

天津市不同土地利用方式下土壤 重金属污染特征及评价

李 炜, 周笑白, 王 斌, 丁冬梅, 武 丹, 张 赞

(天津市生态环境监测中心, 天津 300191)

摘 要: [目的] 查明天津市土壤重金属污染的现状及污染源, 为防治土壤重金属污染提供理论依据。[方法] 选择天津市工业用地、一般农田、水源地、养殖场及蔬菜基地土壤为研究对象, 共采集 146 个样品。通过分析不同土地利用方式下的土壤重金属含量, 采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法评价重金属污染程度, 并对重金属的来源进行解析。[结果] 天津市土壤整体污染水平相对较轻, 但土壤中均存在不同程度的重金属积累。Pb、Ag 和 Cd 重金属污染面积较大, 超标率分别为 84.25%、76.71% 和 68.49%。不同土地利用类型影响到重金属的积累程度和积累类型。在研究区的 5 种土地利用方式中, 蔬菜基地土壤中总重金属的累积程度最高, 主要重金属包括 Cd、Hg、As、Cr、Cu、Ni、V、Mn、Co 和 Ag 等。工业用地土壤中的 Zn 污染显著高于其他土地利用方式, 而农田土壤和畜禽养殖场土壤中的 Pb 污染较显著。[结论] 天津市土壤污染水平相对较轻。但从土地利用方式来看, 工业用地、农田和畜禽养殖场土壤 Pb 及 Zn 等污染较重, 在土地利用和管理中应该予以关注。

关键词: 土地利用方式; 重金属污染; 源解析; 天津市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)06-0200-06

中图分类号: X53, F301

文献参数: 李炜, 周笑白, 王斌, 等. 天津市不同土地利用方式下土壤重金属污染特征及评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 200-205. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.031. Li Wei, Zhou Xiaobai, Wang Bin, et al. Pollution characteristics and assessment of heavy metal in different land-use types in Tianjin City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 200-205.

Pollution Characteristics and Assessment of Heavy Metal in Different Land-use Types in Tianjin City

LI Wei, ZHOU Xiaobai, WANG Bin, DING Dongmei, WU Dan, ZHANG Zan

(Tianjin Eco-environment Monitoring Center, Tianjin 300191, China)

Abstract: [Objective] The heavy metal pollution status and pollution sources in soil of Tianjin City was studied in order to provide a theoretical basis for preventing soil heavy metal pollution. [Methods] A total of 146 samples were collected from the industrial areas, farmland, water sources, livestock farm and vegetable bases in Tianjin City. The pollution characteristics of heavy metals, mainly referring to the heavy metal content in soils of different land-use types, was evaluated by single factor pollution index and Nemero comprehensive pollution index method, and the sources of heavy metals were also discussed. [Results] The results showed that different heavy metals were all found accumulated in soils, but the overall pollution level in Tianjin City was lower. The over standard rates of Pb, Ag and Cd were 84.25%, 76.71% and 68.49%, respectively. And land-use types affected the accumulation degree and categories of heavy metals. The vegetable base had the highest accumulations of total heavy metal among 5 land-use types, mainly including Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, V, Mn, Co and Ag. The industrial area had the highest Zn concentration, while the Pb concentration was higher in the farmland, and livestock and poultry farmland. [Conclusion] In an

收稿日期: 2018-02-17

修回日期: 2018-06-01

资助项目: 京津冀协同创新项目“天津水源地水土环境状况及污染风险时空分异与预警”(16YFXTSF00380)

第一作者: 李炜(1988—), 男(汉族), 山西省忻州市人, 硕士, 工程师, 主要从事土壤和生态监测方面的研究。E-mail: lwlz01@163.com。

通讯作者: 张赞(1975—), 男(汉族), 天津市人, 本科, 高级工程师, 主要从事土壤和生态监测方面的研究。E-mail: 2311158458@qq.com。

overall, the level of soil pollution in Tianjin City is relatively low. However, in terms of land-use types, the pollution levels of Pb and Zn in the industrial areas, farmland and livestock farms were higher, wherein it should be paid more attention to in the process of land use and management.

Keywords: land-use type; heavy metal pollution; Tianjing City

土壤作为生态系统的重要组成部分,不仅能够对污染物质进行容纳、缓冲和净化,还可以通过生态系统将污染物危害尤其是重金属污染物作用于人类自身^[1]。近几十年来,国内外学者^[2-6]对土壤重金属分布、来源及污染评价等开展过不少工作,取得了一些重要研究成果。研究表明,与研究区土壤背景值相比,土壤中重金属含量(尤其是人为源重金属)明显偏高,发生了不同程度的污染,但不同土地利用方式的污染程度存在很大差异。土壤重金属污染势必会对土壤生态系统健康带来直接和潜在危害。因此研究不同土地利用方式土壤金属元素的污染并对其进行评价是非常必要的。天津市是我国环渤海海岸带地区经济中心之一,自 2005 年以来其经济进入高速发展时代。随着城市化和工业化进程的加快,其土壤重金属污染日渐加剧,并引起了科学家们的广泛关注。近些年来,国内外诸多学者采用不同的方法从多个不同角度研究了天津市土壤重金属污染的状况及特征,如农田、蔬菜田土壤重金属污染^[7-9],以及农田土壤重金属污染及农产品带来的人体健康风险^[10]。然而,尚缺乏对于天津不同土地利用方式土壤重金属污染特征的研究。鉴于此,本文以天津市 5 种不同土地利用方式的土壤样品为研究对象,分析 12 种重金属的累积特征并对其污染进行了评价,解析其来源,旨在进一步明确土壤环境质量现状,以期为土壤重金属污染防治提供基础数据和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天津市位于中国华北地区,成土母质为河流冲积物和海积物,土壤类型主要是棕壤和褐土,质地多为粉壤土和砂壤土。近年来,由于农药、化肥农膜的使用和“三高”企业的生产,土壤中重金属和有机污染物含量有所增加,可能对人类健康和生态环境造成潜在污染。

1.2 样点布设与采集

本研究涵盖了大部分天津市(除中部及东南部外),按照空间均匀性以及重点区加密的原则进行布设样点,采集了 5 种土地利用方式的土壤样品共 146 个,采样点分布如附图 2 所示。其中,包括 2 个企业

(纸业公司和钢铁公司)周边 16 个土壤样品,6 片农田的 30 个农田土壤样品,7 个蔬菜基地的 35 个蔬菜基地土壤样品,3 个地表水源地的 20 个地表水源地土壤样品以及 3 个畜禽养殖场的 45 个畜禽养殖场土壤样品。

每份土壤样品采用梅花布点法,采集 0—20 cm 表层土壤。在 5 m×5 m 内设立 5 个分点,在每个分点上,用不锈钢铲向下挖取 25 cm×25 cm,深 20 cm 的土样,用木铲刮去与金属接触的土壤。各个分点取等重量的样品混匀,用四分法弃取,最后保留至少 1 kg 土样至聚四氟乙烯自封袋中。

1.3 样品处理和测定方法

土壤样品经过前处理(包括风干、粗磨分样、细磨分样等过程)后,过 100 目筛制成土样备用。土壤样品的分析采用王水—高氯酸(HNO₃-HCl-HClO₄)开放式消煮法^[11]。称取 1 g 左右土壤样品于消煮管中,加王水 5 ml,120 ℃消解 24 h 左右,至消煮液为 1 ml 左右后,冷却至室温后加高氯酸 5 ml,140 ℃继续消解 72 h,直至土壤消解至灰白色,消解液透明澄清为止。消解过程结束后,冷却至室温,消解液用超纯水定容至 50 ml,然后过滤到经酸泡过的干净 PE 塑料瓶中。镉(Cd)、铅(Pb)和银(Ag)的分析参照《GB/T17141-1997》和《全国土壤污染状况调查样品分析测试技术规定(2006 年)》石墨炉原子吸收法;汞(Hg)和砷(As)含量测定采用原子荧光光度法(DB51/T836-2008 年);铬(Cr)的测定参照 HJ 491-2009 火焰原子吸收法,铜(Cu)、锌(Zn)和镍(Ni)参照 GB/T 17138-1997,钒(V)、锰(Mn)和钴(Co)的测定参照美国 U. S. EPA 的电感耦合等离子体发射光谱法。使用仪器主要有 AA-6601F 型原子吸收分光光度计(日本岛津)、X-Series II 型 ICP-MS(美国赛默飞世尔)和 KYS02 型原子荧光光度计(北京海光)。测定每一批样品都要进行平行样品的测定,平行样的频次为 20%,并国家标准土样(GBW08303)进行回收试验。二次平行试验的相对偏差均小于 10%,标样 Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, V, Mn, Co 和 Ag 的回收率分别为 98.00%, 92.01%, 89.23%, 102.35%, 103.56%, 86.29%, 78.39%, 96.85%, 93.26%, 100.98%, 101.79% 和 102.83%。

1.4 土壤重金属污染评价方法

根据不同采样点位和不同区域的整体调查,对研究区域土壤重金属污染状况采用单因子指数法和内梅罗综合污染指数法进行综合评价^[12]。

1.4.1 单因子指数法 单因子指数法是国内外普遍采用的方法之一,是对土壤中的某一污染物的污染程度进行评价。其计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i ——重金属元素的单因子污染指数; C_i ——重金属元素的实测浓度(mg/kg); S_i ——重金属元素的背景值(mg/kg)。

1.4.2 内梅罗综合污染指数法 在单因子污染指数的基础上,内梅罗综合污染指数法可全面反映土壤中各污染物的平均污染水平,也突出了污染最严重的污染物给环境造成的危害,其计算式为:

$$P_N = \left[\frac{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\max}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{ave}}^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中: P_N ——综合污染指数; $(C_i/S_i)_{\max}$ ——各污染物中污染指数最大值; $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ ——各污染物中污染指数的算数平均值。依据单因子指数法和内梅罗综合污染指数法可将土壤重金属污染划分为 5 个等级,结果详见表 1。

表 1 内梅罗综合污染指数评价分级标准

评价等级	内梅罗综合污染指数 P	污染等级	污染水平
1	$P \leq 0.7$	安全水平	清洁
2	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
3	$1.0 < P \leq 2.0$	轻度累积	轻度污染
4	$2.0 < P \leq 3.0$	中度累积	中度污染
5	$P > 3.0$	重度累积	重度污染

1.5 统计分析

数据经 Excel 软件整理后,采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析,包括描述统计分析和方差分析。采用 ArcGIS 9.3 软件制作样点分布图及进行空间分析。

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤重金属含量整体描述性统计

研究区 146 个土壤表层样品重金属含量统计结果详见表 2。结果表明,天津土壤重金属平均含量除 Hg, Cr, V, Mn 和 Co 以外,其他重金属含量均高于天津土壤背景值。与土壤背景值相比,土壤样品中 Pb, Ag 和 Cd 超标率达到 65% 以上,分别为 84.25%, 76.71% 和 68.49%; Hg 仅有 6.85%; 其他金属元素超过背景值比例的样本比例在 30%~50% 左右。表明研究区土壤重金属存在一定程度的累积。土壤中 Cd, As, Pb 和 Ag 的平均含量分别为背景值的 1.53, 1.19, 1.32 和 2.25 倍,其他重金属元素为背景值的 0.51~1.09 倍,说明天津土壤重金属污染程度不一,已经受到外界人为活动因素的影响。变异系数可以反映总体样本中各采样点平均变异程度,变异系数越大,说明受人类活动干扰越强烈,在空间上的分布有较大的差异。Cr 和 Ni 变异系数相对较小,均在 20% 左右变化,说明这 2 种元素受外界影响状况基本一致,空间分布差异小,反映 Cr 和 Ni 在不同土地利用方式土壤中累积程度具有相似性。Cd, Hg 和 Ag 变异系数较大,均在 50% 以上,其中 Hg 的变异系数达到了 73.18%,说明这几种元素受外界干扰较大,在空间上的分布有较大的差异,这种分异可能归结为农业施肥、灌溉、工业排放以及畜禽粪便等强烈人为活动的影响。

表 2 研究区土壤重金属含量的总体状况描述

重金属	最小值/ (mg · kg ⁻¹)	最大值/ (mg · kg ⁻¹)	均值/ (mg · kg ⁻¹)	变异系数/ %	天津市土壤背景 值/(mg · kg ⁻¹)	超标率/ %
Cd	0.01	0.33	0.138	56.21	0.09	68.49
Hg	0.01	0.265	0.043	73.18	0.084	6.85
As	2.92	24.90	11.426	45.08	9.60	53.42
Pb	3.70	49.60	27.667	25.56	21.00	84.25
Cr	22.00	116.00	74.849	21.97	84.20	28.08
Cu	10.00	72.00	31.584	27.56	28.80	56.16
Zn	27.50	250.00	85.338	45.03	79.30	48.63
Ni	10.00	51.00	34.279	22.65	33.30	57.53
V	7.10	130.00	81.165	39.52	85.20	47.26
Mn	72.00	1 250.00	634.95	44.17	660.00	42.47
Co	0.23	29.20	12.911	42.40	13.60	43.84
Ag	0.004	0.21	0.072	57.19	0.032	76.71

2.2 不同土地利用方式土壤重金属分布

表 3 为研究区不同土地利用方式下土壤重金属含量的分布特征。

从整体来看,不同功能区土壤重金属的含量相差较大,农田土壤和地表水源地土壤总体上污染较轻,通过比较不同土地利用方式各重金属含量的均值可知,蔬菜基地的 Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, V, Mn 和 Co) 含量的均最高,表明蔬菜基地的土壤重金属累积程度最大,这可能主要由于农业施肥及灌溉等人为活动的影响。此外,重金属可以通过食物链传递的方式,对人类健康造成潜在风险。比较不同土地利用方式土壤重金属含量超过背景值的比例发现,蔬菜基地

土壤中重金属的累积程度最高,其他土地利用方式的土壤重金属累积程度较低(10%左右)。具体来看,企业周边土壤中, Pb, Ni, V 的累积程度较高(但均低于10%);农田土壤中, Pb 的累积程度最高(超过20%),其次为 Zn 和 Ni(大于10%);蔬菜基地土壤中,除 Hg 外(低于10%),其他金属含量超过背景值的比例均超过10%,其中 Cd, Ag, As, Cu, Zn 的累积程度最高(大于20%);地表水源地土壤中,总体上除 Ag 外(大于10%)其他金属含量的累积程度均较低;畜禽养殖场土壤中,重金属的累积程度也较高,其中 Pb 和 Ag 的累积程度最高(超过30%),其次为 Cd, Ni 和 Co。

表 3 不同土地利用方式土壤重金属含量的分布特征

重金属	企业周边(n=16)		农田(n=30)		蔬菜基地(n=35)		水源地(n=20)		养殖场(n=45)	
	含量/ (mg·kg ⁻¹)	超标率/ %								
Cd	0.11±0.02	6.85	0.06±0.01	3.42	0.22±0.06	23.97	0.11±0.02	7.53	0.15±0.03	26.71
Hg	0.032±0.002	0	0.047±0.002	1.37	0.072±0.008	4.11	0.029±0.007	0	0.028±0.013	1.37
As	12.88±2.36	6.16	9.93±1.28	6.85	15.86±3.25	21.23	6.32±0.56	1.37	10.73±2.31	17.81
Pb	24.62±1.69	9.59	29.83±6.35	20.55	24.91±5.34	15.75	22.32±3.46	7.53	31.83±3.62	30.82
Cr	67.57±1.25	0	82.24±4.58	9.59	86.97±9.16	14.38	57.43±6.89	0.68	70.82±6.86	3.42
Cu	30.91±8.53	6.85	30.74±3.65	9.59	41.89±5.23	23.29	23.70±7.24	4.79	27.88±9.03	11.64
Zn	121.99±11.36	6.85	96.07±7.86	14.39	109.91±22.34	23.29	72.28±9.05	3.42	51.84±6.05	0.68
Ni	34.36±3.56	7.53	33.69±7.35	10.96	39.66±8.56	17.12	24.52±3.07	2.74	34.80±5.46	19.18
V	89.79±11.12	7.53	65.39±9.26	0	105.21±6.98	19.18	64.81±11.02	2.74	77.18±8.68	17.81
Mn	660±20.87	4.79	663±35.62	6.16	902±40.39	19.86	475±23.65	2.74	470±50.46	8.90
Co	11.60±0.69	2.74	13.11±1.76	3.42	14.70±1.75	17.12	9.99±1.22	2.05	13.15±3.16	18.49
Ag	0.016±0.003	0	0.033±0.009	9.59	0.116±0.006	23.97	0.067±0.012	13.01	0.087±0.009	30.14

2.3 不同土地利用方式土壤重金属污染评价

2.3.1 单因子指数评价结果分析 从研究区整体来看,重金属平均单因子指数评价结果显示除 Ag 处于中度积累状态外,其他重金属处于轻度累积或背景值水平,各金属的单因子污染指数大小为: Ag>Cd>Pb>As>Cu>Zn>Ni>Mn>V>Co>Cr>Hg。不同土地利用方式土壤各重金属的单因子污染指数也存在较大差异,结果详见表 4。企业周边土壤中,除 Zn 有 12.50% 的样本处于重度累积外,其他金属均处于轻、中度累积,且所有样点的 Hg, Cr 和 Ag 的含量均接近背景值水平。农田土壤中,除 As 和 Zn 有少量样点处于重度累积外,其他金属均处于轻度累积及背景值水平,尤其是 V, 所有样点均处于背景值水平。蔬菜基地土壤整体上重金属污染较重,有一定比例的样点的 Cd, Hg, As, Cu 和 Ag 含量处于中度及重度累积水平,其他金属均处于轻度累积和背景值水平。地表水源地土壤中,除有 55% 的样点的 Ag 含量处于中度及重度累积水平, Cd 和 Zn 也有少量样点处于中度累

积水平外,其他金属均处于轻度累积及背景值水平。畜禽养殖场土壤中, Cd 和 Ag 的污染较重,尤其是 Ag, 大部分的样点处于中度和重度累积水平;有部分样点的 Cd, As, Pb, Co 含量处于中度累积水平,其他金属均处于轻度和背景值水平。

综上所述,蔬菜基地的土壤总体上污染较重,企业周边土壤、农田土壤和地表水源地土壤整体上污染较轻。

2.3.2 内梅罗综合污染指数评价结果分析 研究区不同土地利用方式土壤重金属污染的内梅罗综合污染指数评价结果详见表 5。由表 5 可知,土壤重金属内梅罗综合指数值从高到低依次为蔬菜基地、畜禽养殖场、地表水源地、企业周边土壤、农田土壤。根据内梅罗指数评价结果分级标准,蔬菜基地和畜禽养殖场处于中度污染水平,地表水源地、企业周边土壤和农田土壤处于轻度污染水平。蔬菜基地的内梅罗综合指数较高,可能是为了保证蔬菜不受虫害而喷洒了较多的农药,农药残留物金属含量较高,需引起重视。

从空间分布状况来看,整体上天津市西部、东部地区污染较轻,主要为地表水源地及企业周边部分样点;污染较重的样点主要分布于北部及西南角,全部为蔬菜基地的土壤(图 1)。对不同功能区下土壤重金属污染的单因子指数进行了方差分析,结果见表 5。除 Zn 和 Pb 外,蔬菜基地的重金属污染均显著高于其他功

能区;企业周边土壤中的 Zn 污染显著重于其他功能区,而农田土壤和畜禽养殖场土壤中的 Pb 污染较显著。除此之外,地表水源地土壤中的多种金属污染显著较轻,如 Hg,As,Cr,Cu,Ni,V,Mn;农田土壤的 Cd 污染显著较轻,畜禽养殖场土壤中的 Zn 污染显著轻于其他功能区,企业周边土壤的 Ag 污染最轻。

表 4 不同功能区土壤重金属污染的单因子指数评价结果

样点类别	评价结果	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	V	Mn	Co	Ag
企业周边	$P_i \leq 1$	37.5	100	43.75	12.5	100	37.5	37.5	31.25	31.25	56.25	75	100
	$1 < P_i \leq 2$	56.25	0	37.5	87.5	0	62.5	31.25	68.75	68.75	43.75	25	0
	$2 < P_i \leq 3$	6.25	0	18.75	0	0	0	18.75	0	0	0	0	0
	$P_i > 3$	0	0	0	0	0	0	12.5	0	0	0	0	0
农田	$P_i \leq 1$	83.33	93.33	66.67	0	53.33	53.33	30	46.67	100	70	83.33	53.33
	$1 < P_i \leq 2$	16.67	6.67	26.67	100	46.67	46.67	66.67	53.33	0	30	16.67	46.67
	$2 < P_i \leq 3$	0	0	6.66	0	0	0	3.33	0	0	0	0	0
	$P_i > 3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蔬菜基地	$P_i \leq 1$	0	82.86	11.43	34.29	40	2.86	2.86	28.57	20	17.14	28.57	0
	$1 < P_i \leq 2$	28.57	11.43	65.71	65.71	60	85.71	97.14	71.43	80	82.86	71.43	2.86
	$2 < P_i \leq 3$	57.14	2.86	22.86	0	0	11.43	0	0	0	0	0	37.14
	$P_i > 3$	14.29	2.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
水源地	$P_i \leq 1$	45	100	90	45	95	65	75	80	80	80	85	5
	$1 < P_i \leq 2$	45	0	10	55	5	35	20	20	20	20	15	40
	$2 < P_i \leq 3$	10	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	50
	$P_i > 3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
养殖场	$P_i \leq 1$	13.33	95.56	42.22	0	88.89	62.22	97.78	37.78	42.22	71.11	40	2.22
	$1 < P_i \leq 2$	68.89	4.44	55.56	95.56	11.11	37.78	2.22	62.22	57.78	28.89	57.78	0
	$2 < P_i \leq 3$	13.33	0	2.22	4.44	0	0	0	0	0	0	2.22	66.67
	$P_i > 3$	4.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.11

注: $P_i \leq 1$,表明处于背景值水平; $1 < P_i \leq 2$,表明该元素处于轻度积累状态; $2 < P_i \leq 3$,表明处于中度积累状态; $P_i > 3$,表明处于重度积累状态。

表 5 不同功能区土壤重金属污染的内梅罗指数评价结果

重金属	单因子指数				
	企业周边	农田	蔬菜基地	地表水源地	畜禽养殖场
Cd	1.23 ^c	0.61 ^d	2.40 ^a	1.23 ^c	1.71 ^b
Hg	0.39 ^c	0.57 ^b	0.86 ^a	0.34 ^c	0.33 ^c
As	1.34 ^b	1.03 ^c	1.65 ^a	0.66 ^d	1.12 ^{bc}
Pb	1.17 ^b	1.42 ^a	1.19 ^b	1.06 ^b	1.52 ^a
Cr	0.80 ^b	0.98 ^a	1.03 ^a	0.68 ^c	0.84 ^b
Cu	1.07 ^b	1.07 ^b	1.45 ^a	0.82 ^c	0.97 ^b
Zn	1.54 ^a	1.21 ^b	1.39 ^{ab}	0.91 ^c	0.65 ^d
Ni	1.03 ^b	1.01 ^b	1.19 ^a	0.74 ^c	1.04 ^b
V	1.05 ^{ab}	0.77 ^c	1.23 ^a	0.76 ^c	0.91 ^{bc}
Mn	1.00 ^b	1.00 ^b	1.37 ^a	0.72 ^c	0.71 ^c
Co	0.85 ^{ab}	0.96 ^{ab}	1.08 ^a	0.73 ^b	0.97 ^{ab}
Ag	0.50 ^e	1.03 ^d	3.63 ^a	2.09 ^c	2.71 ^b
内梅罗综合指数	1.30	1.22	2.79	1.61	2.07

注:小写字母表示方差分析结果有显著差异($p < 0.05$)。

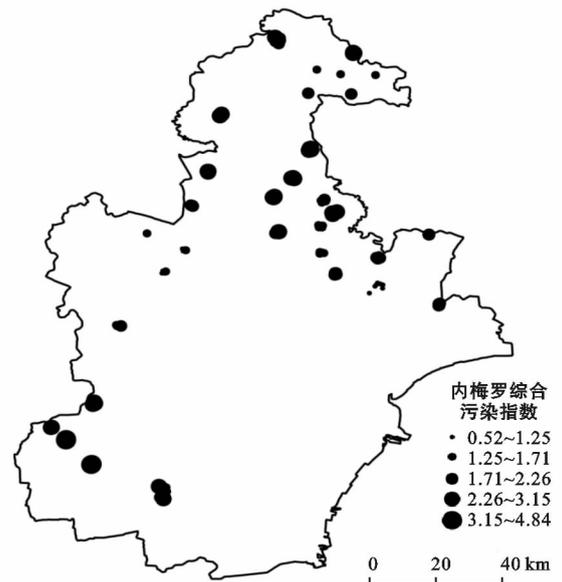


图 1 内梅罗综合污染指数评价结果分布

2.4 土壤重金属的来源解析

本研究中测定的土壤样品元素较多,数据在反映重金属元素的来源和类别信息上可能存在一定的相关性。为了反映重金属污染状况的指标信息,采用主成分分析方法对数据进行了降维处理,该方法能够将复杂数据变成简单类别,增强有用信息。天津土壤主成分分析结果详见表 6。

从表 6 可知,Hg,Pb,Cr,Cu,Zn,Mn 和 Ag 在主成分 1 中具有较高的因子载荷,这种元素组合特征通常被认为是工业排放、养殖场畜禽粪便及生活垃圾等。Cd 和 As 同时在主成分 2 中具有较高载荷,主要来源农药、农业施肥和灌溉等。相关研究结果表明,Cd 和 As 主要来自于农业生产过程中重金属元素释放。Ni,V 和 Co 在主成分 3 中具有较高载荷,主要来源于自然源,表明成土母质对土壤中该类元素的控制作用,这主要体现在地表水源地周边土壤。第 1 主成分和第 2 主成分的累积贡献率为 76.63%,一般认为主成分 1 和主成分 2 是土壤重金属污染的主要来源。鉴于此,可以人为工业排放、养殖场畜禽粪便、生活废弃物以及农业化肥、农药的使用是造成天津土壤污染的主要原因。

表 6 土壤重金属元素载荷量

元素	主成分 1	主成分 2	主成分 3
Cd	0.256	0.783	0.056
Hg	0.683	0.042	0.153
As	-0.509	0.768	0.257
Pb	0.873	-0.311	0.103
Cr	0.936	0.112	0.142
Cu	0.936	0.007	0.256
Zn	0.942	0.273	0.413
Ni	0.215	0.113	0.863
V	0.226	-0.356	0.716
Mn	0.886	0.063	0.321
Co	0.083	0.564	0.921
Ag	0.698	0.246	0.321
贡献率/%	50.28	26.35	9.56

3 结论

(1) 天津土壤重金属平均含量除 Hg,Cr,V,Mn 和 Co 以外,其他重金属均高于天津土壤背景值。与土壤背景值相比,土壤 Pb,Ag 和 Cd 超标率分别为 84.25%,76.71%和 68.49%,Hg 仅有 6.85%,其他金属元素在 30%~50%左右。

(2) 土地利用方式相比,蔬菜基地土壤中重金属的累积程度显著高于其他土地利用方式。工业用地

土壤中的 Zn 污染显著高于其他土地利用方式,而农田土壤和畜禽养殖场土壤中的 Pb 污染较显著。

(3) 天津土壤重金属受人为活动影响程度不同。其中 Cd,Hg,As,Pb,Cr,Cu,Zn,Mn 和 Ag 是受人为活动影响最为强烈的重金属元素,主要来自工业排放、交通、畜禽粪便以及农业生产过程,应在管理中予以关注。

[参 考 文 献]

- [1] 刘安娜,葛本伟.石河子市表层土壤重金属元素富集与功能区分异研究[J].安徽农业科学,2011,39(32):19818-19821.
- [2] Lee C S L, Li Xiaodong, Shi Wenzhong, et al. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics [J]. Science of the Total Environment, 2006, 356(1):45-61.
- [3] Mashal K, Al-Qinna M, Ali Y. Spatial distribution and environmental implications of lead and zinc in urban soils and street dusts samples on Al-Hashimeyeh Municipality [J]. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2009, 3(2):141-150.
- [4] 柳云龙,章立佳,韩晓非,等.上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价[J].环境科学,2012,33(2):599-605.
- [5] 樊新刚,米文宝,马振宁,等.宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征[J].环境科学,2013,34(5):1887-1894.
- [6] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- [7] 李雪梅,王祖伟,邓小文.天津郊区菜田土壤重金属污染环境质量评价[J].天津师范大学学报:自然科学版,2005,25(1):69-72.
- [8] 曹淑萍,曹淑田,冯鑫.天津市区域土壤 Cd 污染及其对农产品影响[J].城市环境与城市生态,2005,3(2):9-10.
- [9] 韩建华,贾兰英,田丽梅,等.天津市沿海地区农产品生产基地土壤环境质量评价[J].天津农林科技,2007,2(5):41-42.
- [10] Wang Yanchun, Qiao Min, Liu Yunxia, et al. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(4):690-698.
- [11] 郭伟,孙文惠,赵仁鑫,等.呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价[J].环境科学,2013,34(4):1561-1567.
- [12] 杜艳,常江,徐笠.土壤环境质量评价方法研究进展[J].土壤通报,2010,41(3):749-756.