

doi: 10.12029/gc20210414

汪实,朱鑫,黎旭荣,罗思亮. 2021. 广东雷州半岛土壤氮、磷、钾元素地球化学特征及其土壤肥力评价[J]. 中国地质, 48(4): 1177-1187.

Wang Shi, Zhu Xin, Li Xurong, Luo Siliang. 2021. Geochemical characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium and soil fertility evaluation in Leizhou Peninsula, Guangdong Province[J]. Geology in China, 48(4): 1177-1187(in Chinese with English abstract).

广东雷州半岛土壤氮、磷、钾元素地球化学特征 及其土壤肥力评价

汪实,朱鑫,黎旭荣,罗思亮

(广东省地质调查院,广东 广州 510080)

摘要:广东雷州半岛位于中国大陆最南端,是中国菠萝、香蕉、甘蔗等农产品重要产地。土壤氮、磷、钾等养分是作物生长需要最多的营养元素,对农业发展至关重要。文章通过对雷州半岛土壤取样,首次对该地区土壤氮磷钾的背景特征进行了分析,研究了不同成土母质、不同土地利用类型氮磷钾的含量水平,探讨了氮磷钾人为影响因素和时空演化规律,并进行了土壤肥力评价。研究发现,雷州半岛土壤中氮、磷、钾分布受地质背景制约,并受人为活动干扰强烈,氮、磷受人类活动影响显著,钾受人为扰动程度较轻。与 20 世纪 90 年代相比,表层土壤磷元素含量增幅较大,钾元素含量与前期相当。土壤肥力评价结果表明,雷州半岛土壤富磷,缺钾,局部缺氮。

关键词:氮磷钾;背景特征;时空演化规律;土壤肥力评价;农业地质调查工程;雷州半岛;广东省

中图分类号:P595;S158;S153 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2021)04-1177-11

Geochemical characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium and soil fertility evaluation in Leizhou Peninsula, Guangdong Province

WANG Shi, ZHU Xin, LI Xurong, LUO Siliang

(Guangdong Institute of Geological Survey, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

Abstract: Leizhou Peninsula is located in the southernmost part of mainland China, which is an important agricultural production area of pineapple, banana, sugarcane, etc. Nitrogen, phosphorus, potassium and other nutrients in the soil are the most needed nutrients for crop growth, which is very important for agricultural development. In this paper, the background characteristics of soil nitrogen, phosphorus and potassium in Leizhou Peninsula were analyzed for the first time. The content levels of nitrogen, phosphorus and potassium in different soil parent materials and land use types were studied. The man-made influencing factors and temporal and spatial variation of nitrogen, phosphorus and potassium were discussed, and the evaluation of their abundance and deficiency was carried out. It is found that the distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil is restricted by geological background and strongly disturbed by human activities. Nitrogen, phosphorus are significantly affected by human activities, and potassium is slightly disturbed by human activities. Compared with the 1990s, the content of phosphorus in surface soil increased

收稿日期:2020-07-02;改回日期:2020-10-07

基金项目:中国地质调查局项目(DD20160327)资助。

作者简介:汪实,男,1982年生,高级工程师,主要从事土壤地球化学调查与评价工作及地质矿产工作;E-mail:147877045@qq.com。

greatly, dan potassium was equivalent to that in the earlier stage. The results of soil fertility evaluation showed that the soil in Leizhou Peninsula was rich in phosphorus, deficient in potassium and locally deficient in nitrogen.

Key words: agricultural geological survey engineering; Nitrogen, phosphorus and potassium; background characteristics; temporal and spatial variation; soil fertility evaluation; Leizhou Peninsula; Guangdong Province

About the first author: WANG Shi, male, born in 1982, senior engineer, mainly engaged in soil geochemistry investigation and evaluation, geological and mineral resources survey; E-mail: 147877045@qq.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No. DD20160327).

1 引言

氮磷钾是植物需要量和收获时带走量较多的营养元素,而它们通过残茬和根的形式归还给土壤的数量却不多,因此需要以施肥的方式补充这些养分。掌握土壤氮磷钾分布状况及其丰缺特征对发展农业至关重要。雷州半岛地处广东南部,属热带和亚热带季风气候,地势平坦、气候湿润,是中国菠萝、香蕉、甘蔗等农产品重要产地,农业活动强烈。前人对雷州半岛农业发展研究多限于土壤类型、地形、气候和水资源等自然因素,20世纪80年代农业区划研究中所做的土壤肥力普查,对土壤的氮磷钾等养分含量做过系统的调查工作,但以前工作的调查密度远不如现在,且年代久远,现实指导意义不强。因此,要发展现代农业,开展更高精度的土壤氮磷钾肥力状况系统调查已显得迫在眉睫。本文以雷州半岛1:25万土地质量地球化学调查(2016—2018年)为基础,首次从区域的角度对该地区土壤氮磷钾的背景含量及特征进行分析,全面掌握雷州半岛土壤氮磷钾养分状况,研究了不同成土母质、不同土地利用方式氮磷钾的含量水平,探讨了人为影响因素和时空演化规律,评价了土壤氮磷钾养分丰缺状况,为国土空间规划和生态农业发展等提供了科学的数据支撑,对发展现代农业具有重要意义。

2 研究区概况

2.1 地质背景

雷州半岛在大地构造上属华南褶皱系,涉及范围横跨云开大山隆起及粤中凹陷两个构造单元;地层发育较齐全,由老至新有元古宇、志留系、泥盆系、石炭系、侏罗系、第四系,其中以第四系分布最广。区内岩浆岩分布较为广泛,岩体、火山岩覆盖大片地区,侵入岩以二长花岗岩为主,分布在半岛

北部一带,火山岩主要为喜山期玄武岩,分布在雷州半岛中南部大片区域。区内表露构造形迹不多,仅见平缓的褶皱及推测断层。

2.2 土壤类型

雷州半岛土壤类型以砖红壤居多,20°40'N以南地区为砖红壤,占土地总面积一半以上,是本市最主要的土壤类型;20°40'N以北地区以赤红壤为主;水稻土分布较为广泛,在廉江市至安铺港、吴川市西南部、雷州市一带均大片分布;沿海地区为酸性硫酸盐土和滨海盐土;九洲江和鉴江沿岸为潮沙泥土。

2.3 土地利用现状

据广东省第二次全国土地调查数据资料,研究区土地利用以耕地、林地和园地为主。耕地面积46.4360万hm²,占陆地总面积的35.07%;林地面积30.092万hm²,占陆地总面积的22.73%;园地面积15.3313万hm²,占陆地总面积的11.58%;水域及水利设施用地面积20.9093万hm²,占陆地总面积的15.79%。

3 样品采集及测试分析

在雷州半岛12490 km²范围内系统采集了表层和深层土壤样。表层土壤采样密度为1个点/km²,大中城市城区为2个点/km²,滩涂为1个点/4 km²,样品采集于可代表采样单元的地质、土壤类型和土地利用类型的地段,每个样品为100 m范围内3~5个样点多点组合样,每个样点均采取0~20 cm土壤样品。深层土壤样采样密度为1个/4 km²,滩涂为1个/16 km²,用取样钻采集1.5~2.0 m深土壤,连续采集50 cm的土柱。野外筛取小于20目的细粒级物质,室内将样品加工至200目。

表层样品采用4 km²范围内所采集的样品组合成1件样品进行分析,深层样品采用16 km²范围内

所采集的样品组合成1件样品进行分析。样品测试方法技术和质量监控体系按照中国地质调查局《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T 0130-2006)等要求执行。N采用容量法(VOL),试样加硫酸、混合催化剂加热煮解,加浓碱蒸馏,硼酸吸收,盐酸标准液滴定。P和K₂O采用X射线荧光光谱法(XRF),仪器型号为S4PIONEERX射线荧光光谱仪和YYJ-40压样机,具体方法为粉末压片(称样量4g、硼酸镶边垫底),X射线荧光光谱仪直接测定。检出限、准确度和精密度经国家一级标准物质验证,分析过程严格把控分析方法程序,注意试液(料)制备控制、标准溶液控制、标准曲线(工作曲线)控制、空白试验、背景扣除和干扰校正等,各元素报出率均为100%,数据通过了武汉地质调查中心组织的专家验收,质量可靠。

4 含量分布特征

4.1 背景值和基准值统计分析

背景值是表层土壤在一定自然历史时期,一定地域内元素的丰度,它是土壤地球化学的量值,反映在一定范围内表层土壤地球化学特征。土壤中元素背景值,是在不受或少受人类活动影响和工业污染的情况下,土壤本身固有的元素化学组成或元素的含量水平(蒋德珍等,1996)。基准值是土壤地球化学本底的量值,反映在一定范围内深层土壤地球化学特征。前人对土壤背景值和基准值的计算均有一定的研究(汪庆华等,2007;陶春军等,2013;王学求等,2016)。本文中背景值和基准值分别取表层土壤样品(取样深度为0~20 cm)和深层土壤样品(取样深度为150~200 cm)的统计值,其统计方法为:当统计数据服从正态分布取算术平均值,服从

对数正态分布取几何平均值(姚天全等,1999);当不服从正态或对数正态分布,用迭代法按照算术平均值加减3倍标准偏差对离群数据进行无限次剔除,剔除后对于正态分布的元素,取算术平均值;对于对数正态分布的元素,取几何平均值;对于偏态分布的元素,取中位数。由统计方法可知,背景值和基准值一般为剔除极值后的统计值,它尽可能地减小了因人类活动而造成的偏差,能代表区内元素含量的平均水平。区内N、P、K₂O背景值和基准值统计结果见表1。

4.2 分布特征分析

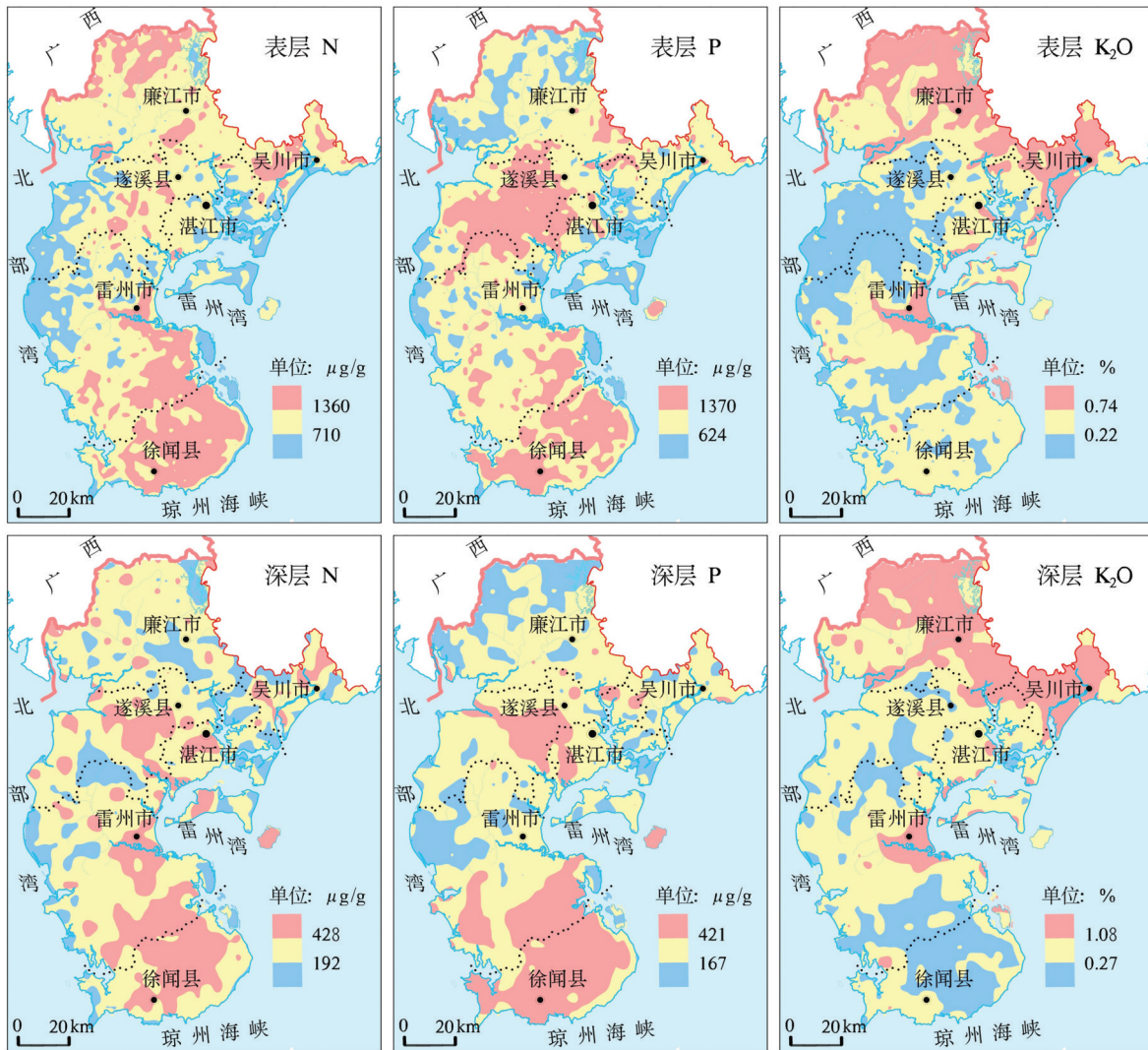
雷州半岛表层土壤N含量范围为54~3020 μg/g,背景值为1040 μg/g,是中国土壤平均含量的1.63倍(迟清华等,2007),变异系数在三个元素中最小,其值为0.44,与P和K₂O相比,N在全区分布相对均匀,高值区(样点含量累计频率75%以上,下同)主要分布在雷州市南部至徐闻县一带及廉江市的北部等地,低值区(样点含量累计频率25%以下,下同)主要分布在东西部沿海一带。P含量区间为70.2~3600 μg/g,背景值为936 μg/g,为中国土壤平均含量的1.80倍,变异系数在三个元素中居中,其值0.51,P含量在区内分布不均匀,高值区主要分布在徐闻县及遂溪县西南部。K₂O含量范围为0.04%~4.20%,背景值为0.29%,远低于中国土壤平均含量,变异系数在三个元素中最大,其值为0.68,与N和P相比,K₂O在区内分异特征明显,高值区主要分布在廉江市北部及九州江、鉴江及南渡河南部流域,低值区主要分布在研究区中部(图1)。

深层土壤N含量范围为34~1510 μg/g,基准值为274 μg/g,为表层土壤背景值的0.26倍,变异系数在三个元素中最小,其值为0.51,在全区分布不均

表1 N、P、K₂O地球化学参数
Table 1 Geochemical parameters of N, P and K₂O

参数	剔除前累频分段值				剔除后参数				背景值/ 基准值	中国 土壤	
	样本	25%	50%	75%	样本	平均值	变异系数	几何均值			
N	表层	3335	710	1040	1360	3329	1041	0.44	905	1040	640
	深层	872	192	284	428	848	307	0.51	266	274	
P	表层	3335	624	949	1370	3286	1006	0.51	858	936	520
	深层	872	167	244	421	797	279	0.55	243	226	
K ₂ O	表层	3335	0.22	0.33	0.74	2925	0.40	0.68	0.33	0.29	2.5
	深层	872	0.27	0.49	1.08	846	0.72	0.84	0.52	0.47	

注:N、P为μg/g,K₂O为%。

图1 雷州半岛N、P、K₂O含量25%、75%分级图Fig.1 Gradation diagram of N, P and K₂O content of 25% and 75% in Leizhou Peninsula

匀, 高值区主要分布在雷州市南部至徐闻县一带及遂溪县西南部等地, 低值区主要分布在东西部沿海一带; P含量区间为73.6~2378 μg/g, 基准值为226 μg/g, 为表层土壤背景值的0.24倍, 变异系数在三个元素中居中, 其值为0.55, P元素含量在区内分布不均匀, 高值区主要分布在雷州市南部至徐闻县一带及遂溪县岭北镇一带。K₂O含量范围为0.04%~4.44%, 基准值为0.47%, 为表层土壤背景值的1.62倍, 变异系数在三个元素中最大, 其值高达0.84, K₂O含量在区内分布极不均匀, 高值区主要分布在研究区北部廉江市至吴川市一带及南渡河南部流域, 低值区主要分布在遂溪县西南部及雷州市南部至徐闻县一带。

5 讨论

5.1 表、深层含量对比分析

由土壤背景值与基准值的对比可知, 表层土壤相对深层土壤富集N、P, 贫乏K₂O。表层与深层土壤元素含量比值 k (表/深)一定程度上能够反映表层土壤相对深层土壤富集或贫化变化情况。在此按照 k (表/深)≤0.6、0.6~0.8、0.8~1.2、1.2~1.4、≥1.4为标准, 将表层土壤元素贫化富集程度依次划分为强度贫化、中度贫化、相当、弱富集、中度富集和强度富集(表2)。研究区表层土壤中N、P均出现区域性富集(k (表/深)≥1.2), 富集面积分别占研究区总面积88.44%、84.89%。土壤中P在表层含量最高,

表2 表层与深层土壤含量对比(k表/深)特征值

Table2 Comparison characteristic value of soil content between surface layer and deep layer

元素	最小值	最大值	均值	中值	比例(k表/深)%				
					≥1.4	1.2~1.4	0.8~1.2	0.6~0.8	≤0.6
N	0.1	28.23	4.36	3.47	84.80	3.64	5.69	2.05	3.85
P	0.07	31.23	4.44	3.48	81.34	3.55	7.86	3.06	4.16
K ₂ O	0.02	36.86	1.54	0.75	29.83	3.46	14.19	10.61	41.97

随深度增加而减少,这与邱亚群等(2012)研究一致。K₂O出现区域性富集或贫化(k(表/深)≤0.8),富集面积占研究区总面积33.29%,主要分布在研究区北部;贫化面积占研究区总面积52.58%,分布在研究区中南部大部分区域。表层土壤N、P、K₂O富集在不同程度上受人类活动影响,N、P受人类活动影响强烈,尤其是一些人口密集的老城区,地下水中氮化合物的污染更为严重(刘景涛等,2011)。表层土壤K₂O贫化则主要是受到区内酸性土壤强烈淋溶作用的影响。

5.2 不同成土母质含量对比分析

由于地表环境受人为、自然等多种因素影响,不同母质的表层土壤元素含量分布特征既有一定规律,又复杂多变。风化作用使岩石破碎,理化性质改变,形成结构疏松的风化物。这些风化物逐步发育成土壤,故称风化物为成土母质。成土母质是土壤的初始状态。总体上不同岩石类型风化物发

育的土壤,其地球化学组份保留了部分原成土母质特有的元素含量特征。区内成土母质有第四系冲积物、沉积岩风化物、侵入岩风化物、火山岩风化物 and 变质岩风化物五大类,不同成土母质土壤背景值差异明显(表3)。

用不同成土母质土壤背景值与全区背景值比较,以判断其富集与贫化程度(图2a)。在此将富集系数按照≤0.8、0.8~1.2、≥1.2为标准,将不同母质土壤元素相对全区背景值依次划分为贫化、相当和富集。

N在不同成土母质土壤中含量差别不大,在第四系母质土壤中含量范围为54~2390 μg/g,背景值为770 μg/g,富集系数为0.74,略显贫乏,同时其变异系数达0.50,显示其分布不均匀的特点;在火山岩和侵入岩成土母质土壤中背景值分别为1350 μg/g和1251 μg/g,富集系数分别为1.20和1.30,略显富集;在沉积岩和变质岩成土母质土壤中含量和全区

表3 不同成土母质土壤N、P、K₂O地球化学参数Table 3 Geochemical parameters of N, P and K₂O in soils with different parent materials

参数	剔除前累频分段值				剔除后参数				背景值	
	样本	25%	50%	75%	样本	平均值	变异系数	几何均值		
N	第四系	1763	552	788	1070	1746	813	0.50	686	770
	沉积岩	103	878	1030	1240	103	1069	0.25	1037	1069
	变质岩	191	878	1150	1370	190	1170	0.31	1115	1119
	火山岩	908	1160	1350	1560	896	1349	0.26	1295	1350
	侵入岩	370	1020	1210	1480	370	1251	0.28	1199	1251
P	第四系	1763	516	790	1210	1727	864	0.56	713	780
	沉积岩	103	549	739	980	101	789	0.33	748	763
	变质岩	191	696	975	1174	185	958	0.35	897	924
	火山岩	908	1110	1370	1680	891	1398	0.32	1316	1360
	侵入岩	370	551	711.5	918	362	750	0.37	702	717
K ₂ O	第四系	1763	0.19	0.31	0.74	1467	0.35	0.68	0.28	0.26
	沉积岩	103	0.58	0.83	1.18	102	0.90	0.44	0.81	0.82
	变质岩	191	0.54	0.71	0.97	190	0.79	0.47	0.71	0.71
	火山岩	908	0.21	0.25	0.31	800	0.25	0.24	0.24	0.24
	侵入岩	370	0.51	0.83	1.27	356	0.91	0.57	0.76	0.81

注:K₂O为%,N、P为μg/g。

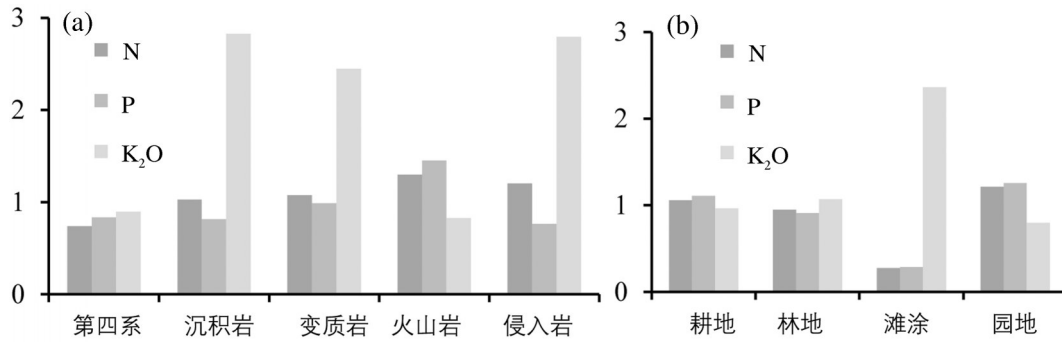


图2 雷州半岛表层土壤N、P、K₂O富集系数(K统计单元/全区背景值)对比图

Fig.2 Comparison chart of N, P and K₂O enrichment coefficient of surface soil in Leizhou Peninsula

背景值相当。N为典型的亲生物元素,在土壤中存在形态90%以上为有机态氮,大多数是腐殖质态氮,因此,土壤中N含量一般与生物活动强弱关系密切,一般自然土壤明显高于耕作土壤,第四系母质土壤作为主要的耕作土壤,其N含量往往低于其他成土母质。

P在不同成土母质土壤中含量差异明显,据张少若等(1987)研究表明,玄武岩砖红壤无机磷总量>变质岩(云母片岩)和砂页岩砖红壤>红色石灰土>花岗岩砖红壤,本次研究表明,雷州半岛P含量具有相同的特征。在火山岩母质土壤中含量范围为132~3600 μg/g,背景值为1360 μg/g,富集系数达1.45,相对全区土壤背景值富集明显;在侵入岩成土母质土壤中含量范围为216~2313 μg/g,背景值为717 μg/g,富集系数为0.77,略显贫乏;在其他三类母质土壤中含量和全区背景值相当。P在第四系母质土壤中变异系数达0.56,分布不均匀,在其他母质土壤中变异系数较小,含量分布相对均匀。区内的火山岩主要为玄武岩,P在玄武岩中的含量往往要高于花岗岩、碎屑岩和变质岩数倍,它们的风化物中含量也会继承原岩中元素含量特征,所以区内火山岩母质中P元素含量呈明显富集。

K₂O在不同成土母质土壤中含量差异显著,在沉积岩、变质岩和侵入岩母质土壤中的背景值分别为0.82%、0.71%和0.81%,富集系数分别高达2.83、2.45和2.79,富集表现尤为突出;在第四系和火山岩母质土壤中背景值分别为0.26%和0.24%,富集系数为0.90和0.83,含量和全区背景值相当。K₂O在第四系和侵入岩母质土壤中变异系数高达0.68和0.57,分布极不均匀,在其他母质土壤中含量分布相对均匀。K是大离子亲石元素,为不相容元素,在出

溶的岩浆中含量较高,随着酸性程度的增加,元素更为富集,因此在侵入岩中含量要比火山岩中高,其相应的成土母质含量也会随之较高。

5.3 不同土地利用类型含量对比分析

全区土地利用类型主要为耕地,林地次之,滩涂、园地面积较小。不同土地利用类型土壤背景值统计见表4。

不同植被类型土壤氮磷钾含量有差异,表土层差异明显(胡慧蓉等,2014)。土地利用方式不同对耕作层土壤的速效P分布具有直接影响,滩涂、林地等土壤中速效P含量明显低于其他农用地土壤(廖启林等,2006)。雷州半岛耕地、林地N、P、K₂O背景值与全区相比,富集系数在0.95~1.11,总体表现和全区背景值相当。园地N、P背景值分别为1038 μg/g和1178 μg/g,富集系数分别为1.22和1.26,相对全区背景值表现富集;K₂O富集系数为0.80,背景值略低于全区背景值。滩涂中富K₂O,贫N、P,K₂O背景值为0.69,富集系数高达2.36,富集显著;N、P背景值为288和272,富集系数分别为0.28和0.29,贫乏明显。从变异系数来看,N、P、K₂O在园地中总体较小,分布相对均匀;在耕地、林地变异系数较大,分异明显;在滩涂中的变异系数要远高于其类型土壤,分布极不均匀。滩涂长期受到海水侵蚀,N、P流失速度较快,贫乏严重,而土壤盐渍化则造成K₂O含量升高。

5.4 人为影响程度分析

土壤背景值的分异,除了受生物气候条件的影响外,在一定程度上也受成土母岩的制约,更加受土壤理化性质、栽培作物品种和栽培措施等方面的影响。N、P、K₂O在表层土壤中的分布受自然作用和人类活动的综合影响(许炼烽等,1996)。为准确

表4 雷州半岛不同土地利用类型土壤N、P、K₂O地球化学参数
Table 4 Geochemical parameters of N, P and K₂O in different land use types in Leizhou Peninsula

参数	剔除前		剔除后				背景值	
	样本	中位数	样本	平均值	变异系数	几何均值		
N	耕地	1828	1100	1824	1105	0.37	1021	1100
	林地	1028	988	1025	1014	0.45	898	988
	滩涂	257	293	253	407	0.83	284	288
	园地	254	1290	253	1264	0.29	1205	1264
P	耕地	1828	1048	1796	1120	0.47	997	1038
	林地	1028	859	1019	919	0.49	804	854
	滩涂	257	276	254	412	0.79	308	272
	园地	254	1200	251	1178	0.33	1101	1178
K ₂ O	耕地	1828	0.32	1545	0.36	0.63	0.30	0.28
	林地	1028	0.34	950	0.44	0.71	0.35	0.31
	滩涂	257	0.69	256	0.83	0.71	0.60	0.69
	园地	254	0.26	182	0.23	0.20	0.23	0.23

注:K₂O为%,N、P为μg/g。

评估人类活动对N、P、K₂O的影响程度,需要扣除土壤中自然因素的影响。本研究根据元素的地球化学行为,采用富集因子来判别表层土壤的中人为影响状况。富集因子是Zoller等(1974)首次提出,并被后续学者所发展,目前已作为反映人类活动对自然环境扰动程度的重要指标而广泛应用,计算公式为:

$$CEF = \left[\frac{(C_i/C_n)_{sample}}{(C_i/C_n)_{background}} \right]$$

式中: C_i为元素i的浓度; C_n为参考元素浓度。

富集因子结果是否科学合理,取决于参考元素和本底值的选择。参考元素首先应具有较强的抗风化能力,其质量分数不易受氧化还原条件影响,是一种比较稳定的元素;其次应主要来源于自然母质,缺少明显人为源;再次与分析元素的质量分数在自然作用过程中共消长,在进行回归分析时,参考元素与分析元素之间存在明显的相关性。本次研究选取的参考元素均为自然界稳定的难溶元素,且与分析元素有较好的相关性(表5)。本底值是指元素的自然质量分数,即元素在未受人为干扰的环境介质中的质量分数。本研究采用深部土壤质量

分数作为本底值。

一般认为当 CEF > 1 时,表明环境介质受到人为影响, CEF 值越大, 受到影响越大, 当 CEF < 1 时, 表明没有受到人为影响。本文根据 Sutherland (2000)等提出的富集因子划分等级进行评价(表6)。

根据 CEF 计算结果(表7), N、P 的 CEF 平均值高于 2, K₂O 的 CEF 平均值低于 2, 表明相对于深层土壤, 表层土壤 N、P 受到人为扰动相对严重, K₂O 受人为扰动较轻。N 未富集或轻微富集的点位所占比例为 10.64%, 在廉江市南部及雷州市北部有小片连片区域分布, 总体分布分散; 中度富集点位所占比例为 49.89%, 主要分布在中南部玄武岩出露区; 显著以上富集点位所占比例为 39.46%, 主要分布在北部侵入岩和沉积岩出露区。P 未富集或轻微富集的点位所占比例为 16.48%, 在全区分布分散; 中度富集点位所占比例为 50.66%, 分布情况与 N 相似, 主要分布在中南部玄武岩出露区; 显著以上富集点位所占比例 32.85%, 在研究区中北部不连续分布。K₂O 未富集或轻微富集的点位所占比例为 91.90%,

表5 本次研究选取的参考元素
Table 5 Reference elements selected for this study

分析元素	参考元素	相关系数
K ₂ O	Be	0.61
N	Al	0.73
P	Nb	0.56

表6 富集因子分级
Table 6 Classification Table of enrichment Factor

富集因子(CEF)	级别	富集程度
<2	1	无或轻微富集
2~5	2	中度富集
5~20	3	显著富集
20~40	4	高度富集
>40	5	极度富集

表7 表层土壤N、P、K₂O富集因子(CEF)特征值
Table 7 Characteristic Values of N, P and K₂O Enrichment Factor in Surface Soil

统计单元	元素	最小值	最大值	均值	中值	比例(CEF)%				
						≤1	1~2	2~5	5~20	>20
全区(3260)	N	0.24	37.52	5.23	4.19	2.26	8.38	49.89	38.51	0.95
	P	0.09	56.74	4.72	3.79	2.26	14.22	50.66	32.24	0.61
	K ₂ O	0.09	17.45	1.16	0.98	52.10	39.80	7.40	0.70	0.00
耕地(1792)	N	0.24	37.52	5.47	4.41	1.00	6.98	49.94	41.02	1.06
	P	0.33	56.74	5.07	3.96	1.62	13.23	48.94	35.27	0.95
	K ₂ O	0.21	5.45	1.10	0.98	51.84	41.52	6.47	0.17	0.00
林地(991)	N	0.45	25.06	5.29	4.40	1.31	7.47	48.74	42.08	0.40
	P	0.38	22.74	4.86	4.07	1.21	11.20	51.46	35.82	0.30
	K ₂ O	0.09	6.90	1.07	0.92	58.02	35.52	6.05	0.40	0.00
园地(232)	N	0.95	36.07	4.85	3.65	0.43	4.74	67.67	25.43	1.72
	P	1.19	14.92	3.89	3.28	0.00	11.21	68.53	20.26	0.00
	K ₂ O	0.35	5.39	1.33	1.22	32.33	57.76	9.05	0.86	0.00
滩涂(231)	N	0.31	29.44	3.71	2.41	16.88	26.41	34.63	20.35	1.73
	P	0.09	9.37	2.30	1.89	14.29	39.83	40.69	5.19	0.00
	K ₂ O	0.19	17.45	1.85	1.16	41.56	34.20	18.18	6.06	0.00

注:K₂O为%,N、P为μg/g;()内数字为样本数。

几乎覆盖整个研究区域,中度富集和显著以上富集点位所占比例分别为7.4%和0.7%,在研究区呈星点状分布。

对比不同土地利用类型N、P、K₂O富集因子(CEF)可知,耕地、林地、园地、滩涂N、P富集趋势较为相似,中等以上富集占比均在80%以上,其中园地占比最高,滩涂占比最低,林地和耕地相当。K₂O在耕地、林地、园地富集程度相似,无或轻微富集占比在均90%以上,而在滩涂占比为75.76%。据此可知,N、P在不同土地利用类型土壤中均受人为影响显著,而K₂O受人为扰动程度较轻。

5.5 不同历史时期含量对比分析

20世纪90年代初,前人在雷州半岛开展了以土壤为主要采样介质的1:20万地球化学调查工作,工作方法和本次研究基本一致,两期数据具有可比性,对于识别土壤元素时空变化程度具有重要意义。由于前人工作未分析N元素,此次仅对比两期P、K₂O含量变化。

从全区背景值来看,表层土壤P相对前期增幅较大,为前期调查的3.57倍,K₂O与前期相当(表8)。N缺乏两期比对数据,但据何春林相关研究表明(何春林,2002),雷州半岛砖红壤经过近30年垦殖(至2002年),土壤全氮下降30.0%~35.5%。

表8 不同历史时期土壤P、K₂O丰度比较
Table 8 Comparisons of P and K₂O abundances in different historical periods

统计单元	90年代初背景值		本次调查背景值		
	P	K ₂ O	P	K ₂ O	
全区	262	0.30	936	0.29	
地质单元	第四系	236	0.28	780	0.26
	沉积岩	211	0.67	763	0.82
	变质岩	227	0.63	924	0.71
	火山岩	637	0.26	1360	0.24
	侵入岩	213	1.05	717	0.81
土地利用类型	林地	206	0.34	854	0.31
	园地	501	0.25	1178	0.23
	耕地	289	0.30	1038	0.28
	滩涂	301	0.47	272	0.69

注:K₂O为%,P为μg/g。

两期数据空间点位含量对比发现,P有95.54%样点含量增加明显($K_{25\text{万表层}/20\text{万表层}} > 1.2$); K₂O有28.00%样点含量增加明显,主要分布在雷州市、遂溪县、廉江市南部、吴川市西部等地,有31.16%含量减少明显($K_{25\text{万表层}/20\text{万表层}} < 0.8$),主要分布在廉江市西北部、徐闻县东部沿海等地,有40.87%含量和前期相当,主要分布在雷州市南部至徐闻县一带(表9)。

与前期土壤数据相比,本次调查中不同母质土壤P含量均增加明显,变质岩母质土壤中增幅最为

表9 两期土壤P、K₂O含量对比(K_{25万表/20万表})特征值Table 9 Comparative characteristic values of P, K₂O contents in two phases of soil

元素	最小值	最大值	均值	中值	比例(K _{25万表/20万表})%				
					≥1.4	1.2~1.4	0.8~1.2	0.6~0.8	≤0.6
P	0.08	177.67	3.74	3.07	92.63	2.91	2.72	0.66	1.09
K ₂ O	0.07	19.55	1.07	0.95	17.66	10.34	40.87	18.53	12.63

表10 土壤必需大量、中量营养元素含量分级统计

Table 10 Classified statistical tables of the contents of essential and medium nutrient elements in soils

元素		丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏
N	面积	269.65	1711.52	4647.7	2408.12	3453.01
	比例	2.16	13.70	37.21	19.28	27.65
P	面积	5827.42	1741.48	1984.92	1625.39	1310.79
	比例	46.67	13.94	15.89	13.01	10.49
K	面积	33.71	164.79	558.02	808.95	10924.53
	比例	0.27	1.32	4.47	6.48	87.46

注:面积km²,比例%。

显著,为前期的4.07倍,火山岩母质土壤中增幅最小,为前期的2.14倍;K₂O在沉积岩、变质岩母质土壤中略有增加,在侵入岩母质土壤中略有减少,在第四系和火山岩母质土壤含量变化不大。

P在耕地、林地、园地的含量均增加明显,分别为前期的3.59、4.15、2.35倍,在滩涂中略有减少,为前期的0.90倍。K₂O在滩涂中增加明显,为前期的1.47倍,在耕地、林地和园地中略有减少。

6 土壤肥力特征分析

土壤养分作为土壤肥力的重要组成部分,其丰缺程度及其供应能力直接影响作物的生长发育和产量(崔彤涛等,2010)。N、P、K等养分元素的含量是土壤肥力的核心部分,通常被用来衡量土壤肥力质量的高低,因而也是土壤肥力综合评价的关键指标(钟来元等,2012)。参照土地质量地球化学评价分级标准,对研究区表层土壤氮磷钾进行丰缺评价,结果见表10和图3。

研究区氮整体含量一般,以中等、缺乏土壤为主。其中丰富土壤面积仅有269.65 km²,占研究区总面积的2.16%;较丰富土壤面积1711.52 km²,占总面积的13.70%,在廉江市北部、吴川市西部、徐闻县中东部等地分布;中等土壤分布面积为4647.70 km²,占总面积的37.21%,在研究区中北部、中南部广泛分布;较缺乏土壤面积2408.12 km²,占总面积

的19.28%;缺乏土壤面积3453.01 km²,占总面积的27.65%;缺乏与较缺乏土壤在研究区中西部、中东部连片集中分布。

研究区土壤磷较为丰富,丰富土壤面积5827.42 km²,占研究区总面积的46.67%,在研究区中部平原及南部台地区连片分布;较丰富土壤面积1741.48 km²,占研究区总面积的13.94%;中等土壤面积1984.92 km²,占研究区总面积的15.89%;较缺乏、缺乏土壤合计面积2936.18 km²,占研究区总面积的23.51%;中等、较缺乏、缺乏土壤分布基本一致,在研究区北部、东南部、中部两翼沿海地区等地连续分布。

研究区大部分土壤属于缺钾土壤,缺乏土壤面积达10924.53 km²,占研究区总面积的87.46%之多;较缺乏土壤面积808.95 km²,占比6.48%;中等土壤面积558.02 km²,占比4.47%,中等土壤集中分布在九州江、鉴江及南渡河下游冲积平原区;丰富、较丰富土壤合计面积仅有198.49 km²,仅占研究区总面积的1.59%,集中分布在廉江市北部及鉴江下游平原。上述评价结果显示,研究区土壤大量营养元素含量相对较缺乏,其中以钾最为缺乏,有87.46%的土壤为缺乏土壤;氮总体丰缺水平一般,以中等、缺乏为主;磷含量较为丰富,有46.67%为丰富土壤,较缺乏、缺乏土壤合计占比不足24%。

7 结论

(1)雷州半岛土壤中N、P、K₂O含量受地质背景制约。尽管表、深层元素含量差异较大,但在不同成土母质中却具有共消长的变化趋势,P在火山岩母质土壤中富集,在侵入岩母质中贫化;N在火山岩和侵入岩母质土壤中富集,在第四系母质土壤中贫化;K₂O在沉积岩、变质岩、侵入岩母质土壤中富集,在第四系、火山岩母质土壤中贫化,这表明它们受地质背景制约的特点。

(2)N、P受人类活动影响显著,K₂O受人为扰动

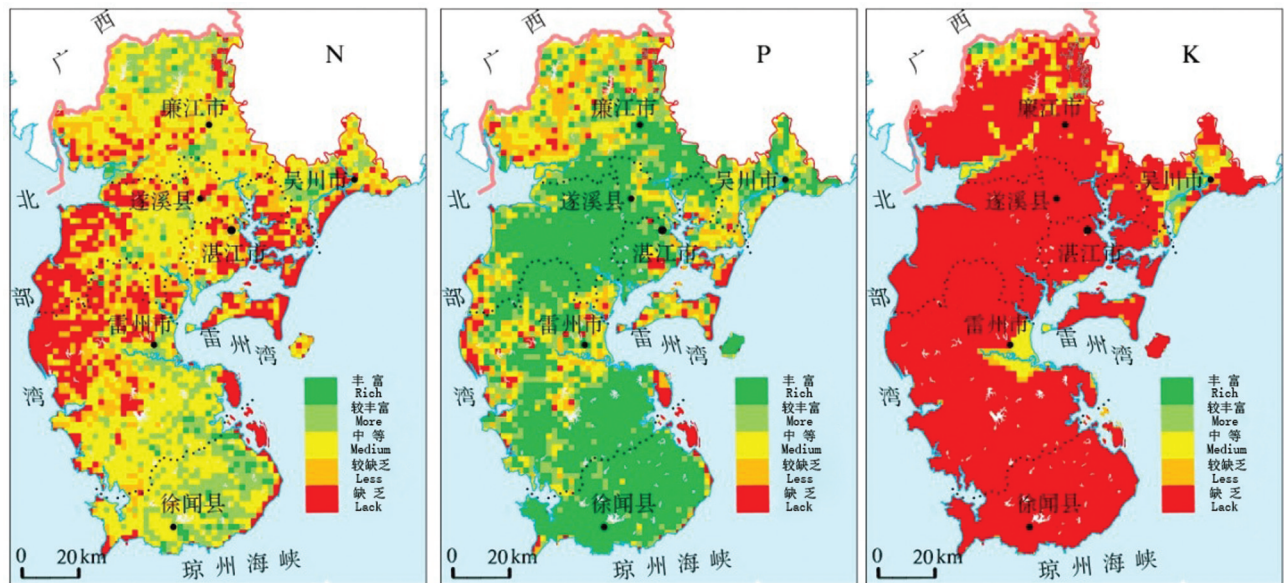


图3 雷州半岛N、P、K丰缺等级图
Fig.3 Grade map of N, P and K Area in Leizhou Peninsula

程度较轻。利用参比元素,计算剔除自然背景影响后受人类活动影响的富集因子(CEF),结果显示,N、P、K₂O中度以上富集点位所占比例分别为89.36%、83.52%、8.10%,表明表层土壤N、P、K₂O受到人为扰动程度差异明显。

(3)与20世纪90年代相比,表层土壤P含量增幅较大,背景值为前期调查的3.57倍;K₂O含量变化幅度相对较小,背景值为前期的0.97倍。

(4)土壤肥力评价表明,全区总体富磷,贫钾,局部缺氮。76.50%的土壤中磷属中等以上富集等级,93.94%的土壤中钾属较缺乏、缺乏等级,氮总体丰缺水平一般,以中等、缺乏土壤为主。

References

- Chi Qinghua, Yan Mingcai. 2007. Applied Geochemical Element Abundance Data Manual[M]. Beijing: Geological Publishing House, 82, 83(in Chinese).
- Cui Xingtao, Luan Wenlou, Shi Shaojian, Li Suimin, Song Zefeng, Ma Zhongshe. 2010. The evaluation of soil elements in topsoil of the sewage irrigation area in Shijiazhuang[J]. *Geology in China*, 37(6): 1753–1759(in Chinese with English abstract).
- He Chunlin. 2002. Problems and countermeasures of agricultural ecological environment in arid land of Leizhou Peninsula[J]. *Agro-Environment and Development*, 1:18(in Chinese).
- Hu Huirong, Hu Tingxing, Tan Jiulong. 2014. Effects of different vegetation types on soil nitrogen, phosphorus, potassium and carbon

in rain screen area of west China [J]. *Soils*, 46(4): 630–637 (in Chinese with English abstract).

- Jiang Dezhen, Teng Eenjiang, Liu Yanliang. 1996. The contribution of difference on the element background values in soils and the analysis of single factor on soil groups[J]. *Environmental Monitoring in China*, 12(2): 21–24(in Chinese with English abstract).
- Liu Jingtao, Sun Jichao, Lin Liangjun, Zhang Yuxi, Jing Jihong. 2011. A tentative discussion on nitrite, nitrate and ammonia(NNA) pollution of groundwater in typical urbanized areas of Guangzhou City[J]. *Geology in China*, 38(2): 489–494(in Chinese with English abstract).
- Liao Qilin, Jin Yang, Huang Shunsheng, Hua Ming, Wu Xinmin, Weng Zhihua, Zhu Baiwan, Feng Jinshun, Yan Chaoyang. 2006. Distribution characteristics of phosphorus in topsoil of Jiangsu[J]. *Geology in China*, 33(6): 1411–1417(in Chinese with English abstract).
- Qiu Yaqu, Gan Guojuan, Liu Wei, Liu Yan, Hou Hongbo, Li Yuyuan, Peng Peiqin. 2012. The study of distribution characteristics of phosphorus of typical soils in Hunan and its loss risk[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(8): 223–227(in Chinese with English abstract).
- Sutjerland R A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban, stream, Oahu, Hawaii[J]. *Environmental Earth Sciences*, 39(6): 611–627.
- Tao Chunjun, Jia Shijun, Chen Yongning, Chen Furong, Xing Runhua. 2013. A study on geochemical baseline value and environmental background value of soils in the Chuzhou area[J]. *Geology of Anhui*, 4: 286–291(in Chinese with English abstract).

- Wang Xueqiu, Zhou Jian, Xu Shanfa, Chi Qinghua, Nie Lanshi, Zhang Bimin, Yao Wensheng, Wang Wei, Liu Hanliang, Liu Dongsheng, Han Zhixuan, Liu Qingqing. 2016. China soil geochemical baselines networks: Data characteristics[J]. *Geology in China*, 43(5): 1469–1480(in Chinese with English abstract).
- Wang Qinghua, Dong Yanxiang, Zhou Guohua, Zheng Wen. 2007. Soil geochemical baseline and environmental background values of agricultural regions in Zhejiang Province[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 23(2): 81–88(in Chinese with English abstract).
- Xu Lianfeng, Liu Tenghui. 1996. The zonal differentiation of soil environmental background value and critical contents in Guangdong Province [J]. *J. South China Agr. Univ.*, 17(4): 58–62 (in Chinese with English abstract).
- Yao Tianquan, Zhang Shiyu, Zhao Hengkang, Dai Cong. 1999. The natural background values of twelve elements in soil in Xujiaba area, Ailao mountain[J]. *Journal of Mountain Science*, 17(3): 275–279(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shaoruo, Gan Dongquan, Zheng Haiwen, Yin Yaobang. 1987. Forms and properties of inorganic phosphorus in tropical soils on Hainan Island [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 8(1): 51–58 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Laiyuan, Guo Liangzhen. 2012. Comprehensive evaluation and analysis on spatial variation of agricultural soils fertility in the Southern Leizhou Peninsula[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 32(3): 76–81(in Chinese with English abstract).
- Zoller W H, Gladney E S, Duce R A. 1974. Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the South Pole[J]. *Science*, 183(4121): 198–200.
- 参考文献**
- 迟清华, 鄢明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 82–83.
- 崔邢涛, 梁文楼, 石少坚, 李随民, 宋泽峰, 马忠社. 2010. 石家庄污灌区土壤元素评价[J]. *中国地质*, 37(6): 1753–1759.
- 何春林. 2002. 雷州半岛旱地农业生态环境问题及对策[J]. *农业环境与发展*, 1: 18.
- 胡慧蓉, 胡庭兴, 谭九龙, 迟西文. 2014. 华西雨屏区不同植被类型对土壤氮磷钾及有机碳含量的影响[J]. *土壤*, 46(4): 630–637.
- 蒋德珍, 腾恩江. 1996. 刘延良. 土壤背景值数据差异的来源分析及土壤类型对背景值的影响[J]. *中国环境监测*, 12(2): 21–24.
- 刘景涛, 孙继朝, 林良俊, 张玉玺, 荆继红. 2011. 广州市地下水环境三氮污染初探[J]. *中国地质*, 38(2): 489–494.
- 廖启林, 金洋, 黄顺生, 华明, 吴新民, 翁志华, 朱伯万, 冯金顺, 颜朝阳. 2006. 江苏省耕作层土壤磷素分布特征初步研究[J]. *中国地质*, 33(6): 1411–1417.
- 邱亚群, 甘国娟, 刘伟, 刘妍, 侯洪波, 李裕元, 彭佩钦. 2012. 湖南典型土壤磷素剖面分布特征及其流失风险[J]. *中国农学通报*, 28(8): 223–227.
- 陶春军, 贾十军, 陈永宁, 陈富荣, 邢润华. 2013. 滁州地区土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. *安徽地质*, 4: 286–291.
- 王学求, 周建, 徐善法, 迟清华, 聂兰仕, 张必敏, 姚文生, 王玮, 刘汉粮, 刘东盛, 韩志轩, 柳青青. 2016. 全国地球化学基准网建立与土壤地球化学基准值特征[J]. *中国地质*, 43(5): 1469–1480.
- 汪庆华, 董岩翔, 周国华, 郑文. 2007. 浙江省土壤地球化学基准值与环境背景值[J]. *生态与农村环境学报*, 23(2): 81–88.
- 许炼烽, 刘腾辉. 1996. 广东土壤环境背景值和临界含量的地带性分异[J]. *华南农业大学学报*, 17(4): 58–62.
- 姚天全, 张世玉, 赵恒康, 戴聪. 1999. 哀牢山徐家坝地区土壤中12种元素的自然背景值[J]. *山地学报*, 17(3): 275–279.
- 张少若, 甘东泉, 郑海文, 尹耀邦. 1987. 海南岛热带土壤无机磷的形态和性质[J]. *热带作物学报*, 8(1): 51–58.
- 钟来元, 郭良珍. 2012. 雷州半岛南部土壤肥力综合评价及空间变异[J]. *广东海洋大学学报*, 32(3): 76–81.