

# 黑龙江省海伦市农田土壤重金属分布特征及污染评价<sup>①</sup>

陈玉东<sup>1,2</sup>, 王火焰<sup>1</sup>, 周健民<sup>1\*</sup>, 赵永存<sup>1</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 海伦市是以农业为主导产业的黑龙江省县级市, 为了解该市土壤重金属时空分布特征及其污染现状, 对农田耕层及亚耕层土壤中 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Hg 和 As 等重金属含量进行了分析, 并采用单因子污染指数法和 Nemerow 综合污染指数法分别对土壤的重金属污染状况进行了评价。结果表明, 该地区土壤重金属含量较低, 总体表现为西南和西北含量较高、西部含量高于东部的空间分布特征。以松嫩平原土壤元素背景值为标准进行评价, 已出现一定程度的污染。以 GB15618-1995 土壤环境质量标准二级标准进行评价, 综合污染指数为 0.504, 所有样点土壤重金属均未达到污染水平。与耕层土壤相比, 亚耕层土壤 Hg 和 Cd 含量显著下降, 其他元素含量及分布特征则与耕层相似。从 1980 年到 2008 年, 随着时间的变化, 该区域土壤重金属含量增加趋势不明显, 近期土壤出现重金属污染风险较小。

**关键词:** 黑土; 重金属; 时空分布特征; 评价

**中图分类号:** X 821

随着全球经济和社会的发展, 人类活动过程中产生大量含重金属的废弃物, 通过不同的途径进入了土壤系统, 并出现富集。若不加以控制, 当其含量超过了一定程度, 便会造成土壤重金属污染。由于重金属在土壤中累积可直接和间接地影响到人体的健康安全, 因此, 土壤重金属污染已成为环境科学与土壤科学等研究领域的热点<sup>[1-3]</sup>。当前, 在经济较为发达地区土壤重金属研究较多, 由工业引起的土壤重金属污染也相对比较严重。研究表明, 常熟市的 Hg 已成为当地重金属污染的主要因子<sup>[4]</sup>。沈阳市土壤污染中 Cd、Hg 最为严重<sup>[5]</sup>。长春市 0~20 cm 土层受到重金属不同程度的污染, 其中受 Pb 和 Ni 污染较重<sup>[6]</sup>。

有研究发现, 农业生产对土壤重金属的富集也不容忽视, 如含重金属的化肥和农药的不合理施用, 养殖业的发展, 也增加了土壤对重金属等污染物的富集<sup>[7-8]</sup>。新西兰某农田施磷肥, 50 年后 Cd 含量由原来的 0.39 mg/kg 提高到 0.85 mg/kg<sup>[9]</sup>。规模化猪场废水灌溉农田, 土壤中 Cd 和 As 污染来源为猪场废水和化肥, Pb 的污染来源为化肥<sup>[10]</sup>。

海伦市是以农业为其主导产业的东北城市, 土壤环境质量直接影响其粮食生产安全。虽然当地重金属土壤背景值较低, 远低于全国土壤背景值<sup>[11]</sup>, 但如今

人为活动相对频繁, 在现代化高强度的耕作制度, 化肥农药大量施用的情况下, 随着时空变化, 农田土壤中重金属含量是否仍能满足当地环境和粮食安全生产的需求, 尚未见报道。因此, 本研究对海伦市农田土壤重金属含量及其时空变化特征进行分析, 评价土壤重金属污染现状, 为该区域粮食安全生产提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

海伦市位于黑龙江省中部(46°58' ~ 47°52' N, 126°14' ~ 127°45' E), 全境从东北到西南 150 km, 南北 78 km, 面积 4 551 km<sup>2</sup>。属大陆性季风气候, 冬季漫长寒冷, 夏季短促温润。年平均气温为 1~2℃, 最高 37.7℃, 最低 -40.3℃, 年降水量为 500~600 mm 之间。地貌为由小兴安岭山地向松嫩平原的过度地带, 属松嫩平原的一部分, 母质大部分为河湖相冰水沉积物。地势从东北到西南, 由低丘陵、高平原、河阶地、河漫滩依次呈阶梯形逐渐降低。海拔高度最高 471 m, 最低 147 m, 一般为 200 m 上下。境内无高山峻岭, 除少量残丘外, 大部分为波状起伏的高平原。同肯河、克音河等 5 条河流横贯东西, 5 座大中型水库和 30 多

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02)资助。

\* 通讯作者(jmzhou@issas.ac.cn)

作者简介: 陈玉东(1984—), 男, 江苏盐城人, 博士研究生, 研究方向为土壤质量评价及磷素环境风险研究。E-mail: ydchen@issas.ac.cn

座小型水库分布全市。土壤类型以黑土为主, 占土地总面积 63.4%, 是世界三块黑土地之一, 俗有“粮仓”之称<sup>[12]</sup>。

### 1.2 样品采集

根据海伦市土壤类型及其耕作制度相对较为单一的区域特点, 重点研究种植大豆、玉米的土壤。采用网格法布置样点, 覆盖整个海伦市。每个土种至少包含一个采样点, 并对变异性较强的地区样点进行适当加密, 耕层 (0~20 cm) 与亚耕层 (20~40 cm) 采样点分布如图 1 所示。

采样时间为 2008 年 9 月, 土壤样品包括耕层、亚耕层, 每个点都采用 GPS 定位, 并详细记录样点的周围环境。采集样品时, 利用多点混合法采样, 即每个采样点采用梅花型方式在周边采取 5 个子样品, 混合均匀后按四分法获 1 kg 左右的样品, 装入布袋。共采集耕层土样 494 个, 综合考虑土壤类型、土地利用结构, 部分样点采集相应亚耕层土样 95 个。所有土样经室内自然风干, 剔除植物残体和石块, 研磨, 分别过 10 目和 100 目筛, 保存以备用。

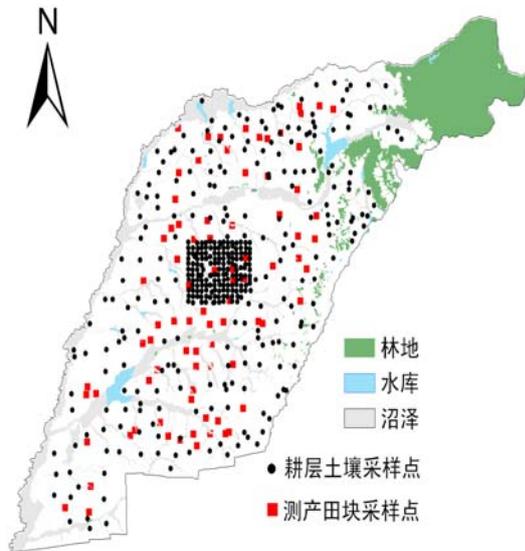


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

### 1.3 分析方法

土壤 pH、阳离子交换量、有机质、机械组成等理化性质指标, 参考《土壤农业化学分析方法》<sup>[13]</sup>进行分析。土壤重金属 Cu、Pb、Zn、Cr 和 Cd 全量采用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>-HF-HCl 混酸消化<sup>[14]</sup>, 采用高频耦合电感等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES Thermo Elemental)<sup>[13, 15-16]</sup> 测定待测液中重金属 Cu、Pb、Zn、Cr, 重金属 Cd 采用石墨炉原子吸收光谱 (GF-AAS)

法测定; 土壤中 Hg 和 As 含量采用王水消化, 原子荧光法 (HG-AFS) 测定<sup>[17]</sup>。所用试剂均为优级纯, 整个分析过程中均以空白样和国家地球化学标准物质 GSS-3 标准样品进行质量控制。数据采用 Excel 和 SPSS 统计软件进行处理。

### 1.4 评价方法与标准

土壤污染评价方法采用目前国内外普遍使用的单因子污染指数法和 Nemerow 综合污染指数法。其中, 单因子污染指数评价法以土壤单项污染物的实测值与评价标准相比值为分值数, 用以表示土壤中该污染物的污染程度。即:

$$P_i = C_i/S_i \quad (1)$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  种污染物的污染分指数;  $C_i$  为其测值;  $S_i$  为其评价标准。一般  $P_i \leq 1$  为未污染,  $P_i > 1$  为已污染,  $1 < P_i \leq 2$  为轻度污染,  $2 < P_i \leq 3$  为中度污染,  $P_i > 3$  为重度污染,  $P_i$  越大受到的污染越严重。

土壤重金属污染一般非单一重金属所致, 而是多种重金属共同作用的结果, 因而土壤重金属污染评价多应用综合污染指数法进行污染综合评价。综合污染指数的算法有多种, 通常采用 Nemerow 综合污染指数法计算综合指数<sup>[18]</sup>。

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{p_{i\text{max}}^2 + p_{i\text{ave}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中,  $P_{\text{综}}$  为土壤污染综合指数;  $p_{i\text{max}}$  为土壤污染物中最大的污染分指数;  $p_{i\text{ave}}$  为各污染分指数的算术平均数。由于研究区内土壤的 pH 值大部分在 6.0~6.5 之间, 因此结合 pH 值以松嫩平原背景值<sup>[11]</sup>和 GB15618-1995 土壤环境质量标准中的二级标准 (pH < 6.5)<sup>[19]</sup> 作为评价标准来对该地区耕层土壤重金属进行评价。以背景值作为标准进行评价, 在单一污染物评价时能够说明污染物是否增多, 也能比较不同污染物间相对增大的程度; 国家标准规定了影响环境和人类健康的一个阈值, 以它作为标准进行评价为土壤污染分级提供了新的依据<sup>[20]</sup>。相应的综合污染指数分等标准如表 1。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤基本理化性状

耕层和亚耕层土壤理化性质如表 2 所示。耕层和亚耕层的 pH 平均值分别为 6.38 和 6.53, 差别较小, 属于中性。土壤机械组成中, 耕层粉粒比例最大, 接近 55%, 其次为黏粒和砂粒, 分别占 25% 和 20%, 亚耕层与耕层机械组成规律相似。较全国其他地区, 黑土有机质含量较高, 耕层平均含量为 51.2 g/kg, 最高

表1 综合污染指数分级标准

Table 1 Soil quality grading standard based on comprehensive pollution indices

污染指数	分级	污染等级	污染水平
$P_{综} < 0.7$	1	安全	清洁
$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	2	警戒限	尚清洁
$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	3	轻污染	污染物超过起始污染值, 作物开始污染
$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	4	中污染	土壤和作物污染明显
$P_{综} > 3.0$	5	重污染	土壤和作物污染

含量为 123 g/kg; 亚耕层平均含量为 41.2 g/kg, 最高含量为 78.5 g/kg。阳离子交换量也较高, 平均值为 33 cmol/kg。黑土有效钾较为丰富, 平均含量耕层达 163 mg/kg, 亚耕层为 130 mg/kg。黑土有效磷含量也较高, 耕层最高值达 188 mg/kg, 平均为 37.48 mg/kg, 亚耕

层超过 100 mg/kg; 而一般耕层土壤有效磷含量在 5 ~ 30 mg/kg 之间, 这是因为: 一方面, 黑土区早春低温导致磷有效性较低, 需磷量较其他区域高, 导致磷肥的大量施用; 另一方面, 黑土非常肥沃, 开垦年限较短, 本身含有较高的磷素<sup>[21]</sup>。

表2 耕层和亚耕层土壤的基本理化性质

Table 2 Basic properties of topsoil and subsoil

土层	统计值	砂粒 (g/kg)	粉粒 (g/kg)	黏粒 (g/kg)	pH	阳离子交换量 (cmol/kg)	有机质 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	有效钾 (mg/kg)
耕层	最小值	1.2	21.7	64.9	5.76	18.74	22.5	8.82	13.30
	最大值	643	815.8	896.8	7.69	44.04	123.0	188.46	549.6
	平均值	199.6	543.3	257.1	6.38	33.58	51.2	37.48	162.62
	标准差	87.7	101.7	76.5	0.33	3.48	10.9	22.14	57.79
亚耕层	最小值	31.5	136.9	58.9	5.94	26.26	12.0	4.08	82.70
	最大值	667.2	780.0	373.8	7.85	43.81	74.5	113.89	325.9
	平均值	213.6	547.9	238.5	6.53	33.14	41.2	16.21	129.7
	标准差	92.5	97.0	62.3	0.31	3.29	11.6	14.99	31.55

## 2.2 土壤重金属全量分布特征

2.2.1 耕层 研究区域耕层土壤重金属含量如表3所示(Hg、As和Cd只测定了同时采集亚耕层样品所相应的点)。由表3可知, 几种重金属的平均含量分别为: Cr 58.3 mg/kg, Cu 22.28 mg/kg, Ni 25.74 mg/kg, Pb 19.31 mg/kg, Zn 61.69 mg/kg, Hg 0.047 mg/kg, As 9.11 mg/kg, Cd 0.055 mg/kg。与松嫩平原背景值相比较, Cd明显低于背景值, Cr、Zn、Hg高

于背景值, 其他元素值与背景值相近。与全国其他地区<sup>[22-24]</sup>相比, 该地区耕地土壤重金属总体含量较低。变异系数可反映总体样本中各采样点的平均变异程度, 变异系数越大, 说明受到外界影响越大。本研究中各元素变异系数变化范围为 8.14% ~ 41.82%, 其中Cd的变异系数最大, As的变异系数最小, 其他元素变异系数由大到小依次为 Hg > Cr > Cu > Pb > Ni > Zn。

表3 耕层土壤重金属含量(mg/kg)

Table 3 Contents of heavy metals in topsoil

统计值	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As	Cd
平均值	58.34	22.28	25.74	19.31	61.69	0.047	9.11	0.055
中值	55.66	21.74	25.35	19.58	60.41	0.040	8.98	0.050
标准差	12.57	4.32	3.38	3.55	7.27	0.013	0.77	0.023
最小值	34.78	8.12	10.84	9.12	42.53	0.025	7.75	0.029
最大值	189.6	75.60	47.86	29.84	129.84	0.094	11.37	0.132
变异系数(%)	21.55	19.39	13.13	18.38	11.78	27.65	8.43	41.82
松嫩平原背景值	42.46	17.78	23.65	20.23	52.05	0.031	9.14	0.073

ArcGIS 是解释空间分布和环境监测的重要工具<sup>[25]</sup>, 克里格插值法是对离散变量进行连续无偏插值的可靠方法, 插值结果可以直观地呈现出重金属元素的空间分布特征<sup>[26]</sup>。通过 ArcGIS 的插值法得出海伦土壤耕层重金属空间分布图 (图 2), 可以观察到 Cr、Cu、Cd 的分布规律极其相似, 在西南角含量比其他区域高, Cr 和 Cu 在中部有些岛状的高浓度点, 可能有小

范围的污染点源; Zn 的含量分布相对均匀, 中北部含量略高一些, 其他区域没有明显的差异; Ni 的含量分布也比较均匀, 在两端有些低含量点; Hg、As 和 Pb 在西北部含量都比较高, Hg 在其他区域含量相对较低且没有太大的差别, 而 As 在西部, Pb 在西南角也有一些较高含量点。总体上, 海伦地区重金属西部含量比东部要高, 尤其是西南和西北含量尤为突出。

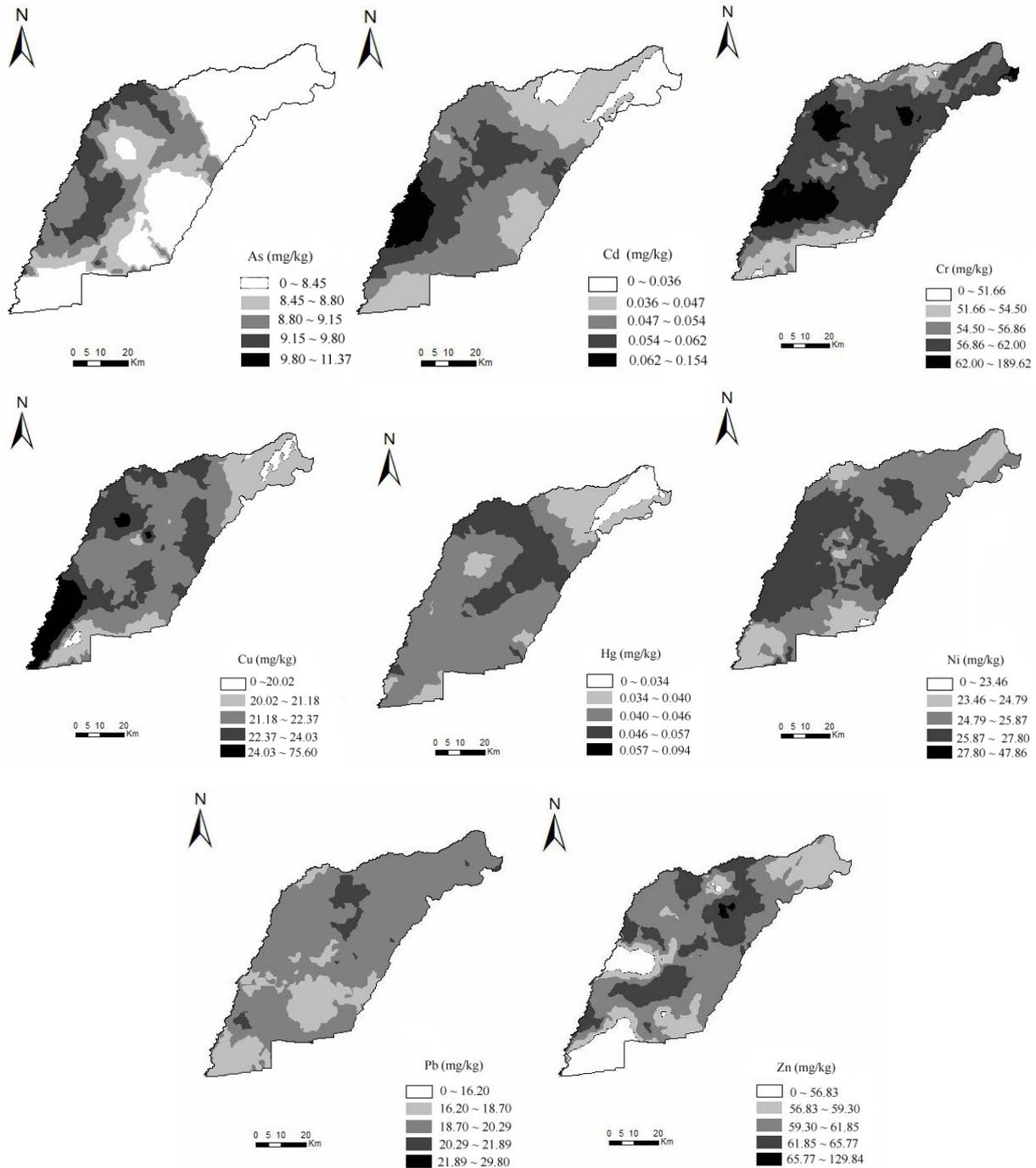


图 2 土壤耕层重金属空间分布

Fig. 2 Spatial Distributions of heavy metals in topsoil

2.2.2 亚耕层 亚耕层土壤重金属含量规律与耕层相似(表4)。Hg和Cd含量降低幅度较大,其中Cd的含量约为耕层的一半,其他元素数值略高或者略低于耕层值。变异系数由大到小依次为Cd>Hg>Cr>Ni>Pb>Zn>As>Cu。Cd与Hg耕层亚耕层的变异系数都非常大,由此我们可以推断这两种元素受到人为因素干扰的可能性比较大。Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Hg、As、Cd耕层与亚耕层含量比值的平均值分别为0.981、0.994、0.978、1.05、1.014、1.349、1.025、2.168。Cr、Cu、Ni耕层亚耕层比值略低于1;Pb、Zn、As的比值略高于1;Hg和Cd的比值明显大于1,表现出一定的富集趋势。Hg的平均比值为1.349,大于1

的比例达到64.21%,最大比值为3.38。Cd的平均比值为2.168,变化范围为0.79~6.61,大于1的比例接近90%,Cd的耕层与亚耕层含量都低于背景值,但是二者比值较大,这与其他的学者研究结果差异较大<sup>[27]</sup>。

### 2.3 土壤重金属全量与土壤类型的关系

海伦地区处于松嫩平原和小兴安岭西侧的过渡地带,由于地形的差异,水热状况不同和植被的演变,在不同地形部位分布着不同的土壤类型,有黑土、草甸土、水稻土、沼泽土等,但其中以黑土和草甸土为主要土壤类型。本文对不同类型土壤重金属含量进行了比较,如表5所示。

表4 亚耕层重金属含量(mg/kg)

Table 4 Contents of heavy metals in subsoil

统计值	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As	Cd
平均值	58.81	22.30	26.52	19.17	62.45	0.038	9.008	0.029
中值	56.14	22.10	25.68	19.36	61.43	0.037	9.025	0.027
标准差	12.96	2.31	5.29	3.61	7.072	0.015	1.019	0.013
最小值	46.88	17.90	19.48	9.32	49.01	0.018	4.680	0.007
最大值	155.3	30.84	71.50	29.70	96.75	0.094	11.70	0.068
变异系数%	22.04	10.36	19.95	18.83	11.32	39.02	11.31	43.10

表5 不同类型土壤重金属的含量(mg/kg)

Table 5 Contents of heavy metal among different soil types

土壤类型	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As	Cd
黑土(361)	58.26 ± 11.58 a	22.18 ± 3.62	25.80 ± 3.23	19.32 ± 3.54	61.96 ± 7.82	0.048 ± 0.013	9.15 ± 0.78	0.052 ± 0.018
草甸土(101)	59.38 ± 16.28	22.82 ± 6.37	25.76 ± 3.71	19.13 ± 3.53	61.27 ± 5.44	0.040 ± 0.014	8.81 ± 0.74	0.076 ± 0.046
破皮黄(9)	54.77 ± 7.08	21.95 ± 3.43	25.77 ± 6.63	18.23 ± 3.33	61.08 ± 6.41	0.042 ± 0.011	9.07 ± 0.24	0.045 ± 0.006
森林土(9)	54.44 ± 6.96	21.50 ± 3.46	25.20 ± 2.61	20.58 ± 3.13	59.60 ± 3.00	0.048	9.85	0.034
水稻土(6)	57.99 ± 4.00	26.44 ± 7.07	25.61 ± 0.071	19.93 ± 12.06	58.12 ± 5.08	-	-	-
沼泽土(6)	48.88 ± 4.19	19.62 ± 1.02	23.69 ± 2.16	19.68 ± 2.69	59.04 ± 5.62	-	-	-

注:表中括号内数值为样品数,其中Hg、As、Cd三种元素黑土样79个,草甸土11个,破皮黄3个,森林土1个;表中数值为重金属含量 ± 标准差。

Cr在各土壤类型中含量为48.88~59.38 mg/kg,其中沼泽土中含量最低,草甸土中含量最高;Cu的含量在水稻土中最高,达到26.44 mg/kg,可能由于生物富集作用强,开垦利用时间短,以及周围高低地面径流进入土壤耕层的原因<sup>[12]</sup>,其他几种土壤类型含量比较均匀,没有太大变化。Hg在黑土和森林土中含量相近,草甸土与破皮黄含量相当;As的含量森林土中最高,草甸土中最低;Cd在各类型土壤中的含量与As恰好相反,在森林土中最低,草甸土中最高,且含量相差超过1倍。比较各土壤类型,沼泽土中的Cr、Cu、Ni含量最低,Zn的含量也处于较低水平,可能是由于

沼泽土开发的时间晚,受人为的影响小的原因。Zn在黑土中的含量最高,破皮黄中Pb的含量最低。造成不同类型土壤中重金属含量不同的原因主要有以下几个方面:首先,不同类型的土壤是在不同的母质的基础上形成的,不同母质中重金属含量差异较大,从而导致不同类型土壤中重金属含量也有一定的差异;其次,由于重金属在不同土壤类型中尤其是在水分湿度不同时而造成元素的土壤化学过程不同;最后,是人为因素的干扰,由于不同土壤进行的耕作管理措施(施肥方式和结构)各异,也有可能导致不同类型中重金属含量的差异<sup>[28]</sup>。

## 2.4 重金属的时间变化规律

将本研究结果与 20 世纪 80 年代第二次土壤普查及 2000 年 973 项目研究结果进行比较,可分析重金属在时间上的变化规律。由图 3 可见,Cu 元素的含量在 3 个不同时期没有太大的变化;Pb 在 2000 年和 2008 年含量相当,但相对于 1980 年含量有所降低;Cr 的规律与 Pb 相似,2000 年与 2008 年含量没有太大变化,但是与 1980 年相比含量有较大幅度下降,具体原因有待进一步研究;由于二次土壤普查所调查未涉及 Hg、

As、Cd 等元素,因此将其与 2000 年相比,3 种元素的含量都出现的一定程度的降低,其中 Hg 的降低幅度最大。海伦地区重金属含量没有大幅度上升,部分元素反而出现不同程度降低的主要原因可能是:由于当地没有一定规模的工业,农业是主要产业,外源重金属进入环境的相对较少,同时由于作物吸收,随着作物被收割,部分重金属被带离土壤;另一方面,不同的研究人员、不同的工作环境和分析方法,以及元素的本身的特性,也可能导致数据出现一定的误差。

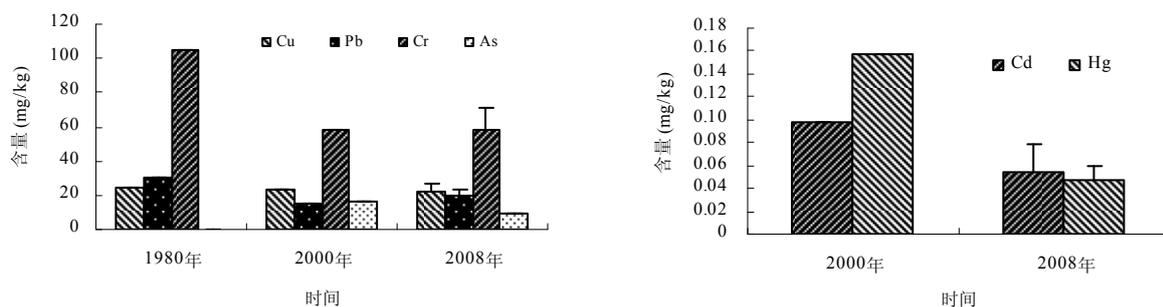


图 3 土壤重金属时空变化图

Fig. 3 Concentrations of several metals at different years

## 2.5 土壤重金属污染评价

运用不同的标准对当地的重金属污染状况进行评价,结果如表 6 所示。以松嫩平原背景值作为标准进行污染评价时,除 Cd 之外,其他元素的单因子污染指数均接近 1 或者大于 1,各重金属元素出现污染点(污染指数大于 1)比率大部分都在 50% 以上。各个元素的污染指数从大到小依次为 Hg>Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd,其中以 Cd 的单因子污染指数最低,为 0.740,污染比率也仅为 11.7%,没有污染的迹象;Hg

的单因子污染指数最高,达到了 1.517,污染比率达到了 94.7%;Zn、Cu 和 Cr 的单因子污染指数>1.1,污染比率更是超过了 95%。整个研究区域综合污染指数为 1.341,说明海伦地区土壤受到人为活动的影响,出现了一定程度的污染,达到了轻微污染的级别。当以国家二级标准进行评价时,土壤中各污染物的单因子污染指数均<1,顺序为 Ni>As>Cr>Zn>Cu>Pb>Hg>Cd,综合污染指数为 0.504,表明该地区土壤为安全等级,属清洁未受污染。

表 6 不同评价标准下土壤重金属污染指数

Table 6 Heavy metal pollution indices under different evaluation standards

重金属	松嫩平原背景值为评价标准			国家二级标准为评价标准		
	松嫩平原背景值 (mg/kg)	$P_i$	污染比率 (%)	国家二级标准 (mg/kg)	$P_i$	污染比率 (%)
Cr	42.46	1.374	98.0	150	0.387	0.02
Cu	17.78	1.253	95.7	50	0.444	0.04
Ni	23.65	1.088	77.5	40	0.641	0.06
Pb	20.23	0.954	40.9	250	0.077	0
Zn	52.05	1.178	97.1	200	0.302	0
Hg	0.031	1.517	94.7	0.30	0.156	0
As	9.14	0.997	42.5	40	0.303	0
Cd	0.073	0.740	11.7	0.3	0.180	0
$P_{\text{总}} = 1.341$			$P_{\text{总}} = 0.504$			

注:污染比率为  $P_i > 1$  的样点占总样点数的比率。

农田重金属来源非常广泛,除了受成土作用及工业影响外,农业行为本身也会带入一定量的重金属进入土壤。大量的化肥农药及杀菌剂除草剂的运用会造成某些元素的累积,因为这些化学试剂在原材料或者生产过程中都或多或少会带入一些重金属<sup>[2]</sup>。海伦地区没有大型的工业企业,重金属来源于工业的可能性较小。该地区的主要作物是大豆和玉米,混合肥与磷肥施用量较多,而磷肥的原材料磷矿石中含有大量的Cd。马耀华和刘树应<sup>[29]</sup>在上海地区田园研究发现施肥后Cd的含量是原来的2倍多。含Cu添加剂在动物饲料的运用,可能是Cu在部分地区含量较高的主要原因,一些村庄仍有集中饲养奶牛,未被吸收的Cu随粪便进入土壤势必会造成Cu的积累。含Pb汽油的燃烧导致在公路附近的Pb含量增加已经被多次报道<sup>[30]</sup>,而采样期间海伦北部城镇正在修路,大型运输车辆往来频繁,这可能是北部含量高的一个原因。另外冬天烧煤取暖也可以通过大气沉降的方式使土壤中的Zn、Cd、Hg含量增大<sup>[25]</sup>。

### 3 结论

从空间上来看,海伦地区耕地土壤重金属总体含量较低。Cd的含量明显低于当地背景值,Cr、Zn、Hg高于背景值。该地区的重金属含量,西部相对而言比东部高。Cr和Cu在中部有些岛状的高浓度点,可能有小范围的污染点源。而As在西部,Pb在西南角也有一些较高含量点。Hg和Cd的耕层亚耕层比值较大,说明有一定的富集趋势。从时间上来看,Pb和Cr的含量在第一时间段呈降低趋势,尤其Cr下降的幅度非常大;其他几种元素含量随着时间的迁移,都有一定范围的降低。说明当地土壤重金属随着时间的迁移富集趋势不明显,受到的重金属污染潜在环境风险较小。

当以背景值作为标准进行评价时,除了Cd外,其他元素出现污染的样点数都比较多,且污染指数也较高,其中Hg达到了1.517,表明研究区域出现了Hg的富集趋势严重,属于轻度污染;综合污染指数为1.341,达到轻污染级别。当以国家二级标准进行评价时,各个元素均未达到污染水平,综合污染指数为0.504,属于安全级别。可见以不同标准进行评价,结果有很大差异,采用双重标准有助于更全面地了解土壤污染状况。

**致谢:** 感谢环保部南京环境科学研究所杭小帅博士对文章修改提出了宝贵意见。

### 参考文献:

- [1] Abderahman N, Abu-Rukah YH. An assessment study of heavy metal distribution within soil in upper course of Zarqa River Basin/Jordan. *Environmental Geology*, 2006, 49(8):1 116-1 124
- [2] Huang SS, Liao QL, Hua M, Wu XM, Bi KS, Yan CY, Chen B, Zhang XY. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China. *Chemosphere*, 2007, 67(11): 2 148-2 155
- [3] Morton-Bermea O, Hernandez-Alvarez E, Gonzalez-Hernandez G, Romero F, Lozano R, Beramendi-Orosco LE. Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration*, 2009, 101(3): 218-224
- [4] Hang XS, Wang HY, Zhou JM, Ma CL, Du CW, Chen XQ. Risk Assessment of Potentially Toxic Element Pollution in Soils and Rice (*Oryza Sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta. *Environmental Pollution*, 2009, 157(8/9): 2 542-2 549
- [5] 张勇. 沈阳郊区土壤及农产品重金属污染的现状评价. *土壤通报*, 2001, 32(04): 182-186
- [6] 郭平, 谢忠雷, 李军, 周琳峰. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价. *地理科学*, 2005, 25(1): 108-112
- [7] 陈怀满. 土壤—植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996
- [8] Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. Assessing Heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 2006, 65(5): 863-872
- [9] Taylor MD. Accumulation of cadmium derived from fertilisers in new zealand soils. *Science of the Total Environment*, 1997, 208(1/2): 123-126
- [10] 黄治平, 徐斌, 涂德浴, 张克强. 规模化猪场废水灌溉农田土壤Pb, Cd和As空间变异及影响因子分析. *农业工程学报*, 2008, 24(02): 77-83
- [11] 夏增禄, 李森照, 李廷芳, 巴音. 土壤元素背景值及其研究方法. 北京: 气象出版社出版, 1987: 308
- [12] 黑龙江省海伦县土壤普查办公室. 海伦土壤志. 黑龙江海伦: 海伦县土壤办公室 1985
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [14] 师荣光, 周启星, 刘凤枝, 赵玉杰, 郑向群, 张浩. 天津郊区土壤-蔬菜系统中Cd的积累特征及污染风险. *中国环境科学*, 2008, 28(07):634-639
- [15] Li MS, Luo YP, Su ZY. Heavy Metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi,

- south China. *Environmental Pollution*, 2007, 147(1): 168-175
- [16] Demirak A, Yilmaz F, Levent TA, Ozdemir N. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere*, 2006, 63(9): 1 451-1 458
- [17] 赵振平, 张怀成, 冷家峰, 邓保军. 水消解蒸气发生——原子荧光光谱法测定土壤中的砷、锑和汞. *中国环境监测*, 2004, 20(01): 44-46
- [18] 李天杰. *土壤环境学*. 北京: 高等教育出版社, 1995: 304-309
- [19] 夏家淇. *土壤环境质量详解*. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 84-86
- [20] 刘凤枝, 师荣光, 徐亚平, 蔡彦明, 铭刘, 战新华, 王跃华, 刘保锋. 耕地土壤重金属污染评价技术研究——以土壤中铅和镉污染为例. *农业环境科学学报*, 2006, 25(2): 422-426
- [21] 朱白澍. 黑龙江海伦耕地土壤质量评价研究(硕士学位论文). 重庆: 西南大学, 2010: 27
- [22] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 董汉英, 陈玉娟, 龙祥葆, 罗妙榕, 向运荣, 周毛. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征. *中国环境科学*, 2003, 23(06): 592-596
- [23] 潘根兴, 成杰民, 高建琴, 刘世梁, 郑金伟. 江苏吴县土壤环境中某些重金属元素的变化. *长江流域资源与环境*, 2000, 9(01): 51-55
- [24] 巫和听, 胡雪峰, 张国莹, 方圣琼, 吴晨娟. 上海市宝山区土壤重金属含量及其分异特征. *上海大学学报(自然科学版)*, 2004, 10(04): 400-405
- [25] Yang PG, Mao RZ, Shao HB, Gao YF. The spatial variability of heavy metal distribution in the suburban farmland of Taihang piedmont plain, China. *Comptes Rendus Biologies*, 2009, 332(6): 558-566
- [26] 汤国安, 杨昕. *地理信息系统空间分析实验教程*. 北京: 科学出版社, 2006.
- [27] 汪景宽, 赵永存, 张旭东, 王秋兵. 海伦县土壤重金属含量的空间变异性研究. *土壤通报*, 2003, 34(05): 398-403
- [28] 史文娇, 魏丹, 汪景宽, 迟凤琴, 李双异. 双城市土壤重金属空间分异及影响因子分析. *水土保持学报*, 2007, 21(01): 59-64
- [29] 马耀华, 刘树应. *环境土壤学*. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998: 178-207
- [30] Chen TB, Wong JWC, Zhou HY, Wong MH. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environmental Pollution*, 1997, 96(1): 61-68

## Heavy Metals Distribution Characteristics and Pollution Assessment in Farmland Soils of Hailun City, Heilongjiang Province

CHEN Yu-dong<sup>1,2</sup>, WANG Huo-yan<sup>1</sup>, ZHOU Jian-min<sup>1</sup>, ZHAO Yong-cun<sup>1</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;*

*2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** In order to study the distribution and status of heavy metal pollution in farmland soils of Hailun, a typical agricultural city of Heilongjiang Province, 494 topsoil samples and 95 subsoil samples were collected from the farmland. The contents of Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, As and Cd in these soil samples were determined, and monomial pollution index and Nemerow aggregate pollution index were applied to evaluate the topsoil environmental quality. The results showed that the contents of heavy metals were relatively low in most topsoil samples, and the contents in west were higher than in east, especially in southwest and northwest. The contents of several heavy metals in the topsoils were beyond their respective background values, suggesting that some heavy metals were slightly accumulated in the topsoils. According to the Environmental Quality Standard for Soils, the contents of heavy metals in topsoils were below Grade II Criterion, and the Nemerow aggregate pollution index was 0.504. The contents of Hg and Cd in subsoil were lower than in topsoil, but other element contents and spatial distribution characteristics of subsoil were similar to those of topsoil. The variation trend of heavy metal accumulation was not evident from 1980 to 2008, and the risk of heavy metal pollution was low in the short term.

**Key words:** Black soil, Heavy metal, Distribution characteristic, Assessment