

烟台东部高新技术海洋经济新区 地表土壤重金属污染评价

张生海, 杨宁, 袁芳

(山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264004)

摘要:近年来,随着烟台东部高新技术海洋经济新区的快速发展,城市地表土壤重金属污染状况愈渐严重,以烟台东部高新技术海洋经济新区范围作为研究区,在地表深度1 m以内的表土(0~20 cm)和心土(20~40 cm),取土壤样205件进行分析测试,采用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法,对研究区进行了地表土壤重金属污染评价,7种重金属元素单项污染程度依次为 $Pb > Cu > Cd > Hg > Cr > Ni > As$;根据内梅罗综合污染指数法评价研究区土壤环境质量,认为整体较好,大部分属于清洁区和尚清洁区;区内地表土壤重金属污染主要分布于芝罘区、莱山区西北以及解甲庄镇西南工业集中地区,其中 Pb, Cu, Cd, Hg 4种元素为造成研究区地表土壤重金属元素污染的主要污染元素, Ni, Cr 为造成区内地表重金属污染的次要因素, As 未发现污染,与重金属元素单项污染程度相呼应。

关键词:地表土壤重金属;单项污染指数法;内梅罗综合污染指数法;污染评价;烟台东部高新技术海洋经济新区

中图分类号:X825

文献标识码:B

引文格式:张生海,杨宁,袁芳.烟台东部高新技术海洋经济新区地表土壤重金属污染评价[J].山东国土资源,2017,33(11):48-54.ZHANG Shenghai, YANG Ning, YUAN Fang. Evaluation on Heavy Metal Pollution of Surface Soil in High-tech Marine Economic Zone in Eastern Yantai[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(11): 48-54.

0 引言

烟台东部高新技术海洋经济新区(以下简称烟台东部新区)是烟台市“十二五”城市建设的最大亮点,是烟台市规划建设的重中之重和一号工程。近年来,随着烟台东部新区经济的快速发展,通过工业排放、工业废渣堆放、交通尾气、生活垃圾堆放及焚烧等途径造成的城市地表土壤重金属污染状况愈渐严重,导致重金属元素难以降解严重腐蚀土地、土质硬化、保水保肥能力下降、农作物减产甚至绝产等现象出现,对城镇居民的生产、生活及身心健康构成了威胁。土壤重金属污染是指土壤中重金属元素含量明显高于其自然背景值,并造成生态破坏和环境质量恶化的现象^[1],一般来说,引起土壤重金属污染的元素主要包括 $Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Hg, As$ 等8种元素。

重金属元素的来源有许多途径,例如:化石燃料

中含有 $Hg^{[2]}$; Cd, Pb, Zn 来源于垃圾焚烧、水泥生产、降尘及交通运输^[3];利用尾矿、废渣等废弃物作为原料煅烧水泥时, Pb, Cd 的逸放率高达60%以上^[4];含有 Cu 的 $Ni-Cr$ 合金强度高,塑性好,耐腐蚀,成为电器、海轮和医疗器械制造业的重要材料等^[5]。任何一种重金属元素的累积致使土壤污染时,都可能导致土壤地表环境正常功能失调及土壤环境质量下降^[6],不仅影响和改变城市土壤的生态功能,而且危害人体身心健康^[7]。土壤环境质量是揭示土壤条件动态的最敏感指标,可体现自然因素及人类活动对土壤的影响^[8],近年来,国内逐渐开展研究土壤重金属污染物来源,评价其污染程度和对人体健康的影响^[9],山东省内近几年也有土壤地球化学特征及环境质量评价的相关研究成果^[10-11]。评价烟台东部新区地表土壤重金属污染现状,对于控制污染源和切断污染传播途径具有理论和现实意义。目前国内普遍采用污染指数法进行土壤重金属

收稿日期:2017-03-20;修订日期:2017-04-19;编辑:曹丽丽

基金项目:山东省烟台东部高技术海洋经济新区地质环境调查与评价,编号:鲁勘字(2012)7号

作者简介:张生海(1988—),男,河北峰峰人,助理工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail: zhangsh0622@163.com

污染评价^[12],以烟台东部新区为研究区,采用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法较全面地分析出区内地表土壤中重金属元素含量的分布特征,评价了区内地表土壤重金属元素的污染程度及污染分布范围。

1 研究区概况

依据烟台市委、市政府《关于规划建设烟台东部高新技术海洋经济新区的意见》,烟台东部新区规划范围为:烟台高新区,牟平区的养马岛旅游度假区、经济开发区、大窑沁水韩国工业园、姜格庄台湾工业园、牟平城区、龙泉镇等,莱山区解甲庄、黄海街道等,芝罘区东山、幸福、芝罘岛街道以及烟台保税港区A区,总面积约600 km²。研究区范围与东部新区规划范围基本一致,面积约636 km²。区内地势总体南高北低,自南向北逐渐延伸为山前平原和滨海平原,海拔均在50 m以下,在山东省地貌分区中主要属于构造侵蚀低山丘陵亚区、构造剥蚀丘陵亚区和堆积山间平原、滨海平原亚区。区内属暖温带季风型大陆性气候,四季分明,气候温和,年平均风速3.5 m/s,多年平均气温12.5℃(1979—2013年),多年平均降水量634.66 mm(1979—2013年),多年平均蒸发量1745.7 mm,平均无霜期199 d。区内主要河流有辛安河、沁水河、鱼鸟河、汉河等,流量受季节影响大,丰枯悬殊,均向北径流入海,东部新区海域面积约2200 km²。研究区工、农业等较为发达,工业“三废”排放、生活污水排放,生活垃圾堆积,农业化肥、农药的使用等呈逐年增加的趋势,导致地表土壤重金属元素含量增加,城市土壤环境作为大气、水体和固体废物中污染物的重要受体,重金属会在土壤中长期滞留,对城市居民的健康造成潜在威胁^[13],区内多数地段工业、农业及生活污染已超出“点状污染”的范围,构成了贯通的污染层。

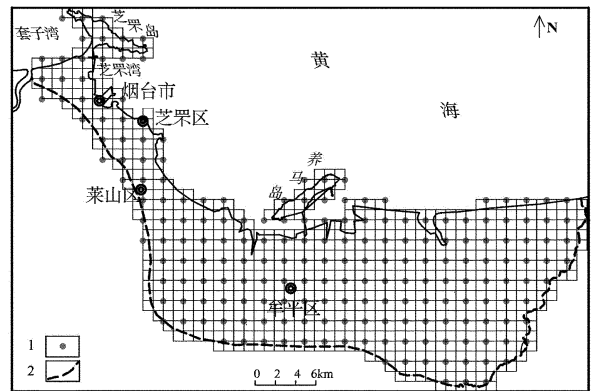
2 样品采集与分析结果

2.1 样品采集和分析

土壤中重金属元素较难发生迁移,因此,当重金属输入土壤后,总是停留在表土或亚表土,很少迁入土壤底层,这一现象成为土壤是否受到重金属污染的一种坚定特征^[14]。土壤分析采样深度为1 m以内的表土(0~20 cm)和心土(20~40 cm)^[15],采集

地表土壤分析样品205件,各样点位置如图1所示,每个样点均采用GPS定位,按照1点/km²采集,采集后每4 km²的样品合并为一个样品^①,将土壤样品送至通过质量认证的山东省第三地质矿产勘查院实验室内自然风干,剔除植物残体和石块,过100目尼龙筛,保存于塑料瓶中备用。

按照相关规范^[16]采用Axios荧光光谱仪、F6-3非色散原子荧光计及XGY-1011A原子荧光光度计等设备仪器,在20~24℃,相对湿度为50%~62%环境下进行样品分析测试的方法,对取土壤样品进行分析,分析项目为Cd, Hg, As, Cu, Pb, Cr, Ni共7种重金属元素。



1—取样点位置;2—研究区范围界线
图1 研究区土壤采样点位置示意图

2.2 样品分析统计

通过土壤分析样的分析测试结果,对Cd, Hg, As, Cu, Pb, Cr, Ni各重金属元素进行统计分析可知,研究区土壤环境中各重金属元素的变异系数差别较大,变异系数最大的是Hg,高达202.5%,Pb的变异系数最小,也有42.9%。7种重金属的变异系数由大到小的顺序为:Hg>Cu>Cd>Ni>Cr>As>Pb,研究区内7种重金属变异系数都相对较高,说明人为活动影响强烈,并且研究区内局部地表土壤重金属污染较为严重(表1)^[17]。

① 山东省第三地质矿产勘查院,山东省烟台东部高新技术海洋经济新区地质环境调查与评价设计书,2012年。

表 1 研究区地表土壤重金属统计分析 (mg/kg)

元素	平均数	中位数	最大值	最小值	变异系数	标准差
Cd	0.124	0.105	1.142	0.01	0.871	0.108
Hg	0.040	0.025	1.11	0.005	2.025	0.081
As	5.849	5.3	15.2	1.9	0.430	2.516
Cu	24.298	17.6	302.1	1.1	1.174	28.537
Pb	32.973	30.9	145.8	18.4	0.429	14.154
Cr	45.502	43.9	119.4	5	0.475	21.630
Ni	17.865	16.2	54.7	2	0.528	9.441

3 地表土壤重金属污染评价

3.1 评价方法选取

根据相关标准和规范^[18-19],采用单项污染指数法和内梅罗综合指数法对研究区土壤重金属污染进行评价分析。单项污染指数法计算公式为^[20]:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{i0}}$$

式中: P_i —污染物的污染指数; C_i —污染物的实测含量; C_{i0} —污染物的一级土壤标准值。

内梅罗综合污染指数法计算公式为:

$$P_{综} = \sqrt{\frac{P^2 + P_{max}^2}{2}}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

式中: $P_{综}$ —土壤综合污染指数; \bar{P} —各单项组分污染指数的平均值^[21-23]; P_{max} —单项组分污染指数 P_i 中的最大值。

由于该次研究没有土壤背景值,故采用《土壤

环境质量标准》^[18](GB15618-1995),选取 Cd, Hg, As, Cu, Pb, Cr, Ni 为污染指数,对应的土壤环境质量一级标准值分别为 0.2, 0.15, 15, 35, 35, 90, 40, 得到单项指标的污染指数 P_i , 根据单项指标的污染指数求得土壤综合污染指数 $P_{综}$, 最后根据单项污染指数及综合污染指数的范围,划分土壤污染程度^[19], 具体划分指标见表 2。

表 2 土壤评价等级划分标准

单项污染指数	污染等级	内梅罗综合污染指数	污染等级
<1.0	非污染	≤0.7	清洁(安全)
1.0~2.0	轻度污染	0.7~1.0	尚清洁(警戒线)
2.0~3.0	中度污染	1.0~2.0	轻度污染
>3.0	重度污染	2.0~3.0	中度污染
—	—	>3.0	重度污染

3.2 地表土壤重金属污染指标分析及评价

将上述评价因子计算出的 P_i 与 $P_{综}$ 录入 Excel 表格,通过运用 MapGIS 中 DTM 分析 Tin 模型,导入到点文件点属性当中,绘制 P_i 与 $P_{综}$ 污染分区图。通过对 P_i 与 $P_{综}$ 污染分区图进行分析,采用单项污染指数和内梅罗综合污染指数法评价出研究区地表土壤重金属污染程度、污染面积和分布位置、主要污染物及污染特征以及污染形成原因等。

3.2.1 单项污染指标分析及评价

根据单项污染指数法对各项评价因子进行分析评价,评价统计出各单项评价因子非污染区、轻度、中度及重度污染区的面积以及所占研究区面积的比例情况详见表 3。

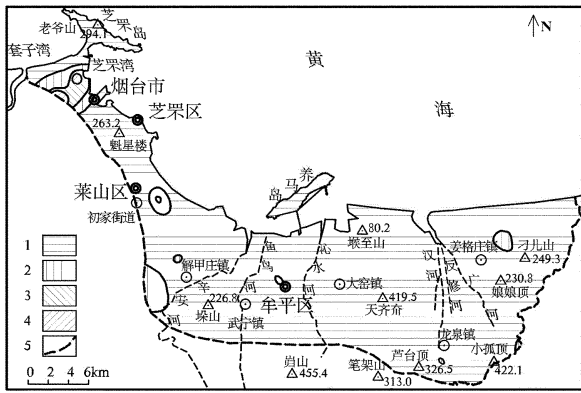
表 3 研究区单项污染指数评价结果

评价因子	非污染区面积 (km ²)	占研究区面积 百分比	轻度污染区 面积(km ²)	占研究区 面积(%)	中度污染区 面积(km ²)	占研究区 面积(%)	重度污染区 面积(km ²)	占研究区 面积(%)
Cd	604.30	95.02	24.30	3.82	5.68	0.89	1.72	0.27
Hg	627.59	98.67	2.61	0.41	2.17	0.34	3.63	0.57
As	636.00	100.00	—	—	—	—	—	—
Cu	566.74	89.11	11.74	9.05	47.86	7.53	9.66	1.52
Pb	507.12	79.74	104.97	16.50	16.03	2.52	7.88	1.24
Cr	628.58	98.83	7.42	1.17	—	—	—	—
Ni	629.79	99.03	6.21	0.97	—	—	—	—

Cd:由 Cd 单项污染指数可得,研究区大部分地区为非污染区,面积为 604.3 km², 占总面积95.02%; 污染区主要分布于幸福街道、孙家滩、上庄及刘家滩等地,面积为 31.70 km², 占总面积 4.98%; 幸福街道、孙家滩附近为中、重度污染, Cd 最大含量达

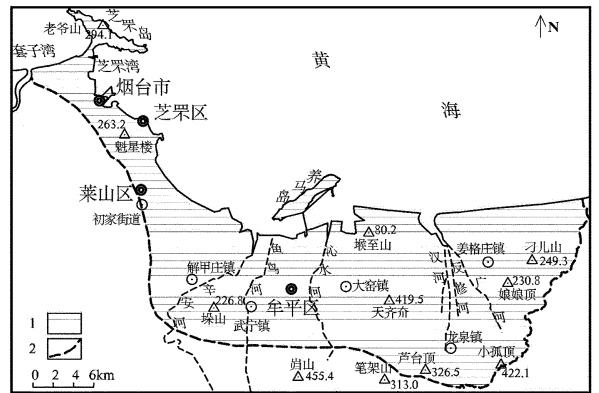
1.142mg/kg, 是标准值的 5.71 倍; 大庄、刘家滩等地为轻度污染(图 2), 该污染区内各类工业厂房集中、人类活动密集是造成 Cd 污染的主要原因。

Hg:由 Hg 单项污染指数可得,研究区大部分地区为非污染区,面积为 627.59 km², 占总面积



1—非污染区;2—轻度污染区;3—中度污染区;4—重度污染区;5—研究区范围界线

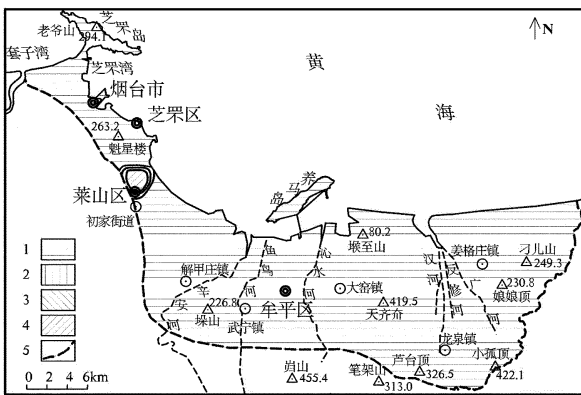
图 2 地表土壤 Cd 污染分区图



1—非污染区;2—研究区范围界线
图 4 地表土壤 As 污染分区图

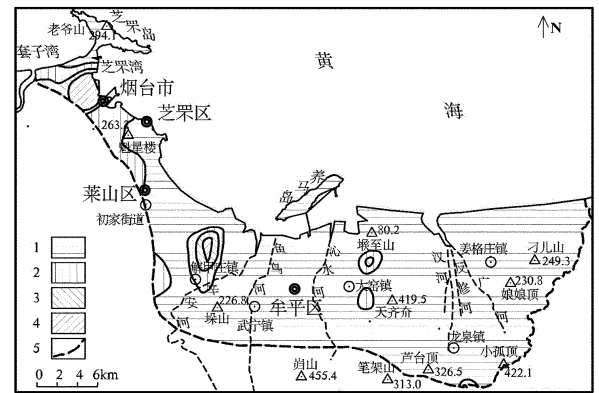
98.67%;污染区主要分布于黄海路街道及西码头附近等地,面积为 8.41 km², 占总面积 1.32%, 黄海路街道附近发现中、重度污染现象,且污染严重,最大 Hg 含量 1.11 mg/kg,是标准值 7.4 倍(图 3), 黄海路街道形成的生物制药、电子信息等多支柱产业,是造成研究区 Hg 污染的主要原因。

染的主要元素(图 5),区内铜矿的开采和冶炼、金属加工、机械制造等工业发展及密集的人为活动是造成 Cu 污染的主要原因。



1—非污染区;2—轻度污染区;3—中度污染区;4—重度污染区;5—研究区范围界线

图 3 地表土壤 Hg 污染分区图



1—非污染区;2—轻度污染区;3—中度污染区;4—重度污染区;5—研究区范围界线

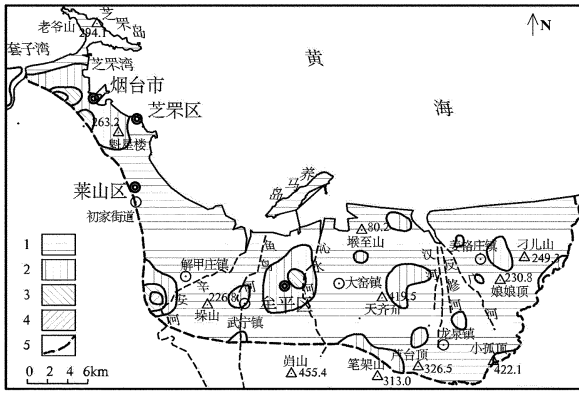
图 5 地表土壤 Cu 污染分区图

As:由 As 单项污染指数可得,研究区全部属于非污染区(图 4)。

Pb:由 Pb 单项污染指数可得,研究区较大部分地区为非污染区,面积为 507.12 km², 占总面积的 79.74%;污染区主要分布于幸福街道、烟台市火车及汽车站附近、黄海路街道、解甲庄街道、牟平区等地,面积为 128.88 km², 占总面积 20.26%,其中,中、重度污染区主要分布于牟平区、解甲庄街道、幸福街道附近,局部最大铅含量达 145.8 mg/kg,是标准值的 4.166 倍,其他区域为轻度污染,面积较大,约 104.97km²(图 6),该污染区内金属加工业、机器制造业、电子信息产业、医疗产业的发展及火车铁路与汽车尾气的排放是造成 Pb 污染的主要原因。

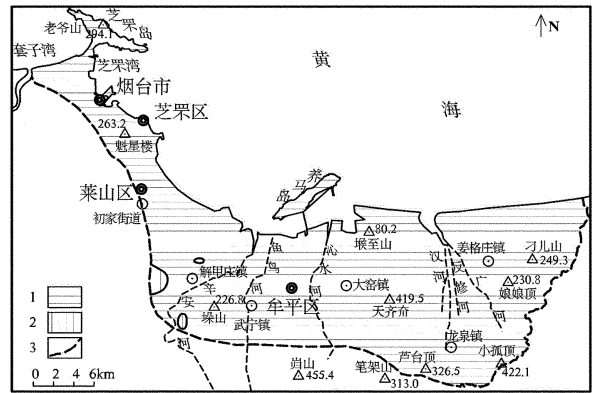
Cu:由 Cu 单项污染指数可得,研究区大部分地区为非污染区,面积为 566.74 km², 占总面积的 89.11%;污染区主要分布于幸福街道、黄海路街道、解甲庄镇、陈家、北沙子及王家庄等地,面积为 69.26 km², 占总面积 10.89%,幸福街道、陈家、北沙子、王家庄等地为中、重度污染,且污染较严重,研究区轻度污染面积也较大,所以 Cu 污染是造成研究区污

Cr:由 Cr 单项污染指数可得,研究区绝大部分地区为非污染区,面积为 628.58 km², 占总面积 98.83%;污染区主要位于烟台山、周家庄、沟头店及



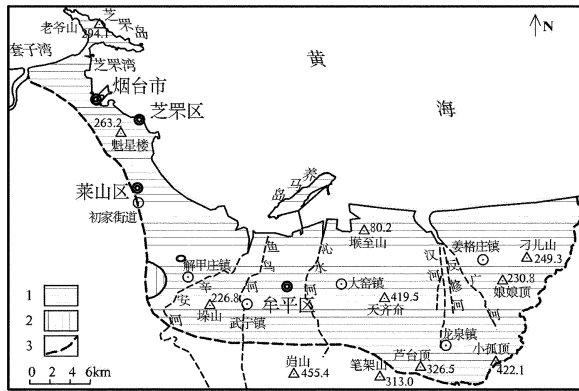
1—非污染区;2—轻度污染区;3—中度污染区;4—重度污染区;5—研究区范围界线

图 6 地表土壤 Pb 污染分区图



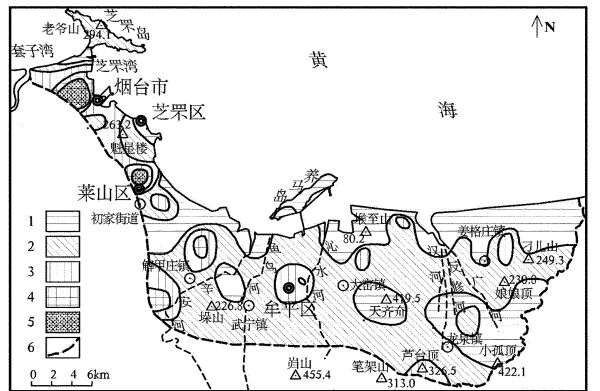
1—非污染区;2—轻度污染区;3—研究区范围界线

图 8 地表土壤 Ni 污染分区图



1—非污染区;2—轻度污染区;3—研究区范围界线

图 7 地表土壤 Cr 污染分区图



1—清洁区;2—尚清洁区;3—轻度污染区;4—中度污染区;5—中度污染区;6—研究区范围界线

图 9 研究区地表土壤重金属综合污染分区图

朱柳等地,面积为 7.42 km²,占总面积 1.17%,全为轻度污染区(图 7),该污染区内的工业“三废”排放为造成 Cr 污染的主要原因。

Ni:由 Ni 单项污染指数可得,研究区重金属 Ni 污染相对较轻,绝大部分地区为非污染区,面积为 629.79 km²,占总面积的 99.03%,污染区主要分布于西口村西侧、曲家洼、沟头店、围子山西侧周围等地,面积为 6.21 km²,占总面积 0.97%,全为轻度污染区(图 8),区内大气降尘、灌溉用水(包括含镍废水)、农田施肥、岩石风化及动植物残体的腐烂等是造成 Ni 污染的主要原因。

由上述单项污染指数法分析得知,研究区内 7 种重金属元素中 Pb 污染面积为 128.88 km²,最大污染指数为 4.166,为重度污染;Cu 污染面积为 69.26 km²,最大污染指数为 8.631,为重度污染,虽然污染指数较大,但是相对 Pb 的污染面积小许多;

Cd 污染面积为 31.70 km²,最大污染指数为 5.710,为重度污染,污染面积较小;Hg 污染面积为 8.41 km²,最大污染指数为 7.400,为重度污染,但污染区域较小,说明存在点污染源;Cr 污染面积为 7.42 km²,Ni 污染面积为 6.21 km²,均为轻度污染,As 未发现污染,故研究区内 7 种重金属元素单项污染程度依次为 Pb>Cu>Cd>Hg>Cr>Ni>As。

3.2.2 综合污染指标分析及评价

单项污染指数法可以判断环境中的主要污染因子,但环境是一个复杂的体系,环境污染往往由多个污染因子符合污染造成,该方法仅能对某一种重金属元素污染进行评价,不能全面、综合反映土壤污染程度^[24]。该次选用内梅罗综合污染指数法对研究区土壤重金属污染进行综合评价。

根据内梅罗综合污染指数法评价结果(图 9、表 4)可得:研究区土壤属清洁级别的面积为

235.32 km², 占总面积 37.0%, 主要分布于芝罘湾—套子湾一带、解甲庄北部、养马岛—墩至山—刁儿山北部及龙泉镇大部分地区; 尚清洁区面积为 297.65 km², 占总面积 46.80%, 主要分布于芝罘岛、芝罘湾—套子湾南部、魁星楼东北部、初家街道东部及牟平区大部分地区; 轻度污染区面积为 75.05 km², 占总面积的 11.80%, 主要分布于幸福街道西北部、黄海路街道大部、辛安河西南部、牟平区城区、墩至山南部、刁儿山西北部及芦台顶附近地区, 主要污染因子为 Pb, Cu, Cd, Hg, Ni, Cr, 主要污染原因为机器制

造业、电子信息产业及相对密集的人为活动; 中度污染区面积为 15.26 km², 占总面积 2.4%, 主要分布于幸福街道、黄海路街道、解甲庄街道及姜家疃附近地区, 重度污染区面积为 12.72 km², 占总面积 2.0%, 主要分布于幸福街道及黄海路街道附近地区, 属于人类活动频繁且地势相对平缓主城区, 造成该区域污染的重金属主要为 Pb, Cu, Cd, Hg, 主要由于金属加工业、机器制造业、电子信息产业、医疗产业、交通运输及生活垃圾堆积等人为活动是造成的研究区地表土壤重金属污染。

表 4 研究区地表土壤重金属综合评价结果

污染等级	分布范围	面积(km ²)	主要污染因子
清洁(安全)	芝罘湾—套子湾一带、解甲庄北部、养马岛—墩至山—刁儿山北部及龙泉镇大部分地区	235.32	—
尚清洁(警戒线)	芝罘岛、芝罘湾—套子湾南部、魁星楼东北部、初家街道东部及牟平区大部分地区	297.65	—
轻度污染	幸福街道西北部、黄海路街道大部、辛安河西南部、牟平区城区、墩至山南部、刁儿山西北部及芦台顶附近地区	75.05	Pb, Cu, Cd, Hg, Ni, Cr
中度污染	幸福街道、黄海路街道、解甲庄街道及姜家疃附近地区	15.26	Pb, Cu, Cd, Hg
重度污染	幸福街道及黄海路街道部分地区	12.72	Pb, Cu, Cd, Hg

综合评价结果与单因子污染评价结果出现了不一致现象: 综合污染等级中清洁与尚清洁二者面积合计为 532.97 km², 但单项因子污染评价非污染区面积最小为 507.12 km²。出现这种结果是因为在进行综合污染评价中需要用到各取样点单项组分污染指数 P_i 的平均值以及 P_i 的最大值, 虽然个别样品中的某种单项组分污染指数 P_i 超标, 显示单项因子污染, 但是其超标数值及其他单项组分污染指数 P_i 数值均相对较小, 在进行综合污染评价计算结果中

显示土壤级别为清洁或尚清洁。表 5 中列出研究区的个别样品各项组分污染指数及综合污染指数结果: 例如 6 号取样点, 虽然 Cd 单项污染指数 1.17, 为轻度污染, 但综合污染评价结果为 0.95, 土壤级别为尚清洁, 其他轻度、中度及重度综合污染评价和单因子污染评价结果与此类似。综上, 由于综合污染评价与单项污染评价计算方法不一样, 导致评价结果出现不一致现象, 内梅罗综合污染指数法较单项污染指数法更能全面、综合评价分析土壤污染程度。

表 5 研究区各别样品各项组分污染指数及综合污染指数结果

样品编号	P_i (Pb)	P_i (Cu)	P_i (Cd)	P_i (Hg)	P_i (Cr)	P_i (Ni)	P_i (As)	P_i 平均值	P_{max}	$P_{综}$
6	0.83	0.81	1.17	0.34	0.63	0.52	0.48	0.68	1.17	0.95
17	1.06	2.28	1.18	0.39	0.58	0.62	0.59	0.96	2.28	1.75
23	1.03	1.09	0.81	0.75	0.62	0.60	0.56	0.78	1.09	0.95
55	3.81	0.78	1.58	0.37	0.82	0.74	0.91	1.29	3.81	2.84
164	0.65	0.11	0.12	0.04	0.18	0.14	0.17	0.20	0.65	0.48

4 结论

(1) 研究区 7 种重金属元素单项污染程度依次为 Pb>Cu>Cd>Hg>Cr>Ni>As。

(2) 研究区土壤环境质量整体较好, 大部分属于清洁区和尚清洁区。属清洁级别的面积为 235.32 km², 尚清洁区面积 297.65 km², 轻度污染区面积 75.05 km², 中度污染区面积为 15.26 km², 重度污染

区面积为 12.72 km², 区内地表土壤重金属污染主要分布于芝罘区、莱山区西北以及解甲庄镇西南工业集中地区。

(3) Pb, Cu, Cd, Hg 为造成研究区地表土壤重金属元素污染的主要污染元素; Ni, Cr 相对于其他 4 种金属处于较安全水平, 是造成区内地表重金属污染的次要因素; As 未发现污染, 与重金属元素单项污染程度相呼应。

参考文献:

- [1] 刘春阳,张宇峰,藤洁.土壤中重金属污染的研究进展[J].污染防治技术,2006,14(4):42-45.
- [2] Rodrigues S, Pereira M E, Duarte A C, et al. Mercury in Urban Soils: a Comparison of Local Spatial Variability in Six European Cities[J]. Science of the Total Environment, 2006, 368(2/3): 926-936.
- [3] Wang X S. Correlations Between Heavy Metals and Organic Carbon Extracted by Dry Oxidation Procedure in Urban Roadside Soils[J]. Environmental Geology, 2008, 54(2): 269-273.
- [4] Paul S R, Tony W L, Abbas F J, et al. Investigating Tendon Fascicle Structure - function Relationships in a Transgenic - age Mouse Mode Using Multiple Regression Models[J]. Annals of Biomedical Engineering, 2004, 32(7): 924-931.
- [5] 张伟,孙娟,任凤章,等.钢基体电沉积 Cu, Ni 膜的残余应力及其在线测量[J].河南科技大学学报:自然科学版,2009,30(6):4-7.
- [6] 邱成贵.山东省成武县土壤地球化学特征及土地质量现状[J].山东国土资源,2016,32(9):38-45.
- [7] 刘振东,刘肖云.城市地表土壤重金属污染分析[J].河南科技大学学报:自然科学版,2012,33(6):95.
- [8] 颜雄,张杨珠,刘晶.土壤肥力质量评价的研究进展[J].湖南农业科学,2008,(5):82-85.
- [9] 杨潇瀛,张力文,张凤君,等.土壤重金属污染潜在风险评价[J].世界地质,2011,30(1):103-109.
- [10] 衣伟虹,王松涛,王江波,等.长岛县南五岛土壤地球化学特征及环境质量评价[J].山东国土资源,2016,32(12):37-40.
- [11] 庞绪贵,代杰瑞,徐春梅,等.平阴县土壤地球化学基准值与背景值研究[J].山东国土资源,2015,31(1):56-59.
- [12] 肖思思,黄贤金,彭补拙,等.经济发达耕地土壤重金属污染评价及其影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):674-679.
- [13] 王金达,刘景双,于君宝,等.沈阳市城区土壤和灰尘总 Pb 的分布特征[J].中国环境科学院,2003,23(3):300-304.
- [14] 李德胜,杨忠芳,靳职斌.太原盆地土壤微量元素的地球化学特征[J].地质与勘探,2004,40(3):87-88.
- [15] DD2008-03.城市环境地质调查评价规范[S].
- [16] DZ/T0011-1991.地球化学普查规范[S].
- [17] 张涤非.沈阳地区农田土壤重金属元素含量的空间变异及分布特征[J].安徽农学通报,2011,17(5):119-120.
- [18] GB15618-1995.土壤环境质量标准[S].
- [19] HJ/T166-2004.土壤环境监测技术规范[S].
- [20] 刘哲民.宝鸡土壤重金属污染及其防治[J].干旱区资源与环境,2005,19(2):45-61.
- [21] 李静,谢正苗,徐建明.杭州市郊蔬菜地土壤重金属环境质量评价[J].生态环境,2003,12(3):277-280.
- [22] 潘剑君.土壤资源调查与评价[M].北京:中国农业出版社,2004:1-80.
- [23] GB15618-1995.土壤环境质量标准[S].
- [24] 蔡奎,栾文楼,李超,等.廊坊地区土壤重金属污染程度评价[J].物探与化探,2011,35(5):675-679.

Evaluation on Heavy Metal Pollution of Surface Soil in High - tech Marine Economic Zone in Eastern Yantai

ZHANG Shenghai, YANG Ning, YUAN Fang

(No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Yantai 264000, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of High - tech marine economic zone in eastern Yantai, heavy metal pollution of urban surface soil is getting worse. 205 samples have chosen from topsoil (0~20cm) and subsoil (20~40cm) in the study area in high - tech marine economic zone in eastern Yantai. The pollution of heavy metals in the surface soil in study area has been evaluated by using the single pollution index method and Nemerow pollution index method. The degree of soil pollution of seven kinds of heavy metals has been evaluated with the single pollution index method. The result is $Pb > Cu > Cd > Hg > Cr > Ni > As$. By using Nemerow pollution index method, the soil environmental quality of the study area is evaluated. It is regarded that the environment is generally good, most of the areas belong to clean zone and proximity clean zone. The area of soil heavy metal pollution mainly distributed in Zhifu area, Laishan area in the northwest and southwest of the town of Xiejiazhuang industrial concentration area. Four elements of Pb, Cu, Cd, Hg are main factors which will cause heavy metal pollution in topsoil; Ni and Cr are minor elements; while As are found no pollution which will be corresponding with individual pollution level of heavy metal pollution.

Key words: Heavy metals in surface soil; single pollution index method; Nemerow comprehensive pollution index method; pollution evaluation; high - tech marine economic zone in eastern Yantai