

· 全健康 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rds wxb.20220104



主持人: 韩谦、刘萌萌

# 海南岛农用地土壤重金属的生态风险评价

钟王月<sup>1</sup>, 邹伟<sup>2</sup>, 徐诗琴<sup>2</sup>, 林积泉<sup>2</sup>

(1. 海南大学生态与环境学院, 海口 570228; 2. 海南省生态环境监测中心, 海口 571126)

**摘要:** 为了探究海南岛农用地土壤的环境质量和重金属污染情况, 采集全岛 133 个农用地表层土壤样品, 用地累积指数法以及潜在生态风险指数法对海南岛农用地土壤重金属污染情况和生态危害程度进行评估, 结果显示: (1) 海南岛农用地土壤中 8 种重金属 Cd、Cr、Zn、Pb、Cu、Ni、Hg、As 的地累积指数处于清洁水平的点位占 83.46%, 处于轻度污染的点位占 7.52%, 其中主要为 Cd、Cr 和 Cu 污染; 处于偏中度污染的点位占 4.51% 的点位, 其中 Ni 的污染占比最大。(2) 海南岛农用地土壤受到重金属危害程度较低, 研究区整体潜在生态风险等级为低风险。Cd 为主要潜在危害元素, Cd 处于中等、重度风险采样点占采样点数量的 21.80% 和 3.76%, 所占比重最大, 说明部分点位地区农用地土壤 Cd 元素富集。本研究的结论: 海南岛的农用地土壤环境质量总体良好, 但有少部分区域土壤重金属污染属中等生态风险, 主要分布区域在定安县南部、澄迈县北部以及昌江县和东方市交界处。

**关键词:** 土壤; 重金属含量; 地累积指数; 生态风险评价

**中图分类号:** X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2023)06-0668-07

钟王月, 邹伟, 徐诗琴, 等. 海南岛农用地土壤重金属的生态风险评价 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(6): 668-674.

doi: 10.15886/j.cnki.rds wxb.20220104

土壤是赖以生存和发展的重要物质基础, 也是生态环境中必不可少的组成部分。目前, 我国的重金属污染土壤已达 333 万  $\text{hm}^2$ , 且还在不断增长<sup>[1]</sup>。由于城市化和工业化的推进, 大量的生产、生活及农用化学药品的不合理使用<sup>[2]</sup>, 导致农用地土壤环境恶化, 土壤中的重金属含量增加。由于重金属污染具有长期性、复杂性、潜在性等特点<sup>[3]</sup>, 且土壤的流动性较差导致其中的污染物随着时间推移消减较慢, 还在持续累积、增多, 处理难度持续增加<sup>[4]</sup>。因此, 近年来土壤中重金属元素的积聚状况及其对环境的污染研究成为土壤环境研究的热门问题<sup>[5]</sup>。

海南岛的独特地理优势使其生态环境持续保持全国领先水平。目前关于海南岛重金属农用地的研究主要有重金属的污染评价、源解析和分布特征分析三方面, 李福燕等<sup>[6]</sup>、徐诗琴等<sup>[7]</sup>对海南岛农用地土壤重金属的分布状况和来源进行分

析。在海南土壤重金属污染评价方面虽然有不少研究, 但研究对象比较局限, 主要为海南岛热带作物农场地和典型矿区土壤<sup>[8]</sup>, 缺乏海南岛全域农用地重金属污染和生态风险分布研究。本研究以海南岛农用地土壤为主要研究对象, 对土壤重金属的污染特征和污染现状进行分析评估, 旨在对海南岛农业用地的环境质量和土壤重金属生态风险做出分析, 为海南岛农用地土壤重金属污染防控及合理利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 海南岛的生产活动主要以农业为主, 农用地面积占海南岛总面积的 4/5 以上<sup>[7]</sup>。地形地貌主要呈现为中间高、四周低。海南岛年均气温维持在 23~26℃ 之间, 属于典型的热带海洋季风气候。年均降水量 1 500~2 500 mm。土壤 pH 值 4.2~6.3, 土壤类型有砖红壤、赤红壤、砖

收稿日期: 2022-02-10

修回日期: 2023-03-09

第一作者: 钟王月(1997-), 女, 海南大学生态与环境学院 2020 级硕士研究生. E-mail: 384546001@qq.com

通信作者: 林积泉(1980-), 男, 正高级工程师. 研究方向: 环境评价与环境监测. E-mail: 8797469@qq.com

黄壤等,其中以砖红壤分布最为广泛。

**1.2 样品采集** 研究样品均来自海南岛 18 个市县(108°36'E~111°3'E、18°10'N~20°10'N)农用地土壤,共设置土壤采样点位 133 个(图 1)。2019 年 5 月 1 日至 2019 年 7 月 30 日完成采样任务,采样时采样点位的精准定位借助 GPS 仪器,拍照并记录样点的土地利用类别和周围环境状况。土壤采样时挖深约 20 cm 的土坑,用木铲铲去表层土壤,再用木勺挖取剖面土壤混合均匀后四分法取样约 2.5 kg。自然晾干后剔除里面的石粒及植物根系,并将土块压碎研磨,最后过筛(150 mm)后备用。根据检测项目取一定质量的土壤样品进行重金属元素的含量测定。



图 1 海南岛农用地土壤采样布点示意图

**1.3 测定指标与方法** 土壤有机质(OM)和阳离子交换量(CEC)测定分别参照重铬酸钾容量法

(NY/T1121.6-2006)<sup>[9]</sup>以及三氯化六氨合钴浸提-紫外分光光度计法(HJ889-2017)<sup>[10-11]</sup>;土壤经微波消煮预处理后测定重金属和 pH 的测定方法见表 1<sup>[12-17]</sup>。

#### 1.4 土壤重金属污染评价

**1.4.1 地累积指数法** 地累积指数(geological accumulation index,  $I_{geo}$ )法由德国学者 Müller<sup>[18]</sup>提出,作为研究土壤及沉积物中重金属污染程度的定量指标之一被普遍应用。其计算公式为

$$I_{geo} = \log_2[C_i/(KS_i)];$$

式中,  $I_{geo}$  为重金属  $i$  的地累积指数,  $C_i$  为重金属  $i$  的实际检出值( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  $S_i$  为重金属  $i$  的评价标准值( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),本研究以海南岛土壤环境背景值作为评价准值。  $K$  为修正系数,一般取 1.5。评价等级划分如表 2 所示。

**1.4.2 潜在生态风险评价法** 潜在生态指数法(potential ecological risk index,  $I_R$ )于 1980 年由瑞典化学家 Hakanson<sup>[19]</sup>首次提出,常用于评价土壤重金属污染和生态风险程度。该方法不仅考虑到对不同且相互独立的单一重金属元素在计算时进行了权衡,还打破了单一要素评价结果的局限性,并能很好地综合体现出重金属对生态环境的潜在影响<sup>[19-20]</sup>。其计算公式为

$$I_R = \sum E_i = \sum T_i \times F_i = \sum T_i \times c_i/c_e;$$

式中,  $I_R$  为  $n$  种重金属的综合生态风险指数;  $E_i$  为单一金属的生态风险指数;  $T_i$  为单个污染物的毒

表 1 检测项目及方法

监测项目	检测仪器	监测方法	方法来源
镉	原子吸收光谱仪	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T17141-1997
汞	测汞仪	冷原子吸收法	GB/T17136-1997
砷	分光光度计	硼氢化钾-硝酸银分光光度法	GB/T17135-1997
铜	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
铅	原子吸收光谱仪	石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
铬	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
锌	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
镍	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
pH	pH计	森林土壤 pH 测定	GB7859-87
有机质	滴定管	重铬酸钾—硫酸溶液滴定法	NY/T 1121.6-2016
阳离子交换量	分光光度计	三氯化六氨合钴浸提-分光光度法	HJ 889-2017

表 2 地累积指数区间及污染程度分级<sup>[17]</sup>

地累积指数	污染级别	污染程度
$I_{geo} < 0$	0	清洁
$0 \leq I_{geo} < 1$	1	轻度污染
$1 \leq I_{geo} < 2$	2	偏中度污染
$2 \leq I_{geo} < 3$	3	中度污染
$3 \leq I_{geo} < 4$	4	偏重度污染
$4 \leq I_{geo} < 5$	5	重度污染
$I_{geo} \geq 5$	6	严重污染

性响应参数, As、Cd、Cr、Zn、Hg 的毒性参数分别为 10、30、2、1、40, Pb=Ni=Cu 毒性参数为 5<sup>[20-21]</sup>;  $F_i$  是第  $i$  种重金属的污染系数;  $C_i$  为土壤中第  $i$  种重金属的实测含量;  $C_e$  为计算所需的参考背景值<sup>[22-23]</sup>。以海南岛土壤背景值作为参考背景值, 潜在生态风险指数评价标准见表 3。为了更好地反映出海南岛农用地土壤重金属潜在风险程度在空间上的分布情况, 对低风险程度再进行细分为低风险 I 类( $0 < I_R \leq 50$ )、低风险 II 类( $50 < I_R \leq 100$ )和低风险 III 类( $100 < I_R \leq 150$ )。

### 1.5 数据处理与分析 海南农用地土壤重金属含

表 3 潜在生态风险指数法评价标准

程度	$E_r$	$I_R$
低风险	$< 40$	$< 150$
中等风险	$\geq 40 \sim < 80$	$\geq 150 \sim < 300$
重度风险	$\geq 80 \sim < 160$	$\geq 300 \sim < 600$
较重度风险	$\geq 160 \sim < 320$	$\geq 600 \sim < 1200$
严重风险	$\geq 320$	$\geq 1200$

表 4 研究区土壤基本理化性质及重金属含量

项目	有机质含量/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	阳离子交换量/ ( $mol \cdot kg^{-1}$ )	pH	重金属含量/( $mg \cdot kg^{-1}$ )							
				As	Cd	Cr	Pb	Ni	Cu	Zn	Hg
最小值	3.80	0.75	4.52	0.15	0	2.20	3.70	0	0	9.00	0
最大值	64.50	34.70	8.50	116.50	0.53	526.60	72.30	243.50	83.80	274.70	0.70
均值	17.82	7.25	6.16	2.94	0.14	52.11	26.53	18.05	12.87	58.79	0.05
标准差	12.04	5.61	0.94	10.15	0.11	77.39	12.50	36.36	16.64	52.40	0.05
变异系数/%	67.56	77.42	15.33	345.46	77.74	148.5	47.14	201.4	129.3	89.14	88.94
海南土壤背景值 <sup>[7]</sup>	—	—	—	10	0.14	65.8	34.4	27.6	25.3	85.4	0.18
农用地土壤污染 风险筛选值 ( $5.5 \leq pH < 7.5$ )	—	—	—	20~40	0.3~0.8	150~300	70~240	60~190	50~200	200~300	0.5~3.4

量的描述统计解析采用 SPSS25.0, 运用 Excel2010 软件整理分析实验分析测得的数据, 图表的绘制使用 Origin 2021 软件, 海南岛农用地的土壤重金属生态风险空间分布图使用 ArcGIS10.8 软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机质和 pH

土壤有机质(OM)是植物营养的主要来源之一, 能促进土壤中营养元素的分解, 具有提高土壤的保肥性和缓冲性的作用。在一定含量范围内, 有机质的含量与土壤肥力水平呈正相关。阳离子交换量是土壤缓冲性能的主要来源, 其大小代表了土壤保肥能力高低。土壤 pH 值是土壤的基本性质之一, 也是影响土壤肥力的重要因素之一。土壤养分的分级标准参照全国第二次土壤普查的土壤养分分级标准及相关文献<sup>[24-25]</sup>, 土壤有机质  $< 6 g \cdot kg^{-1}$  为极缺,  $\geq 6 \sim < 10 g \cdot kg^{-1}$  为缺乏,  $\geq 10 \sim < 20 g \cdot kg^{-1}$  为较缺,  $\geq 20 \sim < 30 g \cdot kg^{-1}$  为中等,  $\geq 30 g \cdot kg^{-1}$  为丰富; 土壤 pH 小于 4.5 为强酸性, 4.5~5.5 为酸性, 5.5~6.5 为弱酸性, 6.5~7.5 为中性, 7.5~8.5 为弱碱性, 8.5~9.5 为碱性; 阳离子交换量  $\geq 20 mol \cdot kg^{-1}$  为保肥能力强的土壤,  $< 20 \sim \geq 10 mol \cdot kg^{-1}$  为保肥能力中等的土壤,  $< 10 mol \cdot kg^{-1}$  为保肥能力弱的土壤。由表 4 可知, 海南农用地土壤阳离子交换量和有机质平均值为  $7.25 mol \cdot kg^{-1}$ 、 $17.82 g \cdot kg^{-1}$ 。土壤 pH 值范围为 4.52~8.50, 由强酸性到弱碱性, 平均值为 6.16, pH 为酸性的土壤点位占比 87.30%。以上数据说明研究区农用地土壤以酸性土壤为主,

土壤有机质含量不高, 阳离子交换量较低, 土壤保肥能力一般。

**2.2 土壤重金属含量** 海南岛农用地土壤 8 种重金属含量的平均值均未超出农用地土壤污染风险筛选值<sup>[26]</sup>(GB15618-2018), 且低于海南岛的土壤背景值, 说明海南岛农用地土壤重金属含量总体居于较低浓度水平。变异系数的大小能反映出重金属在土壤中的分布情况, 数值越大说明土壤中重金属含量分布越不均匀, 受到的人为影响也越大。统计显示, 8 种重金属元素的变异系数高, 而 As、Cr、Ni、Cu 超过 100%, 数据离散程度大。这表明海南岛农用地土壤中各重金属元素空间分布不均匀, 有少部分点位污染情况突出且受到人为影响。

**2.3 土壤重金属生态风险评价**

**2.3.1 地累积评价** 各采样点 As、Cd、Cr、Pb、Ni、Cu、Zn、Hg 的地累积指数计算结果均值都小于 0, 说明其整体上比较清洁。由图 2 可知, 海南农用地土壤受到重金属 As、Ni、Hg 的轻微污染。受 Cd 的污染点位最多, 其中轻度污染采样点为 24 个, 占 18.05%; 偏中度污染点 4 个, 占 3.01%。Cr 的轻度污染和偏中度污染采样点为 7 个和 5 个, 其中占比分别为 5.34%、3.82%; 中度污染点 1 个, 占 0.76%。Ni 的轻度污染和偏重度污染采样

点为 3 个和 9 个, 占比分别为 2.29%、6.87%; 中度污染点 1 个。Cu 的轻度污染采样点为 8 个, 占 6.11%; 其中偏中度污染点 3 个, 占比为 2.29%。Zn 的轻度污染采样点 7 个, 占 5.34%; 偏中度污染点 3 个, 占 2.29%。以上分析结果说明个别点位 Cd、Cr、Ni、Cu、Zn 元素含量过高, 主要分布在临高、澄迈、海口、定安和琼海。

**2.3.2 潜在生态风险评价** 海南农用地土壤重金属的平均单项潜在生态风险系数( $E_i$ )的计算过程中的参比值取海南岛土壤背景值, 结果(图 3)显示, 海南农用地土壤重金属的平均单项潜在生态风险系数( $E_i$ )表现为 Cd(29.56)大于 Hg(12.36)大于 Pb(3.86)大于 Ni(3.27)大于 As(2.94)大于 Cu(2.54)大于 Cr(1.58)大于 Zn(0.69), 8 种重金属的  $E_i$  均值均小于 40, 都属于低风险。由图 2 可知土壤样品中 Cr、Pb、Cu 和 Zn 均为低生态风险, As 和 Ni 处于中等污染等级和重度风险等级的采样点的数量分别各 1 个, 其余均为低生态风险等级。Hg 处于中等风险的采样点数量为 3 个, 占总采样点数量的 2.26%。Cd 处于中等、重度风险的采样点有 29 个和 5 个, 占采样点数量的 21.80% 和 3.16%, 以上结果表明, 海南农用地土壤的局部采样点受到 Cd 的超标危害, 可能会对当地的生态环境带来潜在风险。

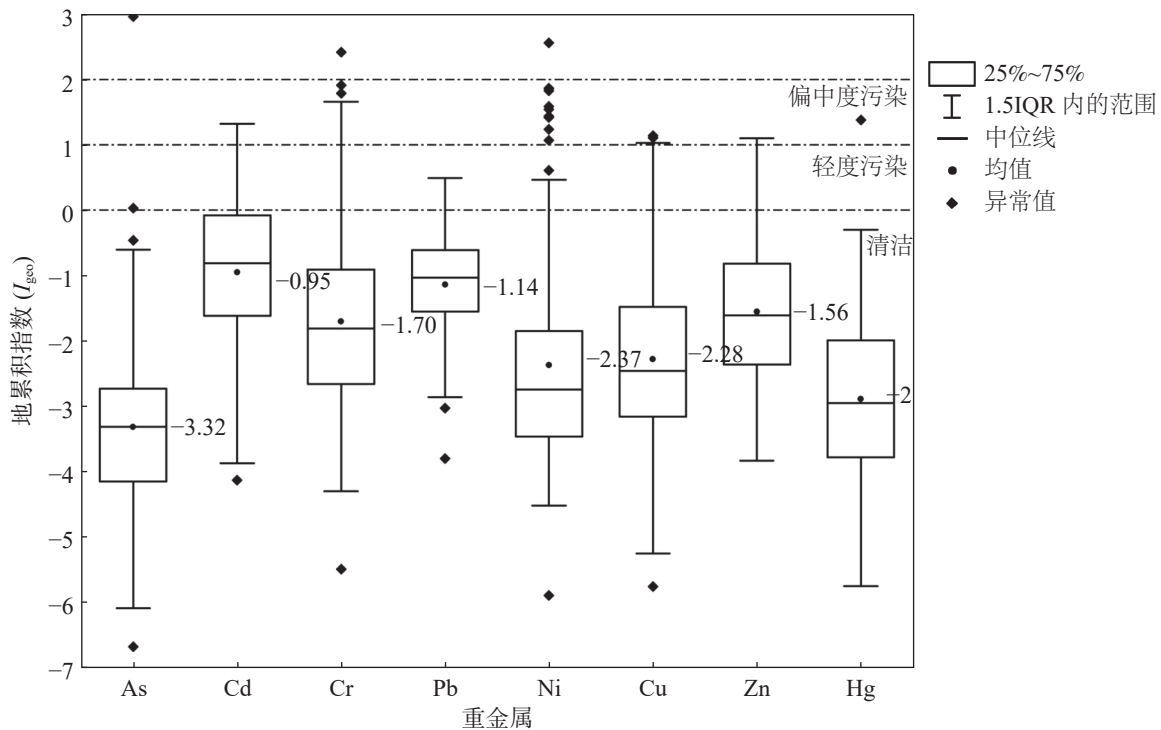


图 2 各采样点农用地土壤中 8 种重金属  $I_{geo}$  统计

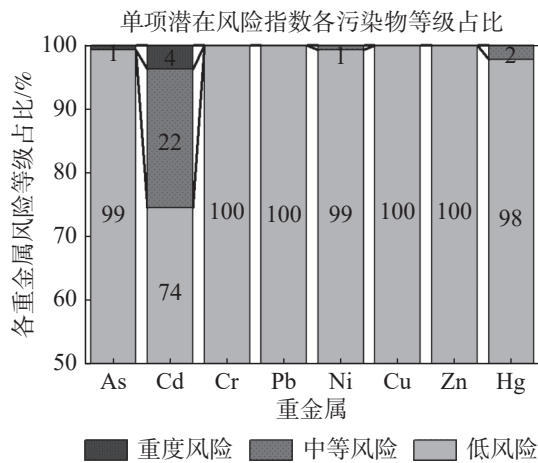


图3 土壤重金属单项潜在生态风险占比

海南农用地土壤各采样潜在生态风险( $I_R$ )计算结果显示(表5),各采样点 $I_R$ 平均值为56.81,为低风险水平。采用GIS软件中的反距离权重法,默认插值步长为12个点对计算结果进行空间插值得到图4。如图4(b)可知,海南岛绝大部分地区的农用地土壤重金属生态风险都处于低风险,点位占比为96.24%。只有极少部分区域属于中等风险,点位占比为3.76%。从金属元素对 $I_R$ 的贡献率来看,Cd的贡献率达到52.04%,说明重金属Cd是海南农用地土壤的主要潜在生态风险,对环境生态危害最大。

表5 土壤重金属潜在生态风险系数( $E_i$ )统计

项目	As	Cd	Cr	Pb	Ni	Cu	Zn	Hg	$I_R$
最小值	0.15	0	0.1	0.5	0	0	0.1	0	4.82
最大值	116.51	112.48	16.0	10.5	44.1	16.6	3.2	156.01	289.81
平均值	2.94	29.56	1.58	3.86	3.27	2.54	0.69	12.36	56.81
贡献率/%	5.17	52.04	2.79	6.79	5.76	4.48	1.21	21.76	

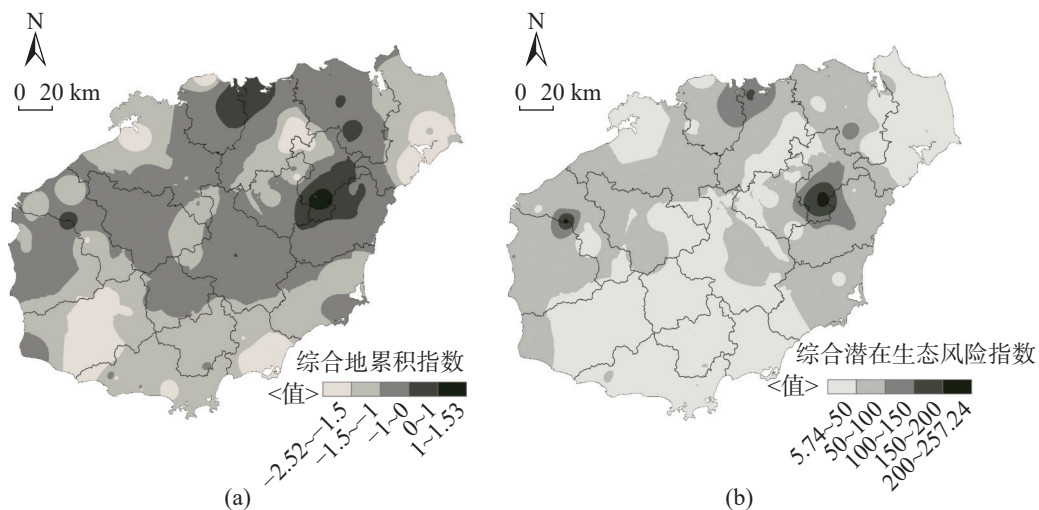


图4 海南岛农用地土壤重金属综合地累积指数(a)和综合潜在生态风险指数分布(b)

对照潜在生态风险指数法评价标准(表3),结合图4(b)和图5发现,海南岛绝大部分地区都处于低风险,其中低风险I类主要分布在海南岛南端市县和最北边的文昌市,中部及北部大部市县为低风险II类,面积占比最多为53%;而低风险III类只小范围分布于定安琼海交界处、临高澄迈交界处和昌江东方交界处,约占海南岛面积的3.1%,只有极小部分占比约0.7%的地区为中度风险。

通过图4对比可知,土壤环境综合评价方法中的地累积指数法和潜在生态风险指数法评价的土壤污染程度和空间分布结果无明显差异,均表明研究区定安县南部、澄迈县北部以及昌江县和东方市接壤处的农用地土壤重金属含量较高。定安县南部、澄迈县北部的农用地土壤重金属存在个别点位重金属的含量较高可能与海南琼北地区高背景值有关。

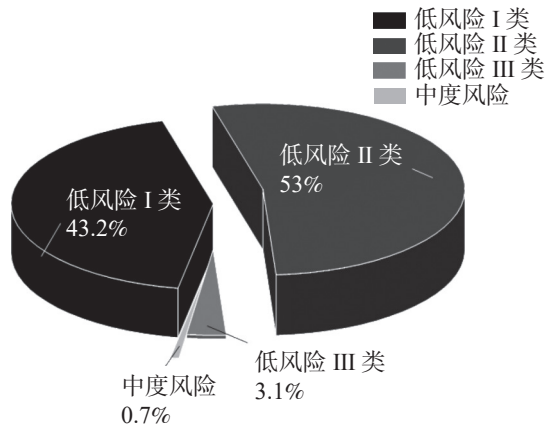


图5 海南岛农用地土壤重金属综合潜在生态风险程度面积占比

### 3 讨论

上述研究结果表明,海南农用地土壤以酸性土壤为主,土壤有机质含量不高,阳离子交换量较低,土壤保肥能力一般。由于海南岛属典型的热带海洋性气候,全年暖热,雨量充沛,湿热程度增强,有机质分解强烈,风化产物和成土产物的分解和淋溶程度高,富铝化作用显著,土壤呈酸性。而随着降水量的增加,土壤阳离子交换量呈减少的趋势,盐基饱和度降低也会导致土壤酸度增加<sup>[27]</sup>。

海南岛农用地土壤质量总体良好,土壤中8种重金属含量平均值均低于海南土壤背景值,但存在局部区域富集情况。根据地累积污染指数结果可知,海南岛农用地土壤83.46%的点位达到清洁水平,7.52%的点位处于轻度污染,4.51%的点位属于偏中度污染,无重度污染土壤点位。个别点位Cd、Cr、Ni、Cu、Zn元素含量过高,主要分布在临高、澄迈、海口、定安和琼海。由于这些区域是位于新生代基性火山岩以及中生代中酸性火山岩土壤高背景值区域<sup>[28]</sup>因此受到成土母质的影响,该地区的土壤Cr、Ni、Cu含量会较高。海南土壤重金属Cd元素受到农业活动输入的影响明显大于其他元素<sup>[29]</sup>,而Cd污染的原因则可能与频繁施用化肥农药有关<sup>[30]</sup>,导致Cd在土壤中大量富集。

根据土壤重金属生态风险分析结果显示,海南岛农用地土壤受到重金属污染的潜在生态风险整体为低风险。重金属元素Cd的中等风险点位和重度风险点位为21.80%和3.76%,所占比重最大。本研究结果说明研究区农用地土壤主要风险因子为Cd元素,这可能与频繁施用化肥农药有关<sup>[30]</sup>。因此,为有效防治研究区农用地土壤Cd富集,应改良农艺技术。如精准施肥,推广缓释肥、

控释肥,降低重金属含量较高肥料的施用。科学合理使用农药,可优先施在土壤中降解较快的生物农药。对土壤污染严重地区可通过换土、覆土、客土等技术,对重金属离子Cd进行有效的剥离和去除。

海南岛绝大部分地区都处于低风险;中等风险区域主要是定安县南部、澄迈县北部以及昌江县和东方市交界处。中等风险区域需重点关注。根据《海南省地质矿产志》可知,昌江铁、铅、镍、钴矿产较丰富,主要矿区为石碌矿区;东方市金矿资源较丰富,大型矿区有东方二甲金矿<sup>[31]</sup>;因此昌江和东方市接壤处的农用地土壤重金属含量高可能与当地的矿区开采影响有关<sup>[32]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 胡杰,赵心语,王婷婷,等.太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析[J].环境科学,2022,43,(5):2500-2509.
- [2] 李奕,陈金萍,李祥余,等.不同农业土地利用方式对土壤重金属含量影响及生态风险评价[J].北方园艺,2021(18):95-102.
- [3] 杜梅,张强英,任培,等.西藏年楚河流域农用地土壤重金属分布与生态风险评价[J].环境工程技术学报,2022,12(5):1618-1625.
- [4] 杨蕾.我国土壤重金属污染的来源、现状、特点及治理技术[J].中国资源综合利用,2018,36(2):151-153.
- [5] 姚荣江,杨劲松,谢文萍,等.苏北滨海滩涂区土壤重金属含量及其时空变异研究[J].中国环境科学,2016,36(6):1810-1820.
- [6] 李福燕,李许明,杨帆,等.海南岛农田土壤重金属污染的评价及其来源分析[J].海南大学学报(自然科学版),2013,31(3):211-217.
- [7] 徐诗琴,王海妹,符式锦.基于受体模型和地统计学的海南岛农用地土壤重金属分布特征及源解析[J].环境污染与防治,2021,43(9):1164-1169.
- [8] 杨宁,李东海,杨小波,等.铅锌矿区周边土壤重金属污染及植物富集特征[J].热带生物学报,2021,12(4):500-507.
- [9] 中华人民共和国农业部.土壤检测第6部分:土壤有机质的测定:NY/T 1121.6—2006[S].北京:中国环境科学出版社,2006.
- [10] 中华人民共和国环境保护部.土壤阳离子交换量的测定三氯化六氨合铂浸提-分光光度法:HJ 889—2017,[S].北京:中国环境科学出版社,2017.
- [11] 马妍,张大定,张帆,等.壳聚糖改性沸石对多金属污染土壤稳定化处理效果及影响因素研究[J].环境工程,2022,40(1):94-101.
- [12] 中华人民共和国环境保护部.土壤和沉积物金属元素总量的消解;微波消解法:AS/NZS 60598.1:2017/AMD 1:2017[S].北京:中国环境科学出版社,2017.
- [13] 中华人民共和国环境保护总局.土壤质量铅、镉的测定石墨炉原子吸收分光光度法:GB/T 17141—1997

- [S].北京:中国环境科学出版社.1997.
- [14] 中华人民共和国环境保护总局.土壤质量 总汞的测定 冷原子吸收分光光度法:GB/T 17136—1997 [S].北京:中国环境科学出版社.2004.
- [15] 中华人民共和国环境保护总局.土壤质量 总砷的测定 硼氢化钾-硝酸银分光光度法:GB/T 17135—1997 [S].北京:中国环境科学出版社,2004.
- [16] 中华人民共和国生态环境部.HJ 491-2019 土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法:HJ 491—2019 [S].北京:中国环境出版社.2019.
- [17] 中华人民共和国环境保护部.森林土壤 pH 值的测定:GB 7859—1987 [S].北京:中国环境出版社.2004.
- [18] MULLER G. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River [J]. *Geology Journal*, 1969, 2: 108 – 118.
- [19] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975 – 1001.
- [20] 李雪, 李佳桐, 孙宏飞, 等. 琼北农田土壤重金属水平及潜在生态风险 [J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(11): 2248 – 2256.
- [21] 徐争启, 倪师军, 庾先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算 [J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 112 – 115.
- [22] TADESSE A, GERESLASSIE T, XU Q, et al. Concentrations, distribution, sources and ecological risk assessment of trace elements in soils from Wuhan, central China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(12): 2873.
- [23] 余杨, 吕雅宁, 王伟杰, 等. 乐安河中下游重金属时空分布特征及风险评价 [J]. *环境科学*, 2020, 41(2): 691 – 701.
- [24] 中国土壤调查办公室. 全国第二次土壤普查养分分级标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1979.
- [25] 吴科生, 车宗贤, 包兴国, 等. 甘肃省武山县土壤养分特征及综合肥力评价 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021(3): 347 – 353.
- [26] 中华人民共和国环境保护部. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准 (试行): GB15618—2018 [S]. 北京: 中国环境出版社.2019.
- [27] 谢会雅, 陈舜尧, 张阳等. 中国南方土壤酸化原因及土壤酸性改良技术研究进展 [J]. *湖南农业科学*, 2021, 425(2): 104 – 107.
- [28] 何玉生, 张固成, 薛桂澄. 海南岛土壤地球化学手册 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2021.
- [29] 张宪依, 庞成宝, 王安婷, 等. 海南岛表层及深层土壤重金属分布特征及源解析 [J]. *现代地质*, 2020, 34(5): 970 – 978.
- [30] 高健翁, 龚晶晶, 杨剑洲, 等. 海南岛琼中黎母山—湾岭地区土壤重金属元素分布特征及生态风险评价 [J]. *地质通报*, 2021, 40(5): 807 – 816.
- [31] 海南地方志办公室. 海南省志 2 地质矿产志 [M]. 海口: 海南出版公司. 2004.10
- [32] 傅悦. 海南典型矿区重金属污染特征及健康风险评估 [D]. 海口: 海南大学, 2019.

## Ecological risk assessment of heavy metals in soil of Hainan agricultural land

ZHONG Wangyue<sup>1</sup>, ZOU Wei<sup>2</sup>, XU Shiqin<sup>2</sup>, LIN Jiquan<sup>2</sup>

(1. School of Ecology and Environment Sciences, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Hainan Ecological and Environmental Monitoring Center, Haikou, Hainan 571126, China)

**Abstract:** An attempt was made to explore the environmental quality and heavy metal contamination of agricultural land soil in Hainan Island. The surface soil samples from 133 agricultural lands in the whole island were collected to evaluate the soil heavy metal contamination and ecological risk in the study areas by using the geological accumulation index method and the potential ecological risk index method. The results showed that 83.46% of the soil sampling sites in the agricultural land of Hainan Island were unpolluted with low geological accumulation index of 8 heavy metals Cd, Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Hg and As, while 7.52% of the sampling sites were slightly polluted mainly by Cd, Cr and Cu, and 4.51% of the sampling sites were moderately polluted largely by Ni. The agricultural land soil in Hainan Island has a low contamination degree of heavy metals, and the potential ecological risk of heavy metals was very low in all the sampling sites. The main potential hazardous element was Cd, and the sampling sites with moderate and heavy risk of Cd were 21.80% and 3.76%, accounting for the largest proportion of the heavy metals. This indicates the soil of agricultural land is enriched with Cd in some sampling sites. It is concluded that the soil environmental quality of agricultural land in Hainan Island is generally good, although some agricultural land in Hainan has moderate ecological risk of heavy metals in soil, mainly in the south of Ding'an County, the north of Chengmai County, and the junction of Changjiang County and Dongfang City.

**Keywords:** soil; heavy metal content; geo-accumulation index; ecological risk assessment