

海南省农用地土壤重金属含量与土壤有机质及pH的相关性^①

李福燕^{1,2}, 李许明³, 吴鹏飞^{1,2}, 陈柳燕^{1,2}, 郭彬^{1,2}, 漆智平^{1*}

(1 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所热带资源与环境研究中心, 海南儋州 571737;

2 海南大学农学院, 海南儋州 571737; 3 海南省国土资源环境厅信息中心, 海口 570203)

摘要: 研究了海南省农用地土壤有机质含量、pH值和土壤中重金属含量, 并对其相关关系进行了分析。结果表明: 海南省农用地土壤有机质含量总体上处于中等水平, 全省有机质平均含量为 22.99 g/kg, 各地区之间含量差异较大, 土壤 pH 平均值为 5.20; 5 种重金属元素含量的平均值均未超过《国家土壤环境质量标准》(GB156182-1995)二级标准限值。但研究区土壤中 Hg、Cd、Cr 3 种重金属元素含量的最大值均超过了国家土壤环境质量的二级标准, 并分别达到了 1.63、0.64、586.70 mg/kg; 土壤重金属含量与土壤性质间的关系复杂: 有机质含量与 Hg、Cd、Cr 含量呈极显著正相关, 与 Pb 含量呈显著相关, 而 pH 与 Hg、Cr 呈负相关, 与 Cd、Pb 呈显著正相关。

关键词: 有机质; pH; 重金属; 相关性

中图分类号: X53

随着城市化和工业化的发展, 土壤重金属污染问题越来越受到人们的关注。土壤中重金属不仅对植物的生长造成影响, 还通过食物链危害人类健康, 此外还造成二次污染, 引起大气和水污染^[1-3]。自 20 世纪 80 年代以来, 不同学者对全国各地不同类型、不同土地利用方式土壤中重金属的含量进行了不同规模、不同程度的调查研究^[4-6], 但这些研究仅是对有限个数的土壤样品的分析数据进行传统的统计分析, 其结果反映的是离散的分布状况, 不能建立区域性连续整体的概念, 不能反映各指标含量的结构性和随机性、相关性和独立性。

近年来, 海南省由于现代工业和城市的迅速发展, 农用化肥和农药的大量施用, 土壤污染问题日趋突出, 土壤重金属污染问题越来越多地受到各级政府和广大人民群众的重视和关注。本文在调查海南省土壤有机质含量、pH 值及 5 种重金属含量的基础上, 探明了海南省农用地土壤重金属的污染现状, 分析了土壤重金属含量与有机质含量及 pH 之间的关系, 为海南省农用地建设和优化开发以及污染防治和治理提供了科学依据。

1 研究区概况和实验方案

1.1 研究区概况

海南省位于东经 108°37' ~ 111°05', 北纬 18°10' ~

20°20', 面积 3.4 万多 km²。地处我国最南部的南海之中, 北隔琼州海峡与雷州半岛相对, 本区属于海洋性气候, 年平均气温 23 ~ 25℃, 最冷的 2 月平均 16 ~ 20℃, 最热的 8 月为 25 ~ 29℃, 年均降水量 1500 mm。长夏无冬, 是我国热带作物的主要产地。海南是岛屿生态, 其土壤的成土母质主要是岩浆岩, 以各种花岗岩分布最广, 其次为新生代喷出的玄武岩, 还有第三纪浅海沉积物和第四纪沉积物。海南岛不仅是个热带海岛, 而且岛内山丘纵横, 奇峰兀立, 四周平原舒展, 台阶地广布, 地形复杂多样, 具有多元地貌结构特点, 主要土壤类型为砖红壤。其他还有滨海砂土、滨海盐土、赤红壤、山地黄壤和水稻土等, 海南土壤的养分循环具有强烈的养分生物积聚、土壤有机质快速分解周转、强烈的风化淋溶和土壤侵蚀引起的养分快速释放和淋失等特点。海南省属典型的热带海洋性气候, 全年暖热, 雨量充沛, 干湿季节明显, 常风较大, 热带风暴和台风频繁, 气候资源多样。

1.2 采样方案

本次采样采用 GPS 定位, 样点布局考虑了土壤类型和土地利用方式, 全省共布设了 311 个样点(图 1)。每一样点在直径 100 m × 100 m 范围内选择 15 ~ 20 个点, 用木铲采集 0 ~ 20 cm 耕层土样混合, 按四分法取分析样品 1 kg, 采样时间为 2005 年 2 月底。

1.3 分析项目与测定方法

^①基金项目: 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所研究生科研基金项目(YJS-2008-B003)和科技基础性工作和社会公益研究专项(2004DIB3J073)资助。

* 通讯作者(qzhp88@163.com)

作者简介: 李福燕(1979-)女, 山东兖州人, 博士研究生, 主要从事土壤重金属污染与植物修复的研究。E-mail: liyan01080620@163.com

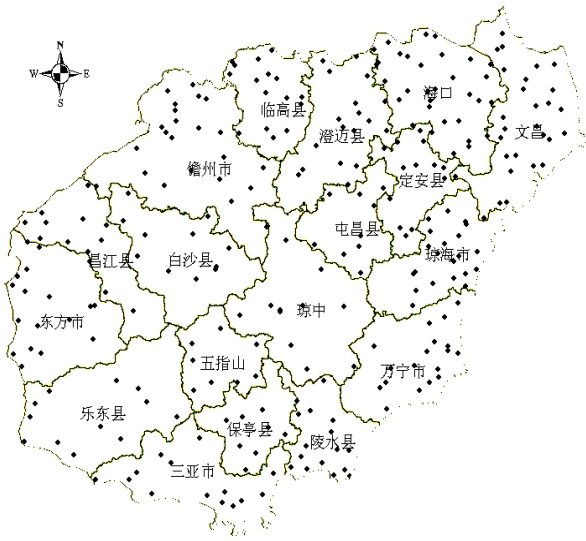


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Sampling locations

土样经风干后过 0.25 mm 的尼龙网筛。As 和 Hg 用王水水浴加热消解，用原子荧光光谱仪测定，Cr、Cd 以及 Pb 用通常所说的“四酸熔样”即王水再加 HClO_4 、 HF 熔融，Cd 用等离子体质谱仪测定，Cr、Pb 用等离子体光谱仪测定。土壤 pH 值和有机质的测定参照《土壤农业化学分析方法》^[7] 即：pH 值采用电位法，有机质高温外热重铬酸钾氧化-容量法。

1.4 数据处理

本研究采用 Excel 软件和 SAS 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 海南省土壤有机质状况

由图 2 可以看出：海南省有机质含量大多处于中等水平，其中四级（10 ~ 20 g/kg）出现频率最高，占 37.09%，其次是三级，占 30.97%，其中六级（0 ~ 6 g/kg）含量频数最低，仅占到 8%，一级 8.39%，二级 12.9%，表明海南省耕作土壤有机质含量总体上处于中等水平，有机质含量总体水平相对第二次土壤普查增加趋势明显^[8]。

过度湿润和长期冰冻有利于有机质的积累，而干旱和高温，好气微生物比较活跃，有机质易于矿化^[9]。海南土壤具有强烈的养分生物积聚、土壤有机质快速分解周转、强烈的风化淋溶和土壤侵蚀引起的养分快速释放和淋失等特点。由表 1 可知：海南省 17 地市有机质含量差异较大，不同地区有机质含量有较大差别。海口平均含量最高达 32.04 g/kg，相对全省含量平均值高出 10.05 g/kg，东方平均含量最低仅为 13.58 g/kg，不到全省平均含量的 60%。其中海口、万宁、琼海、五指山、保亭、澄迈和定安 7 个县市高于全省有机质

平均含量，其余 10 个县市则低于全省平均含量。另外，从标准差可以看出同一地区不同采样地点有机质含量也有较大的差别。

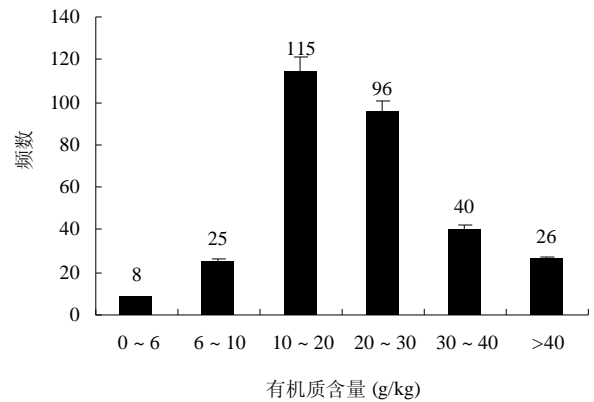


图 2 海南省有机质含量频数分布图

Fig. 2 Frequency histogram of soil organic matter content in Hainan Province

2.2 海南省土壤 pH 状况

土壤酸碱度是土壤重要的基本性质之一，是土壤形成过程和熟化培肥过程的一个指标。土壤酸碱度对土壤中养分存在的形态和有效性，对土壤的理化性质、微生物活动以及植物生长发育都有很大的影响。土壤酸碱性是由母质、生物、气候以及人为作用等多种因子控制的。海南省属典型的热带海洋性气候，全年暖热，雨量充沛，大部分地区是土壤盐基不饱和的。由表 2 可以看出：海南省 pH 值全省平均为 5.20，属于酸性土壤，其中白沙、文昌值最高为 5.58，而澄迈最低仅为 4.89。另外，从标准差可以看出各个地区差异不大。

2.3 土壤重金属元素的统计特征值

由表 3 偏度和峰度系数可知，研究区 5 种重金属元素的含量均服从正态分布。5 种重金属元素含量的平均值均未超过《国家土壤环境质量标准》(GB156182-1995)二级标准限值。但研究区土壤中 Hg、Cd、Cr 3 种重金属元素含量的最大值均超过了国家土壤环境质量的二级标准，并分别达到了 1.63、0.64、586.70 mg/kg。统计表明：重金属 Hg 只有 1 个点的含量超过了国家土壤环境质量的二级标准，重金属 Cd 有 3 个点的含量超过了国家土壤环境质量的二级标准，而重金属 Cr 有 8 个点的含量超过了国家土壤环境质量的二级标准，这 3 种元素含量超过国家二级标准的采样点的数量占全部样品点数的比例分别为 0.32%、0.96%、2.57%。通过分析还发现：重金属 Cr 的 8 个超标点聚集在省会海口市周围，说明研究区部分采样点的土壤已受到外源重金属的影响，这与市区工业生产

表 1 海南土壤有机质统计分析结果 (g/kg)

Table 1 Statistical results of soil organic matter content in Hainan Province

样区	平均	标准误差	中位数	标准差	方差	峰度	偏度	最小值	最大值	观测数
儋州	19.75	1.72	18.23	8.59	73.76	1.61	1.21	6.79	43.68	25
东方	13.58	0.91	13.52	2.88	8.3	0.77	-0.45	7.8	17.76	10
昌江	18.73	1.44	17.84	5.57	30.99	1.09	-0.12	6.42	30.10	15
白沙	17.40	1.43	18.03	6.71	45.02	-0.39	-0.11	4.04	30.04	22
乐东	17.53	1.6	16.14	6.99	48.89	7.11	2.27	9.34	41.24	19
五指山	26.47	1.37	26.71	6.15	37.8	1.42	0.79	16.62	42.73	20
临高	22.14	2.37	25.46	9.77	95.36	-0.59	-0.76	2.66	33.94	17
澄迈	24.75	1.9	23.90	8.05	64.85	0.18	0.06	9.43	39.89	18
海口	32.04	3.58	25.46	19.91	396.35	0.54	1.06	5.69	81.97	31
文昌	21.57	2.58	16.85	13.89	192.82	0.9	1.18	4.1	60.98	29
陵水	20.11	3.13	15.80	12.5	156.3	0.31	0.97	2.32	48.39	16
万宁	29.83	3.06	27.79	13.34	177.86	9.56	2.6	11.72	77.55	19
保亭	26.14	3.22	27.28	9.65	93.21	0.66	-0.75	7.41	39.74	9
三亚	22.09	2.23	22.27	8.33	69.33	0.74	-0.44	3.56	36.12	14
琼海	26.82	2.71	24.59	12.11	146.6	-0.66	0.46	8.17	49.85	20
屯昌	17.76	4.21	14.99	12.62	159.15	4.83	2.06	6.96	48.22	9
定安	23.49	2.88	23.21	12.23	149.68	-0.57	0.1	3.97	48.19	18
全省	22.99	0.69	20.82	12.15	147.7	4.13	1.5	2.32	81.97	311

表 2 海南省 pH 统计特征

Table 2 Statistical characteristics of pH in Hainan Province

样区	平均	标准误差	中位数	标准差	方差	峰度	偏度	最小值	最大值	观测数
儋州	5.12	0.13	4.95	0.63	0.39	-0.39	0.08	3.93	6.43	25
东方	5.43	0.20	5.17	0.62	0.39	3.64	1.79	4.82	6.94	10
昌江	5.58	0.20	5.45	0.78	0.61	6.47	2.20	4.73	7.98	15
白沙	5.58	0.18	5.30	0.86	0.75	2.21	1.60	4.64	7.90	22
乐东	5.42	0.16	5.22	0.69	0.47	4.66	1.87	4.55	7.57	19
五指山	5.22	0.07	5.16	0.31	0.10	6.74	1.95	4.73	6.28	20
临高	5.10	0.17	5.01	0.68	0.46	1.40	1.02	4.06	6.77	17
澄迈	4.89	0.10	4.80	0.44	0.20	0.05	0.46	4.23	5.86	18
海口	5.17	0.11	4.95	0.60	0.37	1.29	1.30	4.46	6.76	31
文昌	4.97	0.15	4.62	0.82	0.68	2.75	1.62	4.05	7.47	29
陵水	5.04	0.08	4.99	0.31	0.10	-1.00	0.13	4.48	5.52	16
万宁	5.04	0.15	4.94	0.67	0.45	3.95	1.69	4.16	7.08	19
保亭	4.97	0.13	4.90	0.38	0.14	3.93	1.62	4.49	5.84	9
三亚	5.43	0.22	5.10	0.84	0.70	6.02	2.25	4.65	7.93	14
琼海	5.00	0.10	4.93	0.45	0.21	1.43	1.17	4.42	6.14	20
屯昌	5.26	0.16	5.31	0.48	0.23	-0.41	-0.19	4.50	6.01	9
定安	5.36	0.15	5.20	0.65	0.42	-0.06	0.89	4.58	6.85	18
全省	5.20	0.04	5.08	0.66	0.43	3.49	1.49	3.93	7.98	311

表 3 海南省土壤重金属元素的统计特征值

Table 3 Statistical features of concentrations of soil heavy metals in Hainan Province

元素	分布类型	偏度系数	峰度系数	最小值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	方差	标准差	变异系数	二级标值 (pH<6.5)
Hg	IgN	-0.280	2.900	0.003	1.630	0.056	0.010	0.100	1.780	0.3
Cd	IgN	-0.620	3.480	0.010	0.640	0.090	0.004	0.060	0.670	0.3
Pb	IgN	0.050	3.020	4.150	110.100	21.060	174.100	12.870	0.610	250
As	IgN	0.050	2.350	0.170	13.230	2.800	12.380	3.530	1.260	40
Cr	IgN	0.570	3.090	0.990	586.700	53.960	8714.600	93.350	1.730	250

注: N 为正态分布, IgN 为对数正态分布 (偏度和峰度系数为对数转换后的值); 二级标值为《国家土壤环境质量标准》(GB156182—1995) 二级标准限值。

和人类活动有着密切的关系。从变异系数来看, 海南省土壤中重金属元素的变异系数均很大, 除 Cd 和 Pb 的变异系数是 0.670 和 0.610, 属于中等变异强度外, 土壤其余重金属元素的变异系数均 >1, 均属于高等变异强度范围。

2.4 海南省土壤不同重金属含量与有机质、pH 之间的关系

随着城市化和工业化的发展, 土壤重金属污染问题越来越受到人们的关注。土壤中重金属不仅对植物的生长造成影响, 还通过食物链危害人类健康, 有机质、pH 是土壤基本性质, 分析其与重金属之间的相关性, 从而得到海南省农用地重金属污染程度和大致趋势, 为海南省农用地建设和优化开发以及污染防治和治理提供了科学依据。运用 SAS 对其不同重金属含量与有机质、pH 进行偏向关分析, 结果如表 4。

表 4 土壤重金属含量与土壤有机质和 pH 的相关系数矩阵

Table 4 Matrix of correlation coefficients between heavy metals and soil properties

	Hg	Cd	Cr	Pb	As
有机质	0.243**	0.221**	0.507**	0.141*	0.054
pH	-0.035	0.137*	-0.056	0.134*	0.072

注: **表示相关极显著 ($p \leq 0.01$), * 表示相关显著 ($p \leq 0.05$)。

从表 4 可以看出: 土壤中有机质含量与不同重金属含量呈正相关, 与 Hg、Cd、Cr 含量达极显著相关, 与 Pb 含量之间相关性显著。由此可见, 土壤有机质含量高低对土壤中重金属活性有较大的影响。pH 影响土壤中重金属的活性, 由表 4 得 pH 值与 Cd、Pb 含量之间显著相关, 与 Hg、Cr、As 则相关性不显著, 且与 Hg、Cr 呈负相关。

3 结论

(1) 海南省农用地大部分属于酸性土壤, 有机质含量中等水平。各个地区有机质含量差异较大。

(2) 海南省农用地 5 种重金属元素含量的平均值均未超过《国家土壤环境质量标准》(GB156182—1995) 二级标准限值。但研究区土壤中 Hg、Cd、Cr 3 种重金属元素含量的最大值均超过了国家土壤环境质量的二级标准, 重金属 Hg 只有 1 个点的含量超过了国家土壤环境质量的二级标准, 重金属 Cd 有 3 个点的含量超过了国家土壤环境质量的二级标准, 而重金属 Cr 有 8 个点的含量超过了国家土壤环境质量的二级标准, 属于中高等变异强度。因此农业生产和人体健康受到一定的影响, 应该引起足够的重视。

(3) 有机质含量与土壤中不同重金属含量呈正相关, 与 Hg、Cd、Cr 含量极显著相关, 与 Pb 含量之间相关性显著。pH 值与 Cd、Pb 含量之间相关性显著, 与 Hg、Cr、As 则相关性不显著, 且与 Hg、Cr 呈负相关。

参考文献:

- [1] Burt R, Wilson MA, Mays MD, Lee CW. Major and trace elements of selected pedons in the USA. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32: 2109-2121
- [2] 刘红樱, 谢志仁, 陈德友, 周雪梅, 冯小铭, 郭坤一. 成都地区土壤环境质量初步评价. *环境科学学报*, 2004, 24(2): 297-303
- [3] Wong CSC, Wu SC, Duzgoren-Aydin NS, Aydin A, Wong MH. Trace metal contamination of sediments in an e-waste eprocessing village in China. *Environmental Pollution*, 2007, 145 (2): 434-442
- [4] 夏增禄. 中国主要类型土壤若干重金属临界含量和环境容量区域分异的影响. *土壤学报*, 1994, 31(2): 161-169
- [5] 魏秀国, 何江华, 陈俊坚, 杜应琼, 杨秀琴. 广州市蔬菜地土壤重金属污染状况调查及评价. *土壤与环境*, 2002, 11(3):

252-254

1999

- [6] 吴新民, 潘根兴. 城市不同功能区土壤重金属分布初探. 土壤学报, 2005, 42(3): 513-517
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社,
- [8] 海南省农业厅土肥站. 海南土壤. 海南: 海南出版社, 1993:191
- [9] 漆智平. 热带土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2007

Correlation Between Heavy Metal Pollution and Basic Properties of Agricultural Soils in Hainan Province

LI Fu-yan^{1,2}, LI Xu-ming³, WU Peng-fei^{1,2}, CHEN Liu-yan^{1,2}, GUO Bin^{1,2}, QI Zhi-ping¹

(1 *Tropical Crops Genetic Resources Institute, CATAS, Danzhou, Hainan 571737, China;* 2 *Agricultural College, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China;* 3 *Information Center Department of Land Environment and Resources, Haikou, 570203, China*)

Abstract: Soil organic matter contents, pH values and heavy metal contents of agriculture soils in Hainan were studied to disclose their correlations. Results showed that organic matter contents of almost all soils were at middle or low levels with a mean of 22.99%, significantly different in space; that the mean pH value was 5.20, and the mean contents of five heavy metals all were not higher than the 2nd grade in the national soil environmental quality standard, but the max contents of Hg, Cd and Cr exceeded it, the concentrations of Hg, Cd and Cr being 1.63, 0.64 and 586.70 mg/kg, respectively. The relationships between soil heavy metals and soil organic matter contents and pH were complicated.

Key words: Soil organic matter contents, pH, Heavy metal, Correlation