壤中重金属污染水平进行评价,并提取污染源和污染效应方面的有效信息。采用聚类分析对水源地土壤中重金属进行层次聚类分析和主成分分析,从而进一步分析了水源地土壤中重金属的来源及分类。通过层次聚类分析将瓜洲和廖家沟水源地土壤中的 10 种元素可分为差异明显的 4 类,第 I 类为 Cd、Se、Hg、Co 和 As,来源有燃煤、内燃机尾气造成的重金属干、湿沉降和“施肥因素”、“污灌因素”等;II 类为 Pb、Ni 和 Cu,代表了交通和工业污染;第 III 和第 IV 类分别为单一元素 Cr 和 Zn,来源为“农药因素”、“施肥因素”及其他因素。通过主成分分析对水源地土壤中 10 种重金属共提出 3 个主成分的趋势进行初步研究,并进一步进行来源判析。

关键词: 重金属; 土壤; 集中式饮用水水源地

目 录

摘要.....	I
1 前言.....	1
1.1 集中式饮用水源.....	1
1.2 目前扬州饮用水源地现状.....	1
1.3 水源地土壤重金属来源.....	1
1.3.1 工业污染源.....	1
1.3.2 农业污染源.....	1
1.3.3 生活污染源.....	1
1.4 本课题研究的内容及意义.....	1
2 实验与分析.....	2
2.1 研究区域概况.....	2
2.2 布点和样品采集.....	2
2.3 样品处理与分析.....	3
2.4 污染水平评价.....	3
2.4.1 评价标准.....	3
2.4.2 评价方法.....	3
2.5 多元统计分析方法简介.....	4
2.5.1 层次聚类分析法.....	4
2.5.2 主成分分析法.....	4
3 结果与讨论.....	5
3.1 重金属在土壤中的含量.....	5
3.2 重金属的来源与聚类解析.....	6
3.2.1 重金属来源分析.....	6
3.2.2 重金属元素间关联度的层次聚类分析.....	7
3.2.3 重金属元素间关联度的主成分分析.....	8
参考文献.....	13
致谢.....	14

1 前言

1.1 集中式饮用水源

集中式饮用水源指饮用水进入到输水管道网中输送到每家每户和提供饮用水规模超过 1000 人的饮用水水源地^[1]。饮用水是人类生存的最基本要求,饮用水水质的优劣直接影响人们的身体健康,饮用水安全也是人们基本的生存权。

1.2 目前扬州饮用水源地现状

目前全国水源地土壤污染都呈现逐年恶化,廖家沟水源地临近市区,与古运河及城市内河相通,水源地土壤最容易受到生活污水的污染。瓜州上游有扬州化学工业园区等主要工业污染源,受到上游化工企业的废水排放污染较为明显。三江营江都水源地为沿江区,林地和水域比例较高,农作物经过农业、肥料的灌溉,鱼禽养殖喂养的饲料长期积累在土壤和水体中重金属,造成土壤和水体的有毒性。3 处水源地土壤都存在一定程度的重金属累积情况,处于轻度或中度污染状态。

1.3 水源地土壤重金属来源

1.3.1 工业污染源

伴随我国工业化快速发展,产生的废渣和废气对周边环境的严重破坏,向土壤和水体中排放有毒有害物质(如重金属、多环芳烃污染物等)。

1.3.2 农业污染源

农作物经过农业、肥料的灌溉,鱼禽养殖喂养的饲料长期积累在土壤和水体中重金属,造成土壤和水体的有毒性。

1.3.3 生活污染源

排放生活污水和垃圾而造成土壤和水体的污染。

1.4 本课题研究的内容及意义

通过采集 3 处饮用水源地土壤样品,采用单因子污染指数法和尼梅罗综合污染指数法分析土壤中不同重金属元素的含量及分布现状;基于文献数据比对与多元统计分析,提取污染源和污染效应方面的有效信息,并利用聚类分析对水源地土壤中重金属进行层次聚类分析和主成分分析。通过层次聚类分析将瓜洲和廖家沟水源地土壤中的 10 种元素可分为差异明显的 4 类,第 I 类为 Cd、Se、Hg、Co 和 As;第 II 类为 Pb、Ni 和 Cu;第 III 类和第 IV 类分别为单一元素 Cr 和 Zn。并且将它们的来源进行归类;通过主成分分析对水源地土壤中 10 种重金属共提出 3 个主成分的趋势进行初步研究,并进一步进行来源判析。本课题为扬州该地区集中式饮用水源地的风险评测与环境保护提供了一定的科学依据。

2 实验与分析

2.1 研究区域概况

选取江苏省扬州地区 3 处大型集中式水源地：廖家沟、瓜洲和三江营江都水源地土壤作为本次研究对象。其中廖家沟水源地一级保护区位于城镇区，居民点用地所占比重大，耕地相对较低，草地、林地和未利用土地很少。瓜洲水源地和三江营江都水源地为沿江区，林地和水域比例较高，园地和耕地比例较低。基本信息如表 2-1 所示。

表 2-1 扬州地区三处饮用水源地基本信息

水源地	供水水源	涵盖水厂	供水量 万吨/年	供水人口/ 万人
廖家沟水源地	淮河入江水道	第一、第三水厂	5.332×10^3	45.0
瓜洲水源地	长江	第四水厂	3.944×10^3	40.7
三江营江都水源地	长江	第五水厂	3.525×10^3	36.4

2.2 布点和样品采集

选取水源地一级保护区陆域，区域内没有违章建筑、排污口、规模化畜禽养殖作为采样范围。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 2-1），采集 0 至 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 至 2kg 混合样。混合样品室温风干，去除杂质，玛瑙研钵研磨后过 100 目尼龙筛，自封袋密封贮藏备用。

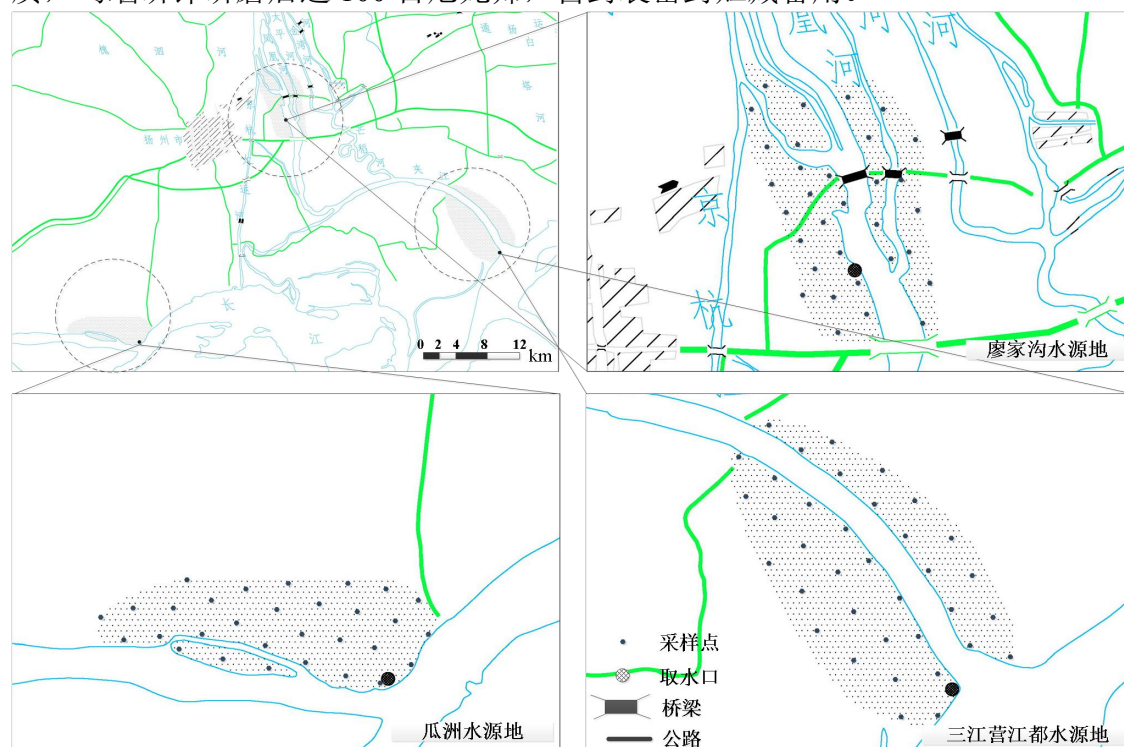


图 2-1 水源地土壤调查采样点分布示意

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。参照《土壤 PH 的测定》进行处理。水土比为 2.5:1 混合后, 剧烈搅拌 5 分钟, 静置 2 小时, 采用 PHS-3 型 pH 酸度计进行 pH 计法测定。

(2) 土壤 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 和 Co 全量分析。使用 SH230 型石墨消解仪消解, 当程序升温至冒浓厚白烟, 并蒸发至内容物呈粘稠状^[2,3]。Cd 和 Pb 采用 TAS-990AFG 型原子吸收分光光度计进行石墨炉原子吸收分光光度法测定, Cr、Cu、Zn、Ni 和 Co 采用火焰型测定。

(3) 土壤 Hg 和 As 全量分析。样品采用王水法 (1:1) 于沸水浴中消解 2 小时^[4,5], 采用 AFS-933 型原子荧光光度计进行原子荧光法测定。

(4) 土壤 Se 全量分析。使用 SH230 型石墨消解仪 165~175℃ 消煮^[6], 采用 AFS-933 型原子荧光光度计进行原子荧光法测定。

(5) 质量控制。测定全过程按照质量控制要求进行操作, 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%。

2.4 污染水平评价

2.4.1 评价标准

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^[7], 所以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可作为土壤是否受到污染的评价依据。另外还选取江苏省土壤背景值调查数据作为参考^[8]。

2.4.2 评价方法

采用单因子污染指数法和尼梅罗综合污染指数法分别对 3 处饮用水源地土壤中重金属污染状况进行评价。单因子污染指数法公式为: $P_i = C_i/S_i$

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。

$$\text{尼梅罗综合污染指数 } (P_N) \text{ 公式为: } P_N = \sqrt{\frac{(C_i/S_i)_{ave}^2 + (C_i/S_i)_{max}^2}{2}}$$

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中最严重污染所造成的危害, 同时兼顾污染物的平均污染水平。尼梅罗综合污染指数法所用分级标准(如表 2-2)。

表 2-2 尼梅罗综合污染指数法

分级	综合污染指数(P_N)	污染等级	污染水平
I	$P_N \leq 0.7$	安全	清洁
II	$0.7 < P_N \leq 1.0$	警戒线	尚清洁

III	$1.0 < P_N \leq 2.0$	轻污染	轻度污染
IV	$2.0 < P_N \leq 3.0$	中污染	中度污染
V	$P_N > 3.0$	重污染	严重污染

2.5 多元统计分析方法简介

统计学方法经常被用于土壤重金属污染的来源解析,本文采用层次聚类分析法和主成分分析法对水源地土壤重金属的来源进行初步的分析。

2.5.1 层次聚类分析法

聚类分析是一种探索性的模式识别技术^[9],在实际应用中,层次聚类分析应用最为广泛,其原理是将所有指标或变量各自看成一类,选择相似程度最大的(距离系数最小或相似系数最大)两类合并为一个小类,并逐步扩大至所有的变量,最终形成一个谱系图,最终达到分类的目的^[10]。其主要特点有:如果观测的变量或指标被划定类别后那么它的分类结果就不会更改,其中变量可以为连续或分类变量^[11]。

2.5.2 主成分分析法

主成分分析也称为主分量分析,是一种通过降维来简化数据的方法,把多个变量或指标化为少数综合变量或指标,通过几个综合变量或指标可以了解到原先多个变量或指标的大部分信息。为了使这些综合变量所含的信息不发生互相冲突或数据重叠,应要求它们之间互不相关^[12]。

3 结果与讨论

3.1 重金属在土壤中的含量

结果表明,不同样品间的重金属含量分布较为离散,如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。不同水源地间金属的变异系数又具有区域性,如三江营江都水源地 Hg 的变异系数为 36.1%, 平均含量且均超过环境背景值近 2 倍, 明显高于瓜洲和廖家沟水源地, 说明三江营江都水源地受污染程度与其他水源地不同。

对比可知,除 Hg 外,其他 8 种重金属在 3 处水源地具有较好的相容关系,即: Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn 元素平均含量均超过了其环境背景值的 1.4 至 2.4 倍,如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。3 处饮用水源地土壤中的重金属全量分析结果如表 3-1。

表 3-1 三处饮用水源地土壤中重金属的含量 (单位: mg/kg)

元素	瓜洲水源地(n=30)			廖家沟水源地(n=32)			三江营江都水源地(n=36)			背景值
	含量范围	CV%	平均值	含量范围	CV%	平均值	含量范围	CV%	平均值	一级标准
Cd	0.158~0.723	39.8	0.441	0.156~0.41	29.6	0.273	0.241~0.828	30.2	0.407	0.2
Pb	31.3~94.1	27.9	62.1	38.8~92.0	29.8	62.0	36.6~95.5	23.9	64.6	35.0
Cr	100.8~206.3	16.2	160.9	121.6~200.3	13.0	155.2	80.6~205.3	22.1	145.5	90.0
Cu	36.6~124.9	33.2	84.2	60.6~122.4	18.6	84.5	38.8~103.4	27.2	73.1	35.0
Zn	112.3~332.5	26.5	209.9	129.7~382.5	30.8	227.7	149.3~290.6	16.7	215.9	100.0
Ni	23.8~55.1	20.6	40.3	30.5~50.1	15.0	39.2	27.6~51.5	17.5	36.5	40.0
Co	8.7~19.0	19.5	13.4	8.9~20.2	23.2	12.9	8.7~20.2	23.9	12.8	-
Hg	0.052~0.226	26.1	0.163	0.083~0.189	24.2	0.138	0.152~0.565	36.1	0.292	0.15
As	6.3~24.4	26.0	18.0	9.1~27.2	25.8	15.6	10.2~19.8	15.1	15.1	15.0
Se	0.12~0.62	39.7	0.28	0.13~0.75	45.9	0.35	0.13~0.67	46.2	0.29	-

*注: 选用 A 层土壤数据。CV%为计算变异系数

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,获得各金属含量在三区间的占比,如图 3-1 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、廖家沟和三江营江都水源地各种金属含量从高至低的顺序为: Cd > Zn > Pb > Cu > Cr > Ni,其平均超标率为 70%、30%、20%、18%。Co、As 和 Se 含量均未超二级标准。

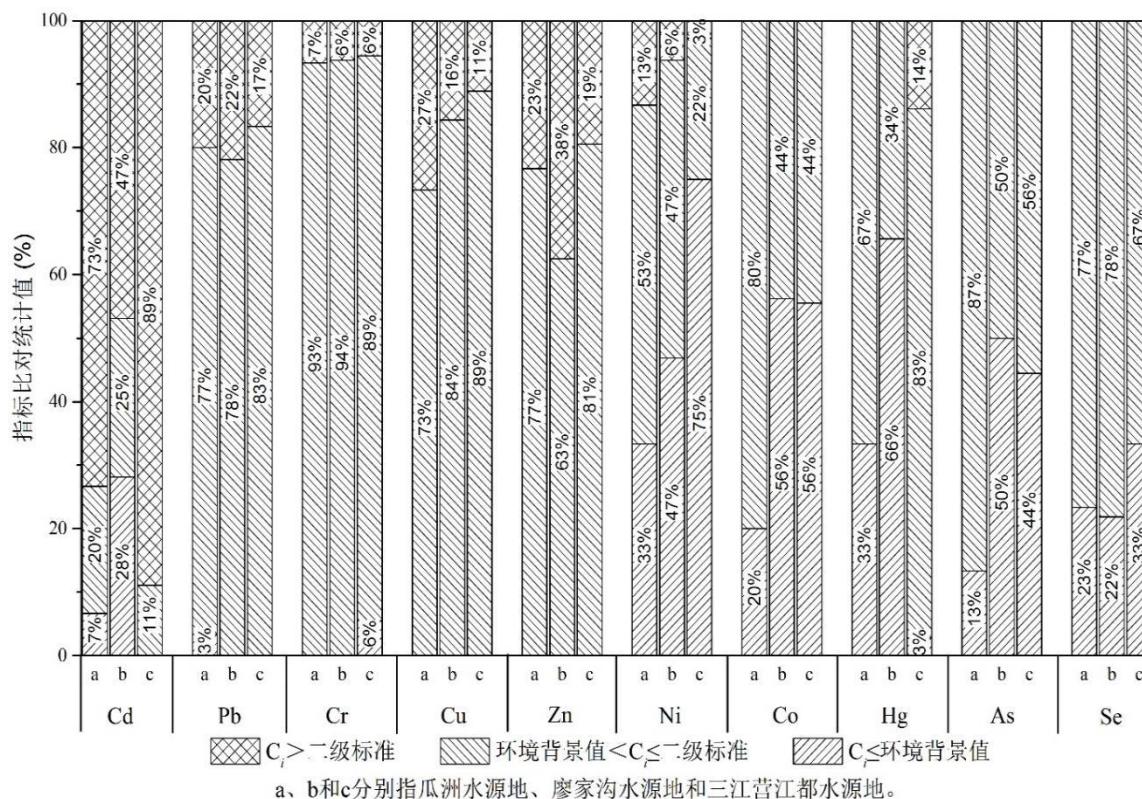


图 3-1 水源地采样点位样品金属含量与环境背景值和二级标准比对比例

3.2 重金属的来源与聚类解析

3.2.1 重金属来源分析

综上可知，所有检测项目中重金属 Cd 污染最为严重。结合水源地地理位置与土壤历史发展，可能有如下原因：

(1)研究区域均存在农业种植情况，耕种中施用磷肥、含磷复合肥及农业秸秆和垃圾为原料有机肥的现象较为普遍。这些肥料中混杂微量 Cd 和 Cr，因此可以将水源地土壤中 Cd 和 Cr 积累解释为“施肥因素”。

(2)可能存在土壤历史污水灌溉或地表径流造成的 Cd 累积。如我国学者通过对污灌区重金属分布的研究，表明土壤中 Cd、Cr、Cu、Zn 和 Pb 等重金属富集趋势明显^[13-16]

(3)内燃机尾气以及机械磨损产生的重金属贡献。骆永明等^[17]通过土壤磁化率解析重金属来源认为，土壤中 Cd 污染与机动车尾气排放的相关性较强。

水源地土壤中 Pb 平均含量接近环境本底值 2 倍的原因有：

(1)取样区域位于城镇区域或者存在居民生活用地历史，生产和生活所产生的废弃物分解所造成的污染贡献。

(2)水源地存在道路或临近航道，存在机动车、船只尾气污染的可能。土壤中 Pb 的积聚与交通业密切相关，来源汽油和柴油燃烧后废气的扩散和沉降。因此可以将水源地土壤中 Pb 积累解释为“内燃机尾气排放因素”。

水源地土壤中 Zn 平均含量为环境本底值的 2 倍以上，原因可能包括：“农药因素”、“施肥因素”和“工业地表径流污染”等。

水源地土壤 Cu 含量均比较高，这可能与该区域历史发展中鱼禽养殖有关，

据报道,含 Cu 添加剂的动物饲料可导致土壤或水体沉积物 Cu 含量偏高^[18]。邵学新等^[13]通过研究工业企业对土壤中重金属的贡献,得出工业和养殖业将导致 Cu、Cd、Pb、Hg 等重金属在周边土壤的积累。

刘洪莲等^[6]通过对金属冶炼厂附近土壤中 Se 的调查分析,认为 Se 与 Cd、Pb 和 Hg 等重金属污染存在较大相关性,将之归结为“燃煤因素”。在本研究中,3 水源地土壤中 Se 元素均高于环境背景值,存在较高的表层积累,而 Se 作为燃煤污染排放的标识元素,故可将水源地土壤中 Cd、Pb 和 Hg 等重金属元素的污染原因部分解释为“燃煤因素”。另外,通过对燃煤电厂周边土壤 Hg 含量进行了系统研究,认为燃煤电厂是人为 Hg 排放的最重要来源之一,源自颗粒污染物的沉降。三江营江都水源地土壤 Hg 平均含量为环境背景值的两倍以上,除上述燃煤因素外,也有可能来源于该区域的农业生产活动,如一些含 Hg 农药和除草剂的使用^[19]。

3.2.2 重金属元素间关联度的层次聚类分析

采用聚类分析对水源地土壤重金属进行层次聚类分析,并进一步进行来源判断。10 种元素聚类结果如图 3-2 所示。

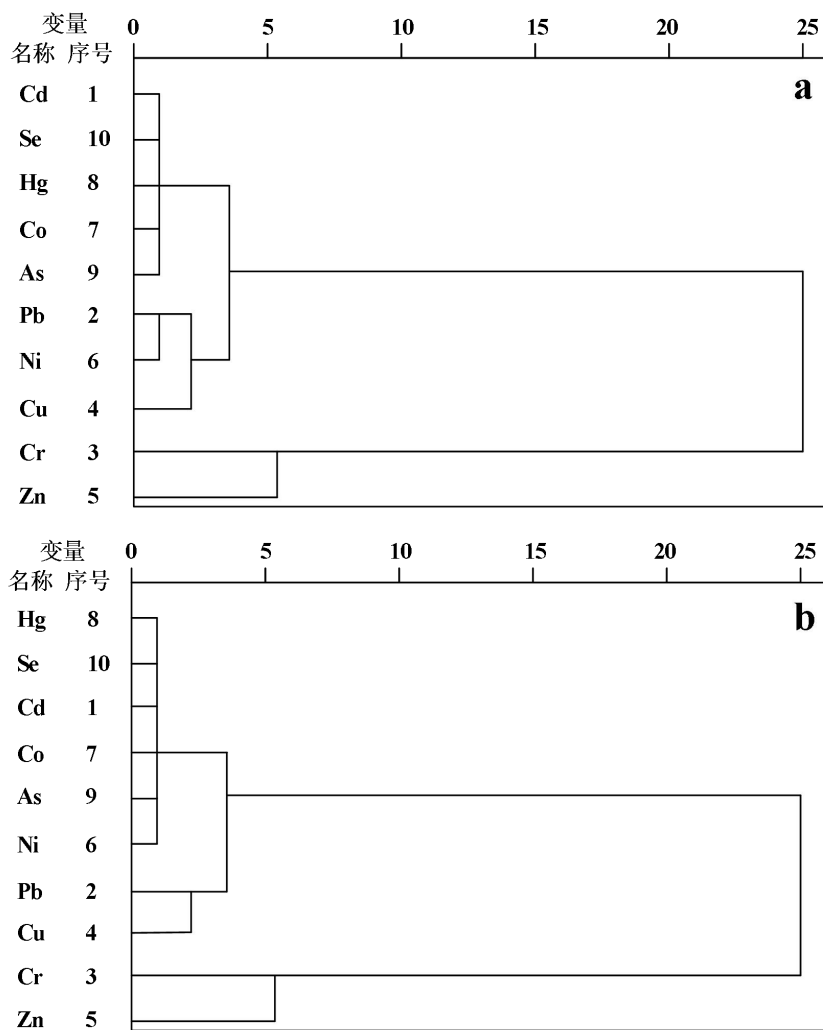


图 3-2 水源地土壤重金属分层聚类树形图

(a 代表瓜洲水源地, 廖家沟水源地与瓜洲水源地相同; b 代表三江营江都水源地)

从图 3-2a 中可以看出,瓜洲和廖家沟水源地土壤中的 10 种元素可分为差异明显的 4 类:第 I 类为 Cd、Se、Hg、Co 和 As;第 II 类为 Pb、Ni 和 Cu;第 III 类和第 IV 类分别为单一元素 Cr 和 Zn。I 类中 Se 是燃煤污染排放的标识元素,且土壤中超过环境背景值的 Se 样品数比例大于 70%,受到较重的人为因素,推断 I 类元素来源以燃煤、内燃机尾气造成的重金属干、湿沉降为主。另外,金属 Cd 含量异常偏高,可推断 I 类元素来源还存在其他因素的叠加,如“施肥因素”、“污灌因素”等。II 类元素中, Pb 含量几乎全部超过环境本底值,且平均浓度较高,符合“内燃机尾气排放因素”的推断, Cu 则归因于工业和养殖业的贡献,所以 II 类元素代表了交通和工业污染。Zn、Cr 和其他任何元素的相关性都不显著,并且具有面源污染和轻微-中等程度污染的特征,推断 Zn 元素来源为“农药因素”、Cr 元素来源为“施肥因素”及其他因素。与图 3-2a 相比,图 3-2b 将 Ni 聚为第 I 类,即为 Hg、Se、Cd、Co、As 和 Ni,说明三江营江都水源地土壤中这些元素具有较好的伴生关系, Ni 和 II 类元素 (Pb 和 Cu) 具有不同的来源。

3.2.3 重金属元素间关联度的主成分分析

通过主成分分析对水源地土壤重金属的趋势进行初步研究,并进一步进行来源判析。10 种重金属共提出 3 个主成分如表 3-(3-5) 所示,瓜洲水源地重金属因子变量上的载荷量分别为:51.32%、14.21%和 8.46%,三江营江都水源地分别为:4.71%、1.78%和 1.05%,廖家沟水源地分别为:29.80%、15.04%和 13.20%。由于瓜洲水源地和三江营江都水源地均为沿江地区,林地和水域比例较高,所以对外界环境比较敏感,受外界环境的影响,又受水体沉积物及水质变化的影响,因此导致这 3 种主成分贡献率较小。从表中可以看出,在第一主成分上, Cd、Co、Cu 和 As 都具有较大的正载荷,来源可归于“施肥因素”、“污灌因素”和鱼禽养殖导致土壤或水体沉积重金属含量较高;第二主成分上, Pb、Cr、Se、Ni 和 Zn 具有较大正载荷,其来源可能为“内燃机尾气排放因素”、“农药因素”、“施肥因素”和“工业地表径流污染”等;第三主成分上, Hg 具有较大正载荷,可能来源于该区域的农业生产活动,如一些含 Hg 农药或除草剂的使用。

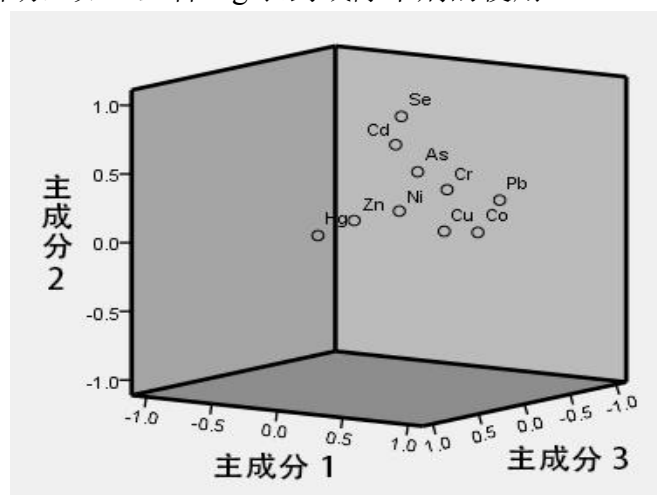


图 3-3-a 水源地土壤重金属因子载荷散点图 (长江瓜洲水源地)

表 3-2 重金属在因子变量上的载荷量（长江瓜洲水源地）

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3
Cd	-0.161	0.526	0.208
Pb	0.524	-0.072	-0.33
Cr	0.162	0.039	0.013
Cu	0.208	-0.159	0.118
Zn	0.144	-0.162	-0.023
Ni	-0.171	-0.151	-0.138
Co	0.5	-0.244	0.003
Hg	-0.129	-0.107	0.949
As	0.011	0.224	0.021
Se	-0.226	0.7	-0.218
特征值	5.132	1.421	0.846
贡献率/%	51.321	14.21	8.459
累计贡献率/%	51.321	65.531	73.991

主成分 1 中 Pb 和 Co 的载荷量较为相似，所以它们的来源可能是内燃机尾气的排放；主成分 2 中 Cd 和 Se 较为相似，它们的来源可分为“施肥因素”、“污灌因素”和燃煤污染；主成分 3 中 Hg 的载荷量最高，说明它的来源于与其他重金属来源不同。

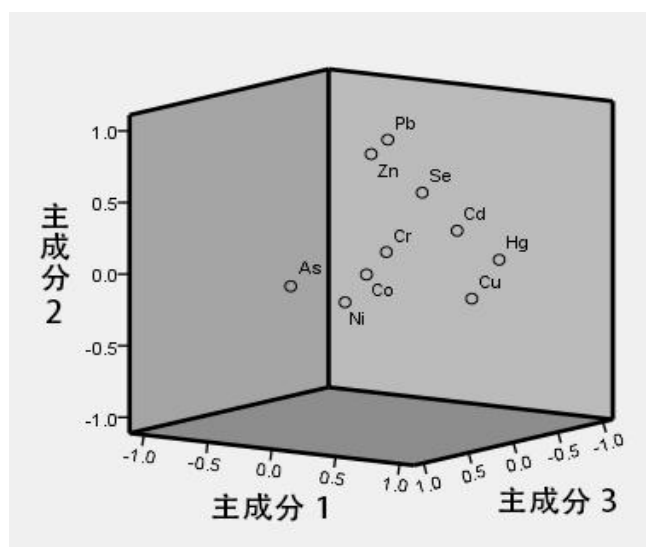


图 3-3-b 水源地土壤重金属因子载荷散点图（廖家沟水源地）

表 3-3 重金属在因子变量上的载荷量（廖家沟水源地）

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3
Cd	0.31	0.056	0.07
Pb	-0.123	0.492	-0.132
Cr	-0.038	-0.072	0.009
Cu	0.446	-0.255	0.133
Zn	-0.125	0.411	0.06
Ni	-0.005	0.056	-0.119
Co	-0.006	0.076	-0.093
Hg	0.371	-0.061	-0.347
As	-0.008	-0.066	0.864
Se	0.208	0.357	0.07
特征值	2.98	1.504	1.32
贡献率/%	29.797	15.042	13.203
累计贡献率/%	29.797	44.838	58.041

主成分 1 中 Cd 和 Hg 的载荷量较为相似，来源可归结于“施肥因素”、“污灌因素”及含 Hg 农药和除草剂的使用；主成分 2 中 Cd 和 Ni 的来源相同；主成分 3 中 Cd、Zn 和 Se 的载荷量较为相似，来源有“内燃机尾气排放因素”、“农药因素”、“施肥因素”和“工业地表径流污染”等。

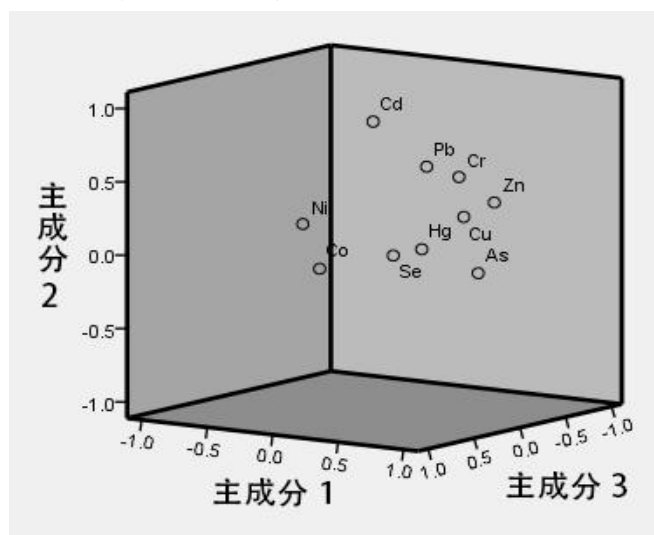


图 3-3-c 水源地土壤重金属因子载荷散点图（三江营江都水源地）

表 3-4 重金属在因子变量上的载荷量（三江营江都水源地）

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3
Cd	-0.145	0.72	-0.068
Pb	-0.077	0.294	-0.027
Cr	0.102	0.23	-0.092
Cu	0.293	-0.043	0.055
Zn	0.339	0.075	-0.204
Ni	-0.238	0.021	0.663
Co	0.132	-0.187	0.503
Hg	-0.159	-0.244	0.121
As	0.551	-0.346	0.049
Se	-0.01	-0.008	0.065
特征值	4.709	1.777	1.052
贡献率/%	47.095	17.77	10.521
累计贡献率/%	47.095	64.864	75.385

主成分 1 中 Cr 和 Co 的载荷量较为相似，来源于“施肥因素”及其他因素；主成分 2 中 Pb 和 Cr 的来源可归结于交通和工业污染；主成分 3 中 Cu、As 和 Se 的载荷量较为相似来源于工业、养殖业以及燃煤污染。

4 结论

1、3 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，Ni、Co 和 As 均有点位超过环境背景值。三江营江都水源地土壤中的 Hg 存在不同于另外两水源地的污染物来源。

2、采用一级标准做评价参照值，3 水源地已受到污染或中等程度污染，若取二级标准作参照，则廖家沟水源地尚处于清洁状态，而瓜洲和三江营江都水源地土壤均已受到轻度污染。总体来说，3 水源地土壤都处于轻度-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。其含量由高到低的顺序为： $Cd > Zn > Pb > Cu > Cr > Ni > Hg > Co > As > Se$ 。

3、经层次聚类分析，水源地土壤中 10 种元素可分为 4 类：I 类元素来源归因于燃煤、施肥因素和污灌等混合因素；II 类元素符合“内燃机尾气排放因素”的特征，代表了交通和工业污染；II 类元素和 IV 类分别为 Cr、Zn 它们和其他任何元素的相关性都不显著，推断其来源分别为“农药因素”、“施肥因素”及其他因素。

4、在第一主成分上，Cd、Co、Cu 和 As 都具有较大的正载荷，来源可归于“施肥因素”、“污灌因素”和鱼禽养殖导致土壤或水体沉积重金属含量较高；第二主成分上，Pb、Cr、Se、Ni 和 Zn 具有较大正载荷，其来源可能为“内燃机尾气排放因素”、“农药因素”、“施肥因素”和“工业地表径流污染”等；第三主成分上，Hg 具有较大正载荷，可能来源于该区域的农业生产活动，如一些含 Hg 农药或除草剂的使用。

参考文献

- [1] 集中式饮用水水源环境保护指南（试行）,2012,2.
- [2] 徐文东,曾荣树,叶大年,等. 电厂煤燃烧后元素硒的分布及对环境的贡献[J]. 环境科学, 2005, 26 (02): 64-68.
- [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] 赵振平,张怀成,冷家峰,等. 王水消解蒸气发生——原子荧光光谱法测定土壤中的砷、锑和汞[J]. 中国环境监测, 2004, 20 (1): 44-46.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22105-2008 土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] 刘洪莲,李艳慧,李恋卿,等. 太湖地区某地农田土壤及农产品中重金属污染及风险评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6 (5): 60-63.
- [7] 夏家洪. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [8] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [9] J, L., D, C., P, G. Analyzing Multivariate Data[M]. New York: Duxbury Press, 2003.
- [10] Deng, J. J., Huang, X. F., Hu, J. W., et al. Distribution of several microorganisms and activity of alkaline phosphatase in sediments from Baihua Lake[J]. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2009, 4 (5): 711-716.
- [11] Feng, Z., Yong, L., Guo, H. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2007, 132 (1-3): 1-13.
- [12] 米红,张文璋. 实用现代统计分析方法及 SPSS 应用 [M]. 北京:当代中国出版社,2000.
- [13] 邵学新, 黄标, 孙维侠, 等. 长江三角洲典型地区工业企业的分布对土壤重金属污染的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43 (3): 397-404.
- [14] 李政红,张胜,马琳娜,等. 污灌区土壤重金属污染分布及其影响因素研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24 (11): 166-169.
- [15] 杨继松,孙丽娜,杨晓波,等. 沈阳市细河沿岸农田土壤重金属污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (5): 1933-1936.
- [16] 马成玲, 王火焰, 周健民, 等. 长江三角洲典型县级市农田土壤重金属污染状况调查与评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25 (3): 751-755.
- [17] 骆永明, 刘五星, 吴龙华, 等. 长江、珠江三角洲土壤及其环境[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [18] 林健, 邱卿如, 陈建安, 等. 公路旁土壤中重金属和类金属污染评价[J]. 环境与健康杂志, 2000, 17 (5): 284-286.
- [19] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

致谢

本次论文从选题到完成，每一步都是在张睿、李益萍工程师的悉心指导下完成的，倾注了指导老师大量的心血。她们对我进行了无私的指导和帮助，不厌其烦的帮助我进行论文的修改和改进。当然在写论文的过程中也遇到了无数的困难和疑惑，都在同学和老师们的帮助下度过了。在此我要向每位老师表示崇高的敬意和衷心的感谢!并且十分感谢热情的同学们。由于我的学术水平有限，所写的论文难免有些不足之处，恳请各位老师指正。谢谢!