

海南省农产品基地土壤理化指标和主要无机元素监测与评价

吴姬, 伍成成, 唐闻雄 (海南省生态环境监测中心, 海南海口 571126)

摘要 [目的]了解海南省农产品基地理化指标和主要无机元素含量特点, 评估农产品基地土壤主要无机元素污染风险, 支撑农产品基地土壤污染防治。[方法]以8个农产品基地为研究对象, 分析3项理化指标(pH、有机质、阳离子交换量)和8种土壤无机元素(镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌)含量、分布特点和污染风险。[结果]土壤pH呈强酸性和酸性, 阳离子交换量为1.28~10.80 cmol/kg, 有机质含量为2.95~24.80 g/kg。土壤镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌含量分别为0.02~0.37、0.012~0.126、0.26~6.75、14.7~50.1、10.1~118.0、4.2~23.1、3.7~44.8、14.3~105.0 mg/kg。果园型农产品基地镉含量最高, 旱地型农产品基地铬、铜、镍、汞含量最高, 水田型农产品基地砷、铅、锌含量最高。各主要无机元素含量平均值均未超过农用地土壤污染风险筛选值。除砷、铜、镍外, 其他5个元素含量超过海南省土壤环境背景值, 尤以镉最显著。[结论]该研究为农产品基地土壤污染防治和农业生产可持续发展提供技术支撑。

关键词 农产品基地; 土壤; 理化指标; 无机元素; 含量; 分布特点; 污染风险

中图分类号 X 833 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)04-0068-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Monitoring and Evaluation of Soil Physical and Chemical Indexes and Main Inorganic Elements of Agricultural Products Base in Hainan Province

WU Ji, WU Cheng-cheng, TANG Wen-xiong (Hainan Eco-Environmental Monitoring Center, Haikou, Hainan 571126)

Abstract [Objective] To understand the physical and chemical indexes and the content characteristics of main inorganic elements of agricultural product bases in Hainan Province, evaluate the pollution risk of main inorganic elements in soil of agricultural product bases, and support the soil pollution prevention and control of agricultural product bases. [Method] Taking 8 agricultural product bases as research objects, the contents, distribution characteristics and pollution risks of 3 physical and chemical indexes (pH, organic matter, cation exchange capacity) and 8 soil inorganic elements (cadmium, mercury, arsenic, lead, chromium, copper, nickel, zinc) were analyzed. [Result] The soil pH was strongly acidic and acidic, the cation exchange capacity was 1.28–10.80 cmol/kg, and the content of organic matter was 2.95–24.80 g/kg. The contents of cadmium, mercury, arsenic, lead, chromium, copper, nickel and zinc in soil were 0.02–0.37, 0.012–0.126, 0.26–6.75, 14.7–50.1, 10.1–118.0, 4.2–23.1, 3.7–44.8 and 14.3–105.0 mg/kg respectively. The content of cadmium in orchard agricultural product base was the highest, the content of chromium, copper, nickel and mercury in dryland agricultural product base was the highest, and the content of arsenic, lead and zinc in paddy field agricultural product base was the highest. The average value of major inorganic elements did not exceed the risk screening values for soil contamination of agricultural land. Except arsenic, copper and nickel, the other five elements exceeded the soil environmental background value of Hainan Province, especially cadmium. [Conclusion] This study provides technical support for soil pollution prevention and sustainable development of agricultural production in agricultural product base.

Key words Agricultural products base; Soil; Physical and chemical indexes; Inorganic element; Content; Distribution characteristics; Contamination risk

土壤生态系统是人类赖以生存的基础, 也是重要的污染物容纳场所。涉重金属企业“三废”排放以及污水灌溉、污泥农用、化肥的不合理施用导致重金属在土壤中积累, 农用地土壤也面临着重金属污染带来的环境问题^[1-2]。针对农田或农产品基地理化性质变化和土壤重金属污染的生态风险评价成为研究的热点^[3-7]。但研究区域大多集中在污染源附近的小尺度范围, 对省级层面主要农产品生产基地土壤重金属生态风险评价和理化指标分布特征的研究较少。该研究选取海南省8个农产品基地, 分析土壤理化指标和主要无机元素含量及其差异特征, 评价土壤主要无机元素污染风险, 旨在为农产品基地土壤污染防治和农业生产可持续发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 海南省属热带季风气候, 日照多, 气温高, 雨量充沛, 时空变化大。全省主要土壤类型为砖红壤、水稻土、赤红壤、燥红土、紫色土、火山灰土、风沙土、新积土等。土壤成土母质有花岗岩、基性火山岩、第四系、沉积岩、变质

岩、碱性侵入岩、中生代火山岩等。海南是发展热带特色高效农业的重要区域。

1.2 样品采集 选取海南8个农产品基地, 基地代码分别为J₁、J₂、J₃、J₄、J₅、J₆、J₇、J₈。其中J₁、J₂土地利用方式主要为耕地(旱地), J₃、J₄、J₅、J₆、J₇土地利用方式主要为耕地(水田), J₈土地利用方式为园地(果园)。

在种植基地范围内采用网格法进行随机布点, 网格大小为100 m×100 m, 每个种植基地布设5个监测点位。每个点位土壤理化指标和无机测试项目采集表层(0~20 cm), 单点采样, 每层采样量不少于2 000 g。

1.3 样品处理 将样品置于风干室搪瓷盘中, 自然风干, 适时压碎、翻动, 拣出碎石、砂砾、植物残体。在土壤样品制备间内完成土壤样品粗磨、细磨、分样等工作。

1.4 样品分析测试 理化指标包括土壤pH、有机质和阳离子交换量; 无机项目以《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)为基础, 选择农用地土壤污染风险筛选值的基本项目, 包括镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌。

土壤pH采用《电位法》(HJ 962—2018), 有机质含量采用《土壤检测第6部分: 土壤有机质的测定》(NY/T 1121.6—

作者简介 吴姬(1983—), 女, 海南文昌人, 高级工程师, 硕士, 从事土壤环境质量监测及评价等研究。

收稿日期 2022-02-16

2006), 阳离子交换量采用《森林土壤阳离子交换量的测定方法》(LY/T 1243—1999), 镉含量采用《石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141—1997), 汞和砷含量采用《微波消解/原子荧光法》(HJ 680—2013), 铜、铅、铬、锌和镍含量采用《波长色散 X 射线荧光光谱法》(HJ 780—2015)。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤理化指标特征 从表 1~2 可以看出, 农产品基地土壤 pH 最小值为 4.55, 最大值为 7.03。土壤呈强酸

性和酸性, 监测点位 $pH \leq 5.5$ 的有 21 个, 占农产品基地点位数的 52.5%; 监测点位 $5.5 < pH \leq 6.5$ 的有 18 个, 占 45.0%; 监测点位 $6.5 < pH \leq 7.5$ 的有 1 个, 占 2.5%; 无监测点位 $pH > 7.5$ 。按照土壤酸碱度进行分类, 农产品基地土壤呈极强酸性、强酸性、酸性、中性的点位比例分别为 0、52.5%、45.0%、2.5%, 没有土壤呈碱性或强碱性。8 个农产品基地土壤呈酸性~强酸性, 体现了海南热带高湿高热气候条件下土壤强烈风化淋滤作用^[8]。

表 1 土壤理化指标和无机项目结果统计
Table 1 Statistics of soil physical and chemical indexes and inorganic project results

项目 Item	pH	有机 质 OM g/kg	阳离子交 换量 CEC cmol/kg	镉 Cd mg/kg	汞 Hg mg/kg	砷 As mg/kg	铅 Pb mg/kg	铬 Cr mg/kg	铜 Cu mg/kg	锌 Zn mg/kg	镍 Ni mg/kg
最小值 Minimum	4.55	2.95	1.28	0.02	0.012	0.26	14.7	10.1	4.2	14.3	3.7
最大值 Maximum	7.03	24.80	10.80	0.37	0.126	6.75	50.1	118.0	23.1	105.0	44.8
平均值 Mean	5.48	13.60	5.59	0.10	0.038	1.65	27.9	37.1	9.0	45.9	10.2
标准差 SD	0.55	5.25	2.37	0.06	0.024	1.17	10.2	25.6	4.1	22.8	8.0
变异系数 CV // %	10.0	38.6	42.4	60.0	63.2	70.9	36.6	69.0	45.6	49.7	78.4

土壤有机质含量最小值为 2.95 g/kg, 最大值为 24.80 g/kg, 平均值为 13.60 g/kg(表 1)。农产品基地土壤有机质含量集中在 9.19~18.50 g/kg 的监测结果占比最多, 为 72.5%(图 1)。依据有机质含量分级标准, 农产品基地有机质含量偏低, 12.5%的点位有机质含量中等, 62.5%的点位有机质含量较低, 25.0%的点位有机质含量属于缺乏以下(表 3)。

表 2 农产品基地土壤酸碱度统计
Table 2 Statistics of soil pH in agricultural product base

土壤酸碱度 Soil pH	pH	点位数 Number of point location // 个	占比 Proportion %
极强酸性	<4.5	0	0
强酸性	4.5~5.5	21	52.5
酸性	>5.5~6.5	18	45.0
中性	>6.5~7.5	1	2.5
碱性	>7.5~8.5	0	0
强碱性	>8.5	0	0

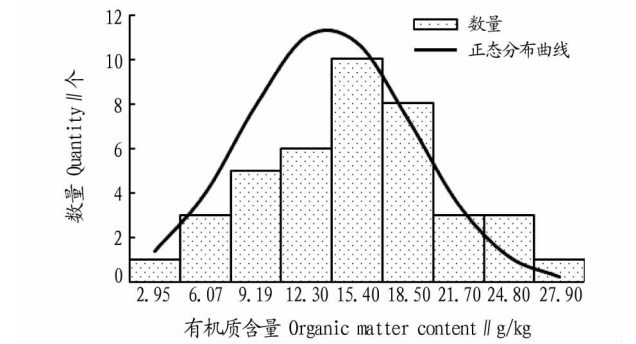


图 1 农产品基地有机质频数分布

Fig.1 Frequency distribution of organic matter in agricultural product base

土壤阳离子交换量最小值为 1.28 cmol/kg, 最大值为

10.80 cmol/kg, 平均值为 5.59 cmol/kg(表 1)。农产品基地土壤阳离子交换量含量集中在 4.0~8.0 cmol/kg 的监测结果占比最多, 点位数共 26 个, 占农产品基地点位数的 65.0%(图 2)。

表 3 农产品基地土壤有机质含量分级统计
Table 3 Classification statistics of soil organic matter content in agricultural product base

有机质含量 Organic matter content // g/kg	分级标准 Grading standard	点位数 Number of point location // 个	占比 Proportion %
>40	极丰富	0	0
>30~40	丰富	0	0
>20~30	中等	5	12.5
>10~20	较低	25	62.5
6~10	缺乏	6	15.0
<6	极缺乏	4	10.0

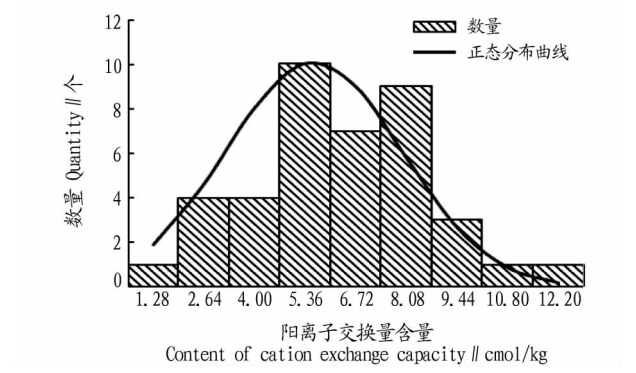


图 2 农产品基地阳离子交换量频数分布

Fig.2 Frequency distribution of cation exchange capacity in agricultural product base

从表 4 可以看出, 8 个农产品基地中, J₈(园地)基地 pH 为 5.92, 高于耕地基地(J₁~J₇), 有机质含量和阳离子交换量分别为 5.0 g/kg 和 1.64 cmol/kg, 均低于耕地基地。

表 4 农产品基地土壤理化指标结果统计

Table 4 Statistics of soil physical and chemical indexes in agricultural product base

基地代码 Base code	pH	有机质 OM g/kg	阳离子交换量 CEC//cmol/kg
J ₁	5.67	15.4	5.20
J ₂	5.49	15.1	6.73
J ₃	5.40	12.8	5.16
J ₄	5.20	17.0	6.50
J ₅	5.48	15.8	8.30
J ₆	4.83	17.3	5.44
J ₇	5.86	10.8	5.75
J ₈	5.92	5.0	1.64

2.2 研究区土壤无机元素含量特征 从表 1 可以看出,镉含量为 0.02~0.37 mg/kg,平均值为 0.10 mg/kg;汞含量为 0.012~0.126 mg/kg,平均值为 0.038 mg/kg;砷含量为 0.26~6.75 mg/kg,平均值为 1.65 mg/kg;铅含量为 14.7~50.1 mg/kg,平均值为 27.9 mg/kg;铬含量为 10.1~118.0 mg/kg,平均值为

37.1 mg/kg;铜含量为 4.2~23.1 mg/kg,平均值为 9.0 mg/kg;镍含量为 3.7~44.8 mg/kg,平均值为 10.2 mg/kg;锌含量为 14.3~105.0 mg/kg,平均值为 45.9 mg/kg。不同无机元素在样点间的变异程度不同,镍的变异系数最大(78.4%),其次是砷、铬、汞、镉、锌、铜,铅的变异系数最小(36.6%)。

土壤 pH 是控制土壤重金属有效性的重要因素之一^[9]。分析土壤 pH 与对应主要无机元素含量的关系(图 3 和表 5)发现,镉、汞、砷、铅、铬、铜、锌和镍含量与 pH 的相关系数分别为 0.416、0.100、0.047、-0.257、0.013、0.173、-0.057、-0.003。由此可见,土壤 pH 与主要无机元素含量之间相关性不显著($P>0.05$)。从表 5 可以看出,有机质含量、阳离子交换量与主要无机元素含量之间相关性不显著($P>0.05$)。8 个无机元素含量的相关性分析结果表明,铬含量与铜、镍含量呈现显著相关($P<0.05$),相关系数分别为 0.826、0.915;铜含量与镍含量呈显著相关($P<0.05$),相关系数为 0.866;其他元素含量之间相关性不显著($P>0.05$)。

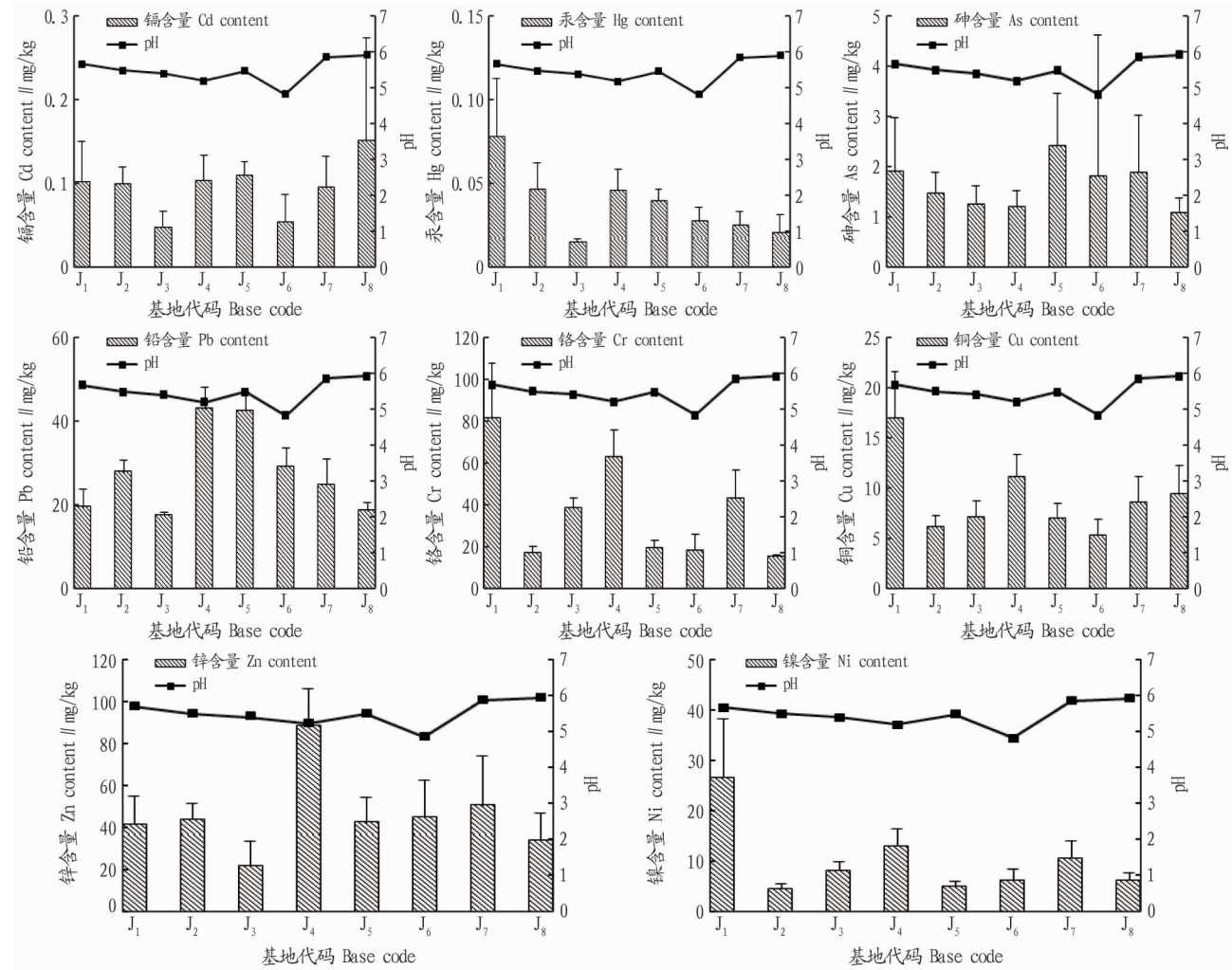


图 3 土壤主要无机元素含量及其与 pH 的关系

Fig.3 Relationships between main organic elements contents and pH in soil

2.3 不同类型农产品基地土壤主要无机元素分布规律 从图 3 可以看出,镉含量最大值出现在 J₈(果园)监测点,在各类农产品基地中的平均值表现为果园型(J₈)>旱地型(J₁、

J₂)>水田型(J₃~J₇);汞含量最大值出现在 J₁(旱地)监测点,在各类农产品基地中的平均值表现为旱地型>水田型>果园型;砷含量最大值出现在 J₅(水田)监测点,在各类农产品

表 5 土壤理化指标和主要无机元素相关性分析

Table 5 Correlation analysis of soil physical and chemical indexes and main inorganic elements

项目 Item	pH	有机 质 OM	阳离子交 换量 CEC	镉 Cd	汞 Hg	砷 As	铅 Pb	铬 Cr	铜 Cu	锌 Zn	镍 Ni
pH	1										
有机质 OM	-0.480	1									
阳离子交换量 CEC	-0.240	0.618	1								
镉 Cd	0.416	-0.107	0.016	1							
汞 Hg	0.100	0.373	0.284	0.391	1						
砷 As	0.047	0.055	0.282	0.055	0.154	1					
铅 Pb	-0.257	0.468	0.660	0.169	0.213	0.254	1				
铬 Cr	0.013	0.310	0.177	0.062	0.580	0.080	0.049	1			
铜 Cu	0.173	0.101	0.040	0.438	0.682	0.057	-0.021	0.826 *	1		
锌 Zn	-0.057	0.306	0.423	0.395	0.386	0.136	0.702	0.422	0.397	1	
镍 Ni	-0.003	0.296	0.078	0.103	0.589	0.131	-0.079	0.915 *	0.866 *	0.254	1

注：* 表示显著相关 ($P<0.05$)。
Note: * indicate significant correlation ($P<0.05$).

品基地中的平均值表现为水田型>旱地型>果园型;铅含量最大值出现在 J₄(水田)监测点,在各类型农产品基地中的平均值表现为水田型>旱地型>果园型;铬含量最大值出现在 J₁(旱地)监测点,在各类型农产品基地中的平均值表现为旱地型>水田型>果园型;铜含量最大值出现在 J₁(旱地)监测点,在各类型农产品基地中的平均值表现为旱地型>果园型>水田型;锌含量最大值出现在 J₄(水田)监测点,在各类型农产品基地中的平均值表现为水田型>旱地型>果园型;镍含量最大值出现在 J₁(旱地)监测点,在各类型农产品基地中的平均值表现为旱地型>水田型>果园型。可见,果园型农产品基地镉含量最高(平均值在 3 类基地中排名第 1),旱地型农产品基地铬、铜、镍、汞含量最高,水田型农产品基地砷、铅、锌含量最高。

傅杨荣^[8]研究发现海南岛土壤元素地球化学基准值和背景值深刻继承了成土母岩母质的元素地球化学特征,如基性火山岩土壤富集铁族元素(铬、铜、镍、锰等),第四系土壤富集二氧化硅(SiO₂),碱性侵入岩土壤富集铅、镉等。8 个农产品基地成土母岩涉及 3 类成土母岩,J₁ 基地成土母岩为基性火山岩,J₂、J₃、J₄、J₅、J₈ 均为第四系,J₆ 和 J₇ 为花岗岩。由

此可见,J₁ 基地铬、铜、镍含量远高于其他基地主要是受玄武岩富含铬、铜、镍所致。成土母岩为第四系的基地,其无机元素含量分布主要与农业耕作和肥料施用等相关。成土母岩为花岗岩的基地,无机元素含量是成土母岩元素含量和农业生产叠加影响所致。

2.4 农产品基地土壤主要无机元素的污染风险 从表 6 可以看出,农产品基地土壤 8 种无机元素含量平均值均低于农用地土壤污染风险筛选值,说明该研究区对农产品质量安全、农作物生长或土壤生态环境的风险低,一般情况下可以忽略。

对比海南省土壤环境背景值^[10]发现(表 6),各农产品基地砷、铜、镍含量平均值低于土壤背景值,汞、铬、锌含量均仅有 1 个基地元素含量平均值高于土壤背景值,其中 J₁ 基地汞、铬含量平均值分别是土壤背景值的 1.62、1.07 倍,J₄ 基地锌含量平均值是土壤背景值的 1.47 倍。J₄、J₅、J₆ 这 3 个基地铅含量分别为土壤背景值的 1.51、1.49、1.03 倍。各基地镉含量均高于土壤背景值,为土壤背景值的 1.25~3.75 倍。由此可见,人为活动影响下,研究区农产品基地土壤主要无机元素产生了一定积累。其中镉受人为影响积累程度相对最高,

表 6 不同农产品基地土壤主要无机元素平均值

Table 6 Average values of main inorganic elements in different agricultural product base

单位:mg/kg

基地代码 Base code	镉 Cd	汞 Hg	砷 As	铅 Pb	铬 Cr	铜 Cu	锌 Zn	镍 Ni
J ₁	0.10	0.078	1.91	19.5	81.7	16.9	41.5	26.6
J ₂	0.10	0.047	1.49	27.9	17.4	6.2	43.6	4.8
J ₃	0.05	0.015	1.28	17.5	38.7	7.2	22.0	8.3
J ₄	0.10	0.046	1.22	43.0	62.9	11.2	88.2	13.1
J ₅	0.11	0.040	2.43	42.4	19.4	7.0	42.4	5.1
J ₆	0.05	0.028	1.83	29.2	18.3	5.4	44.6	6.3
J ₇	0.10	0.025	1.90	24.8	43.0	8.6	50.6	10.8
J ₈	0.15	0.021	1.11	18.6	15.2	9.5	33.9	6.4
农用地土壤污染风险筛选值 Screening value of agricultural land soil pollution risk	0.3	0.5	25	70	150	50	200	60
海南省土壤环境背景值 Background value of soil environment in Hainan Province	0.04	0.048	7.5	28.4	76.4	19.3	60.0	30.8

铅次之,汞、铬、锌积累程度较小,砷、铜、镍含量呈下降趋势。

人为因素是造成农田土壤重金属积累的主要因素,主要包括施肥、动物粪便和生物固体应用、污水灌溉、大气沉降等^[11-12]。李建国等^[13]研究发现无锡市土壤 As、Cu、Hg、Pb 和 Zn 空间变异受人类活动的影响明显,均超出当地的土壤背景值。李树辉等^[2]研究指出有机肥尤其是商品有机肥也呈现出重金属含量升高、种类增加的趋势。王美等^[14]研究指出有机肥如畜禽粪便、污泥及其堆肥中的重金属含量高于化肥,猪粪中的铜、锌、砷、镉含量明显高于其他有机废弃物,鸡粪中铬含量高;污泥和垃圾堆肥中铅或汞含量高。鉴于上述研究成果,海南农产品基地镉、铅等重金属高于土壤背景值可能受基地生产中化肥、动物粪便施用等人影响,应引起关注。

3 结论

(1) 8 个农产品基地的土壤普遍呈酸性,强酸性和酸性点位比例为 97.5%,没有土壤呈碱性或强碱性。阳离子交换量为 1.28~10.80 cmol/kg。有机质含量为 2.95~24.80 g/kg,有机质含量偏低。园地(J_8)基地 pH 最高,有机质含量和阳离子交换量均低于耕地(旱地或水田)基地($J_1 \sim J_7$)。

(2) 土壤镉含量 0.02~0.37 mg/kg,汞含量 0.012~0.126 mg/kg,砷含量 0.26~6.75 mg/kg,铅含量 14.7~50.1 mg/kg,铬含量 10.1~118.0 mg/kg,铜含量 4.2~23.1 mg/kg,镍含量 3.7~44.8 mg/kg,锌含量为 14.3~105.0 mg/kg。相关性分析结果表明,pH、有机质含量、阳离子交换量与主要无机元素含量之间相关性不显著($P>0.05$)。铬、铜、镍含量之间呈现显著相关($P<0.05$),其他无机元素含量之间相关性不显著($P>0.05$)。

(3) 不同类型农产品基地主要无机元素含量不同。果园

型农产品基地镉含量最高,旱地型农产品基地铬、铜、镍、汞含量最高,水田型农产品基地砷、铅、锌含量最高。

(4) 8 个农产品基地土壤中各主要无机元素含量的平均值均未超过农用地土壤污染风险筛选值,污染风险可忽略。与海南省土壤环境背景值比较结果表明,人为活动影响下研究区农产品基地土壤主要无机元素可能产生了一定积累。镉受人为影响积累程度相对最高,铅次之,汞、铬、锌积累程度较小,砷、铜、镍含量呈下降趋势。

参考文献

- [1] 肖再亮,兰石,田犀,等.利州区农产品基地土壤重金属污染评价[J].四川环境,2010,29(3):131-135.
- [2] 李树辉,李莲芳,曾希柏,等.山东寿光不同农业利用方式下土壤铬的累积特征[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1539-1545.
- [3] 柳小兰,王科,王道平,等.碳酸盐岩地区不同种植方式对农田土壤理化性质的影响及化学计量特征[J].北方园艺,2021(19):92-99.
- [4] 陈迪云,谢文彪,宋刚,等.福建沿海农田土壤重金属污染与潜在生态风险研究[J].土壤通报,2010,41(1):194-199.
- [5] 李瑞琴,于安芬,白滨,等.甘肃中部高原露地菜田土壤重金属污染及潜在生态风险分析[J].农业环境科学学报,2013,32(1):103-110.
- [6] 谢涛,罗艳,龙智翔,等.广西无公害农产品基地土壤重金属污染评价[J].安徽农业科学,2013,41(27):11003-11004.
- [7] 秦迪岚,郭倩,朱颖,等.特色农产品生产基地土壤镉生态风险评价[J].环境科学与技术,2015,38(4):200-204.
- [8] 傅杨荣.海南岛土壤地球化学与优质农业研究[D].武汉:中国地质大学,2014:118.
- [9] 杨秀敏,任广荫,李立新,等.土壤 pH 值对重金属形态的影响及其相关性研究[J].中国矿业,2017,26(6):79-83.
- [10] 马铭留,李泽岩,周毛,等.海南省土壤环境背景值[R].广州:广东省环境监测中心站,中山大学地理系,海南省环境监测中心站,1991.
- [11] 胡文友,陶婷婷,田康,等.中国农田土壤环境质量管理现状与展望[J].土壤学报,2021,58(5):1094-1109.
- [12] 陈玉鹏,梁东丽,刘中华,等.大棚蔬菜土壤重金属污染及其控制的研究进展与展望[J].农业环境科学学报,2018,37(1):9-17.
- [13] 李建国,濮劭杰,廖启林,等.无锡市土壤重金属富集的梯度效应与来源差异[J].地理科学,2014,34(4):496-504.
- [14] 王美,李书田.肥料重金属含量状况及施肥对土壤和作物重金属富集的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2):466-480.