

海口市农用地土壤硒含量与土壤理化性质的相关性研究

李福燕, 李许明 (广西民族师范学院生物与食品工程学院, 广西崇左 532200)

摘要 采集海口市 23 个乡镇和 4 个农场的 751 个农用地土壤耕作层(0~25 cm)样品, 研究分析了土壤有机质含量、pH、全氮、全磷、全钾和全硒含量, 并对土壤中全硒含量和土壤理化性质相关性进行了分析。结果表明: 海口市农用地土壤有机质含量总体上处于中上水平, 全省有机质平均含量为 27.79 g/kg, 各地区之间含量差异较大, 最大值为最小值的 29.22 倍; 土壤 pH 平均为 5.40, 为酸性土壤; 土壤全氮平均含量为 1.72 g/kg, 大部分地区氮含量属于中等偏上水平; 土壤全磷含量的平均值为 0.94 g/kg, 磷含量地区间差异较大; 土壤全钾平均含量为 2.06 g/kg, 全市土壤钾含量偏低, 88% 以上土壤处于中下水平; 所调查土壤硒含量从痕量到 2.23 mg/kg, 平均值为 0.35 mg/kg, 明显高于全省平均值 0.211 mg/kg, 45.54% 的土壤硒含量处于中等及以上水平(0.175 mg/kg), 其中 29.29% 属于高硒含量, 但各个乡镇硒含量差异较大。从相关性分析可知, 土壤硒含量与 pH、全磷和全钾呈极显著或显著正相关, 与有机质和全氮呈负相关, 表明土壤中硒主要来源于土壤母质。

关键词 海口; 硒; 理化性质; 含量; 相关性

中图分类号 S153 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)14-0042-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.14.013



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Soil Selenium Contents in Relation to Soil Physicochemical Properties in Agricultural Land of Haikou

LI Fu-yan, LI Xu-ming (College of Biology and Bromatology of Guangxi Normal University for Nationalities, Chongzuo, Guangxi 532200)

Abstract Total of 751 samples were collected from the arable land(0-20 cm) in the 23 towns and 4 farmlands of Haikou City, soil organic matter (SOM), pH, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK) and Se contents of those samples were analyzed. Then the correlations between Se content and soil physicochemical properties were established. The result showed that all of the soil samples from the arable land were acidic, with a pH value of 5.40. The SOM content of the arable land in Haikou City was above average level, the mean value of which was 27.79 g/kg, a relatively large range was showed in different regions, the ratio between the maximum and minimum value could be up to 29.22. The mean value of TN content was 1.72 g/kg, most samples were above average level. The TP content had a large variance, with a mean value of 0.94 g/kg. The mean TK content was 2.06 g/kg, 88% of which were in the low level. The Se content ranging from trace amounts to 2.23 mg/kg, and the mean value was 0.35 mg/kg, which was significantly higher than the average value (0.211 mg/kg) of total province. About 45.54% of the total samples were higher than 0.175 mg/kg, and 29.29% of which were enriched with Se. However, the variability was great between the towns. The correlation analysis indicated that the Se content had significant and positive relation with the pH, TP and TK, and the negative correlation was existed between Se content and SOM and TN content, which suggested that the Se was mainly come from the parent material.

Key words Haikou; Selenium; Physicochemical properties; Content; Correlation

硒是环境中极重要的生命元素, 是人体必需的 14 种微量元素之一^[1], 研究表明硒过量或缺乏都会导致人体产生多种病症^[2-4]。硒在岩石、土壤中分布极不均匀, 自然土壤中的硒主要来自于母岩, 岩石中的硒通过风化作用进入土壤。因土壤母质和气候条件的差异, 不同地区土壤中硒含量差异很大。从世界范围来看, 土壤硒缺乏很普遍, 我国是世界上严重缺硒国家之一, 有 70% 以上的地区缺硒^[5]。2005 年海南发现大面积的富硒土壤^[6], 海南省地质调查院近日完成了海口市南渡江流域土地整理与土地生态地球化学评估的关联性分析。报告结论表明, 海南岛生态地球化学调查在海口市首次发现大面积富硒土壤, 面积达 763 km², 占全市总面积的 34.07%。

土壤养分的相关指标中, 有机质含量直接影响着土壤温度、通气状况、土壤保肥性和缓冲性, 土壤中氮、磷、钾是植物生长的必需营养元素, 是土壤肥力的重要基础^[7]。土壤 pH 更是一项重要指标, 反映土壤的酸碱平衡体系, 是土壤养分循环的一个主控因子^[8]。海口市位于我国南方, 属于典型的

热带海洋性气候, 全年暖热, 干湿季节明显, 雨量充沛, 台风和热带风暴频繁, 气候资源多样。研究表明, 海口市硒含量丰富, 但各地区含量差异较大, 如何开发海口宝贵的富硒土壤资源, 让资源优势转化为经济优势已成为研究热点。为进一步摸清海口市农用地硒含量与分布, 加快硒资源的开发与利用, 推动区域经济发展, 该研究拟通过对海口市的 23 个乡镇和 4 个农场的 751 个样点(图 1)进行实地采样分析, 全面系统了解海口市农用地土壤硒含量状况。通过分析土壤养分中有机质、全氮、全磷、全钾以及土壤 pH 与土壤全硒之间关系, 探讨不同土壤肥力状况下土壤全硒含量状况, 为指导种植富硒农作物, 开发绿色无公害的富硒保健产品, 合理利用和开发富硒资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样方案 遵照《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000), 通过 GPS 精确定位, 采用 S 形多点采样, 取表土层(0~25 cm)土壤样品, 样品为 5~10 个点采样的混合样, 置于聚乙烯薄膜袋中带回实验室。样品自然风干, 拣去动植物残体和石砾后混匀, 分别过 20、60、100 目尼龙筛, 贮存于聚乙烯薄膜袋中密封备用。

1.2 分析项目与测定方法 土壤 pH 和有机质的测定参照《土壤农业化学分析方法》^[9], 即 pH 采用电位法, 有机质测定采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法, 半微量凯氏定氮法

基金项目 广西民族师范学院科研经费资助项目(2019BS001); 科技基础性工作和社会公益研究专项(2004DIB3J073)。

作者简介 李福燕(1979—), 女, 山东兖州人, 讲师, 博士, 从事土壤重金属污染与植物修复的研究。

收稿日期 2020-03-19

测土壤全氮,紫外分光光度计测土壤全磷,火焰光度法测土壤全钾。

土壤全硒测定主要参考耿建梅等^[10]的方法。称取待测土壤样品 0.25 g 于 100 mL 三角瓶中,加入混合酸($\text{HClO}_4 : \text{HNO}_3 = 1 : 4$) 10 mL,加盖弯颈漏斗,放置过夜,第 2 天通过电热板低温砂浴硝化 1 h,然后逐步升温,待测液微沸条件下硝化至无色并冒白烟,取下,稍稍冷后加入 5 mL $\text{HCl}(1:1)$,继续加热至无色并冒白烟,取下,再加 5 mL $\text{HCl}(1:1)$,冷却,全部液体转入 25 mL 容量瓶中定容待测。测试仪器为北京吉

天 AFS-830a 原子荧光光谱仪,测定条件为 HCl 全阴极电流 80 mA;PMT 电压 280 V;原子化器高度 8 mm,载气流量 300 mL/min;屏蔽气流量 300 mL/min;读数时间 10 s;注入量 0.5 mL;延迟时间 1 s。以土壤标准物质(GSS-4、GSS-6、GSS-7,国家物化探研究所提供)作内标,测定回收率为 87%~115%(在推荐的 85%~115%内)。

1.3 数据处理 采样分布图用 Arcgis10.0 软件绘制,采用 Excel 软件和 SAS 软件处理数据。

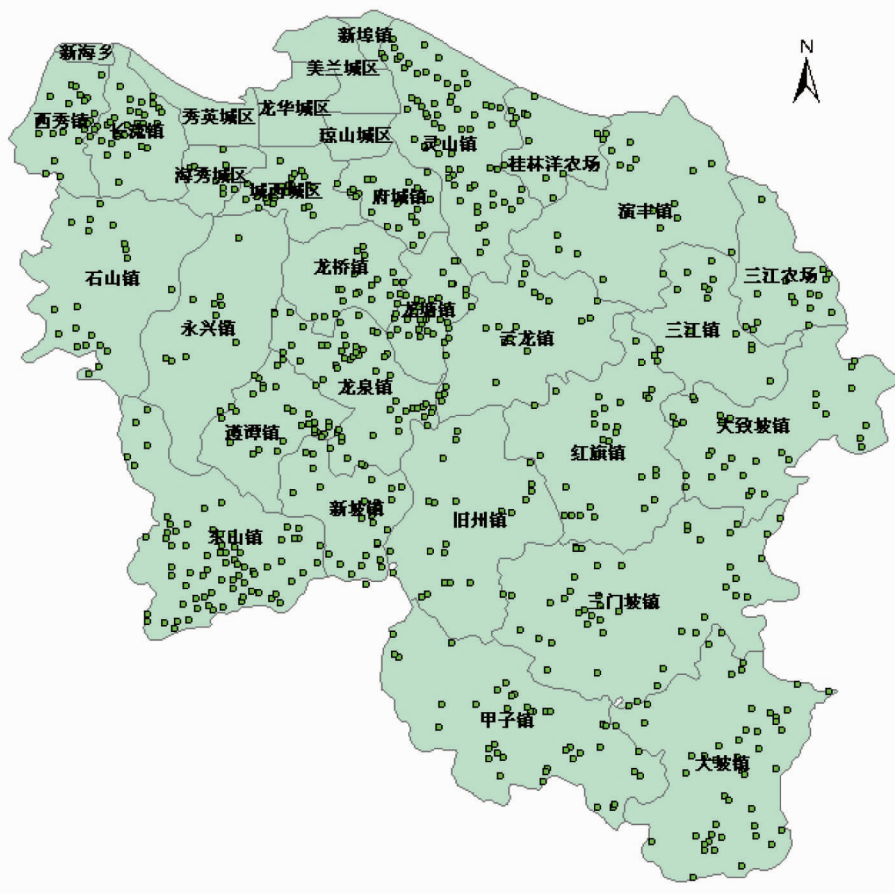


图 1 土壤采样点分布

Fig.1 Distribution of soils sampling position

2 结果与分析

2.1 海口市农用地土壤的基本性质 从表 1 可以看出,此次所采集和分析的 751 个样点土壤理化性质差异较大。土壤全硒含量从痕量到 2.23 mg/kg,变异系数高达 171.94%,表明

不同地区土壤硒含量差异较大;其次是土壤全钾含量,变异系数为 94.17%;全氮、全磷和土壤有机质变异系数也都在 60%以上;土壤 pH 差异较小,变异系数为 8.33%。

表 1 海口市农用地土壤样品基本统计值

Table 1 Basic statistics of soil samples in agricultural soils of Haikou

项目 Item	pH	有机质 Organic matter g/kg	全氮 Total nitrogen g/kg	全磷 Total phosphorus g/kg	全钾 Total potassium g/kg	全硒 Total selenium mg/kg
最小值 Min	3.80	3.93	0.32	0.17	0.04	0
最大值 Max	8.27	114.82	5.83	9.13	13.09	2.23
标准差 Standard deviation	0.74	2.58	0.08	0.94	0.21	0.29
平均 Mean	5.40	27.72	1.72	0.08	2.06	0.35
变异系数 Coefficient of variation//%	8.33	72.31	61.65	82.09	94.17	171.94

2.2 海口市农用地土壤 pH 土壤 pH 是土壤酸碱度的一个强度指标,它是影响土壤肥力的重要指标之一,它不仅影响土壤养分的转化、存在形态及其有效性,通过影响土壤的通气性从而影响肥料的有效施用和土壤微生物的活性,还直接影响作物的正常发育。土壤 pH 是由气候、生物、母质以及人为作用等多种因子控制的。海口市位于海南省东北部,地处低纬度热带北缘,属于热带海洋性季风气候。有明显的干湿季节交替,每年的 2—4 月温暖少雨干旱,5—11 月高温多雨,期间多台风暴雨,12 月—第二年的 1 月则是海口的冬季,不冷但经常有寒气流侵袭,海口市大部分农用地土壤是盐基不

饱和土壤,土壤淋溶作用比较强。

由表 2 可以看出,海口市农用地土壤 pH 平均为 5.40,属于酸性土壤,略高于全省平均值^[11]。根据分析结果,海口市所管辖周边乡镇的耕地土壤 pH 为 3.80~8.27,pH 含量差异较大,平均值为 5.40,标准差为 0.74,表明不同地区其含量差异较大。其中城西镇和龙塘镇 pH 较高,其平均值超过了 6,分别为 6.13 和 6.08,而红明农场、国营东昌农场和大坡镇 pH 较低,其平均值低于 5,分别为 4.65、4.83 和 4.87。可见,海口市各乡镇耕地土壤 pH 总体上属于酸性土壤。

表 2 海口市农用地土壤 pH 统计特征

Table 2 Statistical characteristics of pH in agricultural soil of Haikou

样区 Area	平均值 Mean	标准误差 Standard error	标准差 Standard deviation	方差 Variance	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	最小值 Min	最大值 Max	观测数 No.
城西镇 Chengxi Town	6.13	0.16	0.81	0.66	-0.23	-0.34	4.42	7.53	25
大坡镇 Dapo Town	4.87	0.22	0.81	0.65	1.14	1.17	3.89	6.69	14
大致坡镇 Dazhipo Town	5.06	0.09	0.50	0.25	2.31	1.24	4.29	6.67	31
东山镇 Dongshan Town	5.26	0.07	0.57	0.32	-0.31	0.50	4.23	6.76	74
府城镇 Fucheng Town	5.27	0.10	0.46	0.21	0.19	0.11	4.33	6.20	23
桂林洋农场 Guilinyang Farm	5.41	0.21	0.71	0.50	-0.88	0.53	4.53	6.67	11
国营东昌农场 State-owned Dongchang Farm	4.83	0.07	0.39	0.15	0.94	0.52	4.13	5.96	35
海秀镇 Haixiu Town	5.82	0.19	0.60	0.36	1.27	0.55	4.87	7.05	10
红明农场 Hongming Farm	4.65	0.09	0.39	0.15	-0.19	-0.08	3.85	5.43	19
红旗镇 Hongqi Town	5.16	0.11	0.66	0.43	3.19	1.68	4.35	7.34	33
甲子镇 Jiazi Town	5.09	0.08	0.49	0.24	4.21	1.62	4.50	6.95	40
旧州镇 Jiuzhou Town	5.13	0.11	0.50	0.25	-0.19	0.15	4.32	6.23	21
灵山镇 Lingshan Town	5.45	0.10	0.84	0.71	0.44	1.06	4.38	7.78	67
龙桥镇 Longqiao Town	5.84	0.13	0.64	0.41	0.77	0.58	4.48	7.23	26
龙泉镇 Longquan Town	5.93	0.05	0.39	0.15	-0.18	-0.58	5.00	6.71	59
龙塘镇 Longtang Town	6.08	0.15	0.86	0.74	0.69	1.03	4.51	8.27	32
三江农场 Sanjiang Farm	5.11	0.19	0.71	0.50	3.85	1.50	4.29	7.05	14
三江镇 Sanjiang Town	5.02	0.13	0.53	0.29	-0.24	0.37	4.13	6.12	16
三门坡镇 Sanmenpo Town	5.35	0.17	0.88	0.78	0.59	1.11	4.24	7.48	28
石山镇 Shishan Town	5.30	0.18	0.75	0.57	-0.24	0.32	4.23	6.89	17
西秀镇 Xixiu Town	5.92	0.19	0.87	0.76	-0.97	0.25	4.47	7.56	22
新坡镇 Xinpo Town	5.24	0.09	0.47	0.22	-0.66	0.21	4.42	6.14	28
演丰镇 Yanfeng Town	5.43	0.24	0.98	0.95	-0.05	0.76	4.15	7.63	16
永兴镇 Yongxing Town	5.34	0.19	0.67	0.45	-0.40	0.56	4.47	6.49	12
云龙镇 Yunlong Town	5.26	0.15	0.71	0.50	6.49	2.33	4.54	7.68	21
长流镇 Changliu Town	5.67	0.12	0.68	0.46	1.01	-0.44	3.80	7.15	34
遵谭镇 Zuntan Town	5.61	0.10	0.48	0.23	-1.09	0.33	5.00	6.45	23
全市 Whole city	5.40	1.00	0.74	0.55	0.53	0.76	3.80	8.27	751

2.3 海口市农用地土壤有机质含量 土壤的本质属性是具有肥力和自净能力,而土壤有机质含量又是决定土壤肥力的主要因素,土壤有机质是土壤的重要组成部分,其土壤有机质含量直接影响土壤温度、通气状况、缓冲性和保肥性,它既是作物所需的各种营养物质的源泉,又具有改善土壤物理和化学性质的功能,所以有机质是反映土壤养分贮量的标志,也是决定土壤综合肥力水平的基础。

从表 3 可以看出,海口市农用地土壤有机质含量大多处

于中上水平,其中三级(20.01~30.00 g/kg)出现频率最高,占 34.09%,其次是四级占 25.97%,其中六级(0~6 g/kg)含量频数最低,仅占 0.93%,一级 15.31%,二级 17.31%,结果表明海口市农用地土壤有机质含量总体较好,位于中上水平,较全国第二次土壤普查时海口市农用地土壤有机质含量有明显提高^[12]。土壤有机质含量受温度和降水影响较大,过度湿润和长期冰冻的气候条件有利于有机质积累,而干旱和高温环境下,土壤中好气微生物比较活跃,不利于有机质的

积累^[13]。

表 3 海口市农用地土壤有机质含量

含量分级 Content grading	有机质 Organic matter g/kg	样次 No.	百分比 Percentage %	平均值 Mean g/kg
一	>40.00	115	15.31	56.01
二	30.01~40.00	130	17.31	34.02
三	20.01~30.00	256	34.09	25.43
四	10.01~20.00	195	25.97	15.31
五	6.00~10.00	48	6.39	8.42
六	<6.00	7	0.93	5.13
总样本含量 Total sample content	3.90~114.80		总样本平均 值 Average of total samples	27.72

从表 4 可以看出,海口市不同地区有机质含量差异较大,全市 751 个样点中,最大值(114.82 g/kg)是最小值(3.93 g/kg)的 29.22 倍,另外各个乡镇农场之间相差较大,永兴镇最高,其平均值为 68.72 g/kg,是全市平均值的 2.5 倍,其次是国营东昌农场和大坡镇,其平均值分别为 45.31、44.53 g/kg,海秀镇有机质含量最低,其平均值仅为 15.82 g/kg,比全市平均值低 11.90 g/kg,另外灵山镇、西秀镇、长流镇、三江农场等 15 个乡镇和农场的有机质含量低于全市平均水平。从标准差可以看出,全市不同农用地土壤有机质含量差异较大,另外从各个乡镇农场的最大值、最小值可以看出同一地区不同地块有机质含量差异较大,说明近年来人为培肥对土壤肥力产生了较大影响。

表 4 海口市农用地土壤有机质统计分析结果

Table 4 Statistical results of organic matter content in agricultural soil of Haikou

样区 Area	平均值 Mean g/kg	标准误差 Standard error g/kg	标准差 Standard deviation g/kg	方差 Variance	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	最小值 Min g/kg	最大值 Max g/kg	观测数 No.
城西镇 Chengxi Town	21.82	0.25	1.24	1.53	2.26	1.59	6.20	57.38	25
大坡镇 Dapo Town	44.53	0.43	1.59	2.54	-0.73	0.64	24.24	75.34	14
大致坡镇 Dazhipo Town	36.76	0.30	1.68	2.81	0.07	0.50	5.53	77.95	31
东山镇 Dongshan Town	20.73	0.16	1.40	1.96	7.06	2.15	4.22	88.42	74
府城镇 Fucheng Town	23.77	0.20	0.97	0.95	-0.62	0.41	9.11	41.71	23
桂林洋农场 Guilinyang Farm	28.92	0.51	1.68	2.82	1.24	0.99	7.38	66.26	11
国营东昌农场 State-owned Dongchang Farm	45.31	0.33	1.93	3.71	0.05	0.86	15.76	92.78	35
海秀镇 Haixiu Town	15.82	0.26	0.81	0.66	7.74	2.67	10.01	37.92	10
红明农场 Hongming Farm	35.98	0.30	1.32	1.74	0.35	0.97	18.16	64.85	19
红旗镇 Hongqi Town	29.19	0.13	0.73	0.53	-0.34	0.09	13.89	43.06	33
甲子镇 Jiazi Town	23.03	0.18	1.12	1.25	2.06	1.14	7.86	61.25	40
旧州镇 Jiuzhou Town	26.42	0.25	1.15	1.33	-0.66	-0.16	7.23	47.46	21
灵山镇 Lingshan Town	19.83	0.12	0.95	0.90	0.33	1.00	7.16	44.63	67
龙桥镇 Longqiao Town	33.55	0.37	1.87	3.52	10.73	2.9	12.58	109.31	26
龙泉镇 Longquan Town	25.76	0.08	0.64	0.41	2.28	-0.19	7.89	43.46	59
龙塘镇 Longtang Town	23.52	0.16	0.93	0.86	3.17	0.91	7.84	55.22	32
三江农场 Sanjiang Farm	21.11	0.17	0.64	0.42	-1.23	-0.18	10.85	31.36	14
三江镇 Sanjiang Town	36.23	0.31	1.24	1.53	0.51	-0.08	10.82	61.62	16
三门坡镇 Sanmenpo Town	38.38	0.35	1.85	3.42	2.87	1.33	10.12	96.07	28
石山镇 Shishan Town	25.76	0.14	0.57	0.32	3.00	-1.65	9.79	31.68	17
西秀镇 Xixiu Town	20.23	0.20	0.94	0.88	0.46	0.09	4.33	43.29	22
新坡镇 Xinpo Town	22.29	0.14	0.74	0.55	-0.98	-0.38	9.02	35.37	28
演丰镇 Yanfeng Town	31.88	0.53	2.11	4.46	6.31	2.36	14.76	98.07	16
永兴镇 Yongxing Town	68.72	1.23	4.24	18.02	-1.88	-0.26	9.38	114.83	12
云龙镇 Yunlong Town	33.38	0.28	1.27	1.62	-0.93	-0.11	14.13	57.96	21
长流镇 Changliu Town	20.21	0.21	1.25	1.55	3.18	1.43	3.97	63.53	34
遵谭镇 Zuntan Town	26.74	0.14	0.65	0.42	-0.42	0.38	13.63	37.41	23
全市 Whole city	27.72	0.63	1.61	2.58	6.54	2.01	3.93	114.82	751

2.4 海口市农用地土壤全氮含量 土壤全氮包括有机氮和无机氮 2 种,其中无机氮主要为铵态氮(NH_4^+)和硝态氮(NO_3^-),有时也短时存在亚硝态氮(NO_2^-)。土壤中的无机氮大都是水溶性的,是可以供作物吸收的速效养分。自然土壤中无机氮的含量相对较少(一般仅为全氮量的 1%~2%),主要是土壤微生物活动的产物(施用化学氮肥除外),因易溶于水,所以在土壤中极易被淋溶,海口降水较多,该部分氮几乎全部淋溶,很少供作物吸收利用。土壤中的有机氮是土壤氮的主要存在形式,占土壤全氮量的 95%以上,有机氮的组

成复杂,是交换性铵和 NO_3^- -N 的源和汇。土壤中全氮含量能反映土壤供氮能力的大小。

从表 5 可以看出,海口市所管辖周边乡镇的耕地土壤全氮含量平均值为 1.72 g/kg,土壤全氮含量为 0.23~5.81 g/kg,不同农用地土壤全氮含量差异较大,结合土壤有机质含量特征,可以看出土壤全氮含量与有机质含量一致。以第二次土壤普查养分分级标准划分^[12],海口市农用地土壤全氮含量大部分分布在一~三级,其中二级最多,有 231 个样点,占总数的 30.76%,六级含量最少,仅有 15 个样点,仅占总量的

2.00%。由此可见,海口市农用地全氮含量属于中上水平。

表5 海口市农用地土壤全氮含量

Table 5 Total nitrogen concentration in agricultural soil of Haikou

含量分级 Content grading	全氮 Total nitrogen g/kg	样次 No.	百分比 Percentage %	平均值 Mean g/kg
一	>2.00	170	22.64	2.83
二	1.51~2.00	231	30.76	1.75
三	1.01~1.50	205	27.30	1.32
四	0.76~1.00	66	8.79	0.97
五	0.50~0.75	64	8.52	0.63
六	<0.50	15	2.00	0.49
总样本含量 Total sample content	0.23~5.81		总样本平均 值 Average of total sample	1.72

2.5 海口市农业地土壤全磷含量 土壤中各种形态磷素的总和称为土壤全磷,主要包括有机磷和无机磷2种形式,其中有机磷在土壤中主要以核酸类、植素类、磷脂类等形态存在,该形态的磷不能被作物直接吸收利用,须先在微生物的作用下分解为磷酸盐后才能被植物利用;无机磷主要包括水溶性含磷化合物、弱酸溶性含磷化合物、难溶性含磷化合物(无效磷),水溶性含磷化合物和弱酸溶性含磷化合物可以供作物吸收利用。土壤中全磷含量的高低可作为磷素养分供应潜力的相对指标,不能直接反映土壤的供磷能力,因为全磷对当季作物是否具有营养意义,是与各种磷化合物在土壤中的形态及转化有关。一般认为土壤全磷<0.40 g/kg时,土壤有可能供磷不足。

从表6可以看出,海口市农用地土壤全磷含量平均值为0.94 g/kg,属于等级含量分级二级标准值,表明全市土壤全磷平均含量属于中上水平。从第二次土壤普查养分分级标准可以看出^[12],全磷含量达到一级标准的样次最高达318个,占总样点的34.57%,六级含量最少,仅有39个,占总样点的4.24%,二级含量较少,有91个样点,三级、四级、五级含量相差不大。从样本总含量范围可以看出,各个地区不同地块土壤全磷含量差异较大,最大值与最小值比值高达130倍。

表6 海口市农用地土壤全磷含量

Table 6 Total phosphorus concentration in agricultural soil of Haikou

含量分级 Content grading	全磷 Total phosphorus g/kg	样次 No.	百分比 Percentage %	平均值 Mean g/kg
一	>1.00	318	34.57	1.71
二	0.81~1.00	91	9.89	0.89
三	0.61~0.80	136	14.78	0.71
四	0.41~0.60	160	17.39	0.50
五	0.21~0.40	176	19.13	0.32
六	≤0.20	39	4.24	0.16
总样本含量 Total sample content	0.07~9.13		总样本平均 值 Average of total sample	0.94

2.6 海口市农业地土壤全钾含量 土壤的钾包括水溶态钾、交换性钾(速效钾)、矿物层间不能通过快速交换反应而释放的非交换性钾(缓效钾)和矿物品格中的钾(无效钾)。土壤

全钾含量不一定反映土壤现时的供钾能力,但能反映土壤供钾能力的大小,土壤全钾含量只代表土壤供钾潜力。

从表7可以看出,海口市所辖周边乡镇的耕地土壤全钾含量为0.04~13.09 g/kg,平均仅为2.06 g/kg,海口市农用地土壤全钾含量比较低,一级、二级和三级含量为0,大部分土壤全钾含量分布在六级,占总样点的88.15%,可见,海口市耕地土壤全钾含量属低等水平,全市农用地钾含量偏低。这与海口所处地理位置有关,海口市属于热带海洋性气候,降雨较多,土壤淋溶作用强,而土壤中的K⁺容易移动,所以表层土壤钾含量较低。

表7 海口市农用地土壤全钾含量

Table 7 Total potassium concentration in agricultural soil of Haikou

含量分级 Content grading	全钾 Total potassium g/kg	样次 No.	百分比 Percentage %	平均值 Mean g/kg
一	>25.00	0	0.00	0.00
二	20.10~20.00	0	0.00	0.00
三	15.10~20.00	0	0.00	0.00
四	10.10~15.00	7	0.76	15.11
五	5.1~10.00	102	11.09	6.91
六	≤5.00	811	88.15	1.37
总样本含量 Total sample content	0.04~13.09		总样本平均 值 Average of total sample	2.06

2.7 海口市农用地土壤全硒含量与分布 按照李海蓉^[15]的土壤硒含量分级方法,对海口市23个乡镇和4个农场的751个样点土壤硒含量进行分级,结果表明大部分土壤硒含量属于中等水平,含量为0.175~0.400 mg/kg,占总样本的45.54%,有29.29%的土壤硒含量大于0.400 mg/kg,属于高硒土壤,109个属于硒含量缺乏水平,占总样点的14.51%;所采集样品中未发现硒含量过剩土壤(表8)。结果表明海口市存在大面积富硒土壤。

表8 海口市农用地土壤硒含量

Table 8 Selenium concentration in agricultural soils of Haikou

含量分级 Content grading	土壤硒 Soil selenium mg/kg	样次 No.	百分比 Percentage %	平均值 Mean g/kg
过剩 Excess	>3.000	0	0	0
高 High	0.400~3.000	220	29.29	0.70
中等 Medium	0.175~0.400	342	45.54	0.27
边缘 Edge	0.125~0.175	80	10.65	0.15
缺乏 Lack	<0.125	109	14.51	0.07

从表9可以看出,海口市农用地土壤23个乡镇和4个农场的751个采样点土壤硒含量平均值为0.35 mg/kg,明显高于全国土壤背景值(0.215 mg/kg)^[14],也高于海南省土壤平均值(0.211 mg/kg)^[10]。从平均值和标准差可以看出,不同地区硒含量差异较大,其中大坡镇含量最高为0.91 mg/kg,含量最低的为三江镇,仅为0.19 mg/kg,从各个乡镇和农场的标准差可以看出,同一乡镇和农场的不同地块土壤全硒含量差异较大,以三江农场为例,其含量最高值为2.23 mg/kg,

最低值为 0.06 mg/kg, 合理划分富硒地块非常有必要。

表 9 海口市农用地各采样点土壤硒含量

Table 9 Selenium concentration in each sampling site in agricultural soils of Haikou

样区 Area	平均值 Mean mg/kg	标准误差 Standard error mg/kg	标准差 Standard deviation mg/kg	方差 Variance	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	最小值 Min mg/kg	最大值 Max mg/kg	观测数 No.
城西镇 Chengxi Town	0.35	0.04	0.18	0.03	3.48	1.43	0.11	0.94	25
大坡镇 Dapo Town	0.91	0.14	0.52	0.27	0.52	0.74	0.25	2.08	14
大致坡镇 Dazhipo Town	0.25	0.04	0.23	0.05	3.91	1.94	0.02	1.02	31
东山镇 Dongshan Town	0.23	0.02	0.18	0.03	13.13	3.15	0.02	1.23	74
府城镇 Fucheng Town	0.28	0.03	0.13	0.02	2.36	0.73	0.01	0.67	23
桂林洋农场 Guilinyang Farm	0.30	0.04	0.15	0.02	1.98	1.60	0.15	0.64	11
国营东昌农场 State-owned Dongchang Farm	0.84	0.05	0.29	0.09	-0.18	-0.17	0.25	1.48	35
海秀镇 Haixiu Town	0.32	0.04	0.12	0.02	1.02	0.78	0.15	0.58	10
红明农场 Hongming Farm	0.71	0.12	0.51	0.26	-0.86	0.70	0.16	1.60	19
红旗镇 Hongqi Town	0.36	0.06	0.34	0.11	-1.04	0.46	0	1.10	33
甲子镇 Jiazi Town	0.43	0.05	0.34	0.11	1.02	1.35	0.03	1.38	40
旧州镇 Jiuzhou Town	0.23	0.04	0.18	0.03	1.44	1.21	0.02	0.72	21
灵山镇 Lingshan Town	0.26	0.02	0.13	0.02	3.20	1.52	0.05	0.74	67
龙桥镇 Longqiao Town	0.44	0.03	0.14	0.02	1.99	1.05	0.23	0.87	26
龙泉镇 Longquan Town	0.27	0.01	0.10	0.01	-0.39	-0.37	0.05	0.44	59
龙塘镇 Longtang Town	0.40	0.02	0.14	0.02	-0.55	-0.41	0.08	0.63	32
三江农场 Sanjiang Farm	0.33	0.15	0.56	0.31	12.96	3.55	0.06	2.23	14
三江镇 Sanjiang Town	0.19	0.05	0.19	0.04	1.09	1.17	0	0.66	16
三门坡镇 Sanmenpo Town	0.35	0.05	0.28	0.08	1.87	1.43	0.02	1.14	28
石山镇 Shishan Town	0.23	0.02	0.07	0.01	-0.72	-0.16	0.10	0.35	17
西秀镇 Xixiu Town	0.28	0.04	0.18	0.03	1.93	1.40	0.07	0.80	22
新坡镇 Xinpo Town	0.30	0.03	0.18	0.03	13.51	3.21	0.10	1.09	28
演丰镇 Yanfeng Town	0.31	0.10	0.39	0.15	5.60	2.25	0	1.50	16
永兴镇 Yongxing Town	0.63	0.10	0.33	0.11	-0.27	0.28	0.16	1.27	12
云龙镇 Yunlong Town	0.32	0.07	0.32	0.10	-0.13	0.95	0.02	1.06	21
长流镇 Changliu Town	0.28	0.03	0.17	0.03	2.17	1.32	0.05	0.84	34
遵谭镇 Zuntan Town	0.33	0.02	0.11	0.01	-0.14	0.49	0.13	0.57	23
全市 Whole city	0.35	0.01	0.29	0.09	6.20	2.10	0	2.23	751

2.8 海口市农用地土壤全硒与有机质、pH、全氮、全磷、全钾的关系 从表 10 可以看出, 土壤中硒含量和 pH、全磷、全钾呈正相关, 与 pH 和全磷含量呈极显著正相关, 表明土壤中硒主要来源于地质母质, 与有机质和全氮含量呈负相关, 表明

人工培肥对土壤硒含量影响不大。pH 影响土壤中重金属的活性, 由表 10 得 pH 与硒含量之间显著相关。从表中可以看出, 土壤 pH 影响土壤中全磷、全钾含量。

表 10 农用地土壤硒含量与土壤理化性质的相关分析

Table 10 Correlation of Se and soil physical and chemical properties in agricultural soils of Haikou

项目 Item	pH	全硒 Total selenium	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium
pH	1					
全硒 Total selenium	0.227**	1				
有机质 Organic matter	-0.099	-0.172	1			
全氮 Total nitrogen	-0.102	-0.141	0.997**	1		
全磷 Total phosphorus	0.217*	0.262**	0.158	0.197*	1	
全钾 Total potassium	0.282**	0.002	-0.390	-0.398	-0.326	1

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

Note: ** indicated that the correlation is extremely significant ($P \leq 0.01$); * indicated that the correlation is significant ($P \leq 0.05$)

3 结论

海口市农用地大部分土壤 pH 为微酸性, 没有明显酸化, 有机质含量中等水平, 但各个地区之间差异较大, 多数土壤

的全氮、全磷含量达到三级土壤水平, 全钾分析结果表明, 大部分土壤缺钾。

(下转第 52 页)

手段。根据《技术规定》要求,称量样品使用台秤和天平,因秸秆及容器体积较大,使用台秤更方便。台秤的测量范围为0~10 kg,感量0.005 kg。试验开始前按操作规程校准,防止称量带来的系统误差。秸秆样品有吸湿性,称量过程必须在10~15 s内完成,操作台与干燥设备(烘箱)距离不能太远。干燥容器建议使用较大较深的托盘(建议规格50 cm×30 cm×10 cm,用于秸秆样品)和铝盒(建议规格22 mm×13 mm×6 mm,用于籽粒样品)。大容器不仅能够容纳较多的样品,减小误差,还能保证薄层干燥,提高试验效率,节约用电成本。秸秆样品要在无风环境下称量,干燥后的秸秆容器下垫隔热垫(如泡沫板),防止台秤受热,影响精度。秸秆称量读数会有波动,有条件的可以使用带自动记录功能的天平,或外加图像读数设备,统计计算最佳称量结果。

5.4 统计控制 从前面的误差分析可知,在样品的运输储存阶段,由于水分交换会产生误差,在烘干测试阶段,由于不能烘干到恒重会产生误差,对于不同作物的样品,2项误差的大小均可通过标准曲线获得的干燥模型计算出来,可以用这个误差值对实测结果进行矫正。调查实测结果因相关规定这里略过^[4]。

5.5 反馈控制 此次调查不仅采样区域范围广、作物种类丰富、时间长,各参与单位、功能模块之间通信和协调的好坏也在很大程度上影响调查结果的准确性。有些样品的有效性在其后续的处理阶段才能确定,后一阶段的信息需要反馈到前一个阶段以促进其作出调整,从而实现反馈控制。网络技术的应用不仅能加快数据采集、数据交换、分析计算的速度,还能实时交换数据、实时检验、实时分析处理、实时反馈中间结果,实现整个系统的自调节、自进化。比如,一个地区的结果可以作为另一个地区的参考甚至临时标准样,计算置信区间。随着数据量的增加,精度会越来越高,误差越来越小。比如,使用自动记录设备输入数据,对结果数据进行实时检

验,剔除不合格样品和试验结果,及时重新试验或反馈到采样部门重复复测。比如,应用计算机视觉、人工智能技术,对采样样品的真实性和有效性进行实时检验,及时剔除虚假样品。

6 讨论

全水分法的核心是保持样品含水率不变,这也是误差控制的关键。然而,由于全国性调查牵涉的地区、部门多,各地的人员配备、试验条件参差不齐,一些地方对调查规范、方法的宣传、学习、理解不能完全到位,样品运输过程中会有难以避免的包装破损等原因,实际操作过程中有些样品不能达到完全保持水分的要求,从而引入较大误差,且误差大小不可知。

根据前面的推导,如果采用基于干物质重量的调查方法(简称干物质法),增加2次精确的称量过程:采样阶段精确称量1次送验样品,烘干测试之前再作1次精确称量,通过式(13)直接计算出草谷比。采用这种方法,不仅从送样到试验之间的不可控误差变得可以统计,而且保持水分的要求也不再需要,从而降低包装、运输、储藏的成本。采样部门的工作量增加不多,只是送验样品称量精度增加,检测部门多1次全样品称量步骤。

建议第三次全国污染源普查时把干物质法作为一个选项。

参考文献

(上接第47页)

农用地硒含量表明,海口市存在大面积富硒土壤。采样点硒含量从痕量到2.23 mg/kg,全市土壤硒含量平均值为0.35 mg/kg,大部分土壤硒含量属于中等水平,含量为0.175~0.400 mg/kg,占总样本的45.54%,有29.29%的土壤硒含量大于0.400 mg/kg,属于高硒土壤。但是不同乡镇农场之间差异较大,同一乡镇、农场的不同地块之间差异较大。

土壤中硒含量和pH、全磷、全钾呈正相关,与pH和全磷含量呈极显著正相关,表明土壤中硒主要来源于地质母质,与有机质和全氮含量呈负相关,表明人工培肥对土壤硒含量影响不大。

参考文献

- [1] GERLA P J, SHARIF M U, KOROM S F. Geochemical processes controlling the spatial distribution of selenium in soil and water, west central South Dakota, USA [J]. *Environmental earth sciences*, 2011, 62: 1551-1560.
- [2] WANG Z J, GAO Y X. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments [J]. *Applied geochemistry*, 2001, 16(11/12): 1345-1351.
- [3] 李继云, 任尚学, 陈代中. 陕西省环境中的硒与大骨节病关系的研究

- [1] 国务院办公厅. 国务院关于开展第二次全国污染源普查的通知: 国发[2016]59号 [A]. 北京: 国务院办公厅, 2016.
- [2] 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室. 关于印发《第二次全国污染源普查清查技术规定》的通知: 国污普[2018]3号 [A]. 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室, 2016.
- [3] 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室. 秸秆产生量抽样调查与测定技术规定 [A]. 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室, 2018.
- [4] 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室. 关于加强第二次污染源普查数据安全工作的通知: 国污普[2019]1号 [A]. 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室, 2019.
- [J]. *环境科学学报*, 1982, 2(2): 91-101.
- [4] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究 II. 土壤硒的含量、分布及其影响因素 [J]. *土壤学报*, 2005, 42(3): 404-410.
- [5] 甄燕红. 中国部分市售稻米 Cd、Zn、Se 含量及其食用安全评价 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [6] 侯小健. 海南首次发现大面积富硒土壤 [N]. *中国矿业报*, 2006-04-27 (B02).
- [7] 马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等. 黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应 [J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6328-6334.
- [8] CHENG Y, WANG J, MARY B, et al. Soil pH has contrasting effects on gross and net nitrogen mineralizations in adjacent forest and grassland soils in central Alberta, Canada [J]. *Soil biology and biochemistry*, 2013, 57: 848-857.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [10] 耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等. 海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性 [J]. *生态学报*, 2012, 32(11): 3477-3486.
- [11] 李福燕, 李许明, 吴鹏飞, 等. 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 [J]. *土壤*, 2009, 41(1): 49-53.
- [12] 海南省农业厅土肥站. 海南土壤 [M]. 海口: 海南出版社, 1993: 191.
- [13] 漆智平. 热带土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [14] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1983.
- [15] 李海蓉, 杨林生, 谭见安, 等. 我国地理环境硒缺乏与健康研究进展 [J]. *生物技术进展*, 2017, 7(5): 381-386.