

# 海南岛土壤磷吸持性及其在分类中的意义

赵文君 陈志诚 张甘霖 龚子同

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所) 南京 210008)

**摘要** 本文根据海南岛不同土壤类型的 65 个剖面 310 个土层的土壤磷(P)吸持性的测定结果, 讨论土壤 P 吸持性与土壤类型、母岩(母质)种类、及土壤黏粒、铁铝氧化物含量之间的关系, 并阐明土壤 P 吸持性在该地区土壤分类中的意义, 供为选用土壤分类指标参考。

**关键词** 土壤磷吸持性; 土壤类型; 母岩(母质)

**中图分类号** S155.1; S151

在土壤系统分类的高级分类中土壤 P 吸持性是鉴别火山灰诊断特性的重要指标之一。这里所说的土壤 P 吸持性在含义上有别于通常测定的土壤吸持性 P 含量, 它是指土壤从磷酸盐溶液中吸持磷酸根的性能, 其测定方法见下文中所述。土壤 P 吸持性不仅与土壤发生关系密切, 而且也是土壤对 P 吸持性能的直接量度。海南岛地区除少数受火山灰物质影响的土壤外, 有比较多的土壤, 如湿润铁铝土和湿润富铁土的“强育”土类等, 由于气候高温多雨, 矿物分解作用强烈, 经受高度富铁铝化作用, 致使其富含铁铝氧化物。这样的土壤发生特性有可能影响土壤对 P 的吸持性能。该地区土壤 P 吸持性在不同土壤种类之间的差异如何? 这种差异是否可能作为区分土壤类型的指标之一? 有关这方面的资料目前尚为少见。阐明这方面问题对选用我国热带地区土壤类型划分的诊断特性和农业生产特性指标具有一定参考意义。

## 1 材料和方法

供本研究所用的土壤样品全部是 90 年代采集的, 涉及海南岛 21 个市县地区, 包括不同地形母质上各种类型土壤, 共 65 个剖面, 310 个土层。

土壤 P 吸持性是指土壤对磷酸根的吸持性能。本文根据 Blakemore 等人的方法<sup>[1, 2]</sup>对海南岛土壤 P 吸持性作了测定。这种方法的原理是使供试的土样与磷酸盐溶液(pH 4.6)达到平衡, 然后测定平衡后溶液中磷酸盐含量, 以其相对减少量(%)表示土壤

P 吸持性。这种方法不仅以土壤发生学原理为基础, 而且简便直观, 可以通过绘制消光值对土壤 P 吸持性的相关曲线图, 从图中直接求得土壤 P 吸持性。

### 1.1 实验室测定方法

**1.1.1 土壤 P 吸持性** 称取 5g 风干细土样品(准确至 0.01g)置于一带塞的离心管或震荡瓶中, 加入 25 ml 0.01 mol P-吸持液, 在约 20 条件下震荡过夜(16 h), 离心(2000 转/分, 约 15 分钟), 然后吸取清液(标准液按同样方法)1ml 于试管或容量瓶中, 加 19ml 钒钼酸铵溶液摇匀, 30 分钟后(24 h 内)在比色仪上, 466 nm 波长, 测定其消光值。

**1.1.2 其他土壤理化性质测定方法<sup>[3]</sup>** 游离铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (g/kg) — 连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠浸提, 邻啡罗林比色法; 热碱浸提性铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (g/kg) — 铝试剂比色法; 黏粒含量(<2 $\mu\text{m}$ , g/kg) — 吸管法。

## 2 结果和讨论

根据 65 个剖面 0~20 cm 和 0~100cm 深度范围的土壤 P 吸持性加权平均值统计结果表明, 海南岛土壤 P 吸持性的差异很大, 这种差异受母岩(母质)种类的影响较大, 而同类母岩(母质)发育形成的土壤, 在不同土纲之间的差异也很明显。

### 2.1 土壤 P 吸持性的分布

根据 65 个土壤剖面测定结果统计表明, 海南岛表层(按 0~20cm 加权值统计, 下同)土壤 P 吸持性变化范围在 0~52.9 % 之间, 平均值为 18.1%。全土层

国家自然科学基金重点项目(40235054、49831004)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX3-SW-427)资助。

中国科学院南京土壤研究所中国土壤系统分类课题组. 中国土壤系统分类土壤物理和化学分析方法补充(内部资料), 1992

中国科学院南京土壤研究所中国土壤系统分类课题组. 土壤实验室分析项目及方法规范(中国土壤系统分类用)(内部资料), 1991

(按 0~100cm 加权值统计,下同)土壤 P 吸持性变化范围在 0~60.8% 之间,平均值为 21.4%。按两种深度统计结果最大值和最小值之间虽都相差数十倍,但其变异系数都<1(表层和全土层分别为 0.743 和 0.634)。然而将所统计样本按 P 吸持性不同等级分为 7 组,以各数组出现的频率为纵坐标绘制频率分布直方图(图 1),从图 1 可以看到,海南岛土壤 P 吸持性为一偏右近似正态分布,表层土壤 P 吸持性第一、第六和第七 3 个组分别仅占 3.0%、6.1%和

3.0%,而大多数在第二、第三 2 个组的范围内,其中第二和第三 2 个组分别占 31.8% 和 30.3%,第四和第五 2 个组分别占 16.7%和 9.1%。全土层 P 吸持性第一、第六和第七 3 个组仅分别占 1.5%、6.1%和 3.0%,大多数在第二至第五 4 个组的范围内,其中第三组占 31.8%,第二和第四 2 个组分别各占 19.7%、第五组占 18.2%。也就是说,表层和全土层土壤 P 吸持性 > 30% 的剖面分别占总剖面数的 18.2%和 27.3%; > 40% 的仅分别占总数的 9.1%。

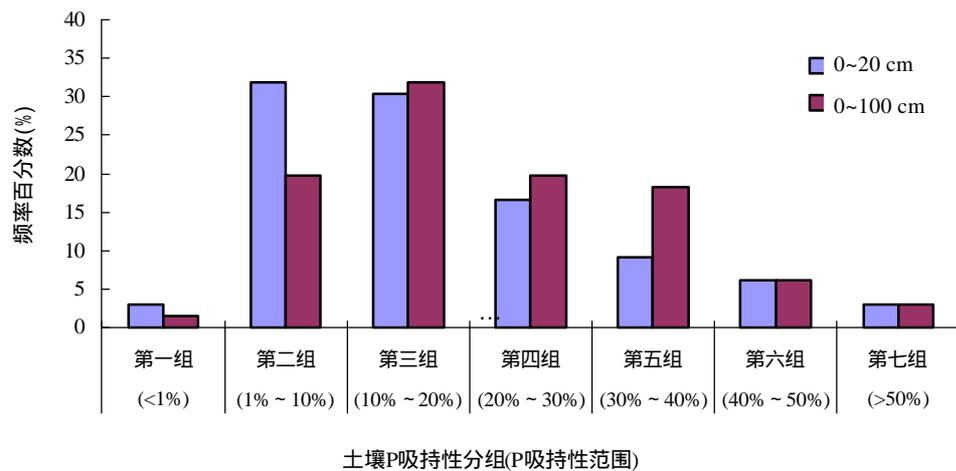


图 1 土壤 P 吸持性分布频率直方图

Fig. 1 Block diagram of distribution frequency of soil phosphate retention

## 2.2 土壤类型与土壤 P 吸持性

### 2.2.1 不同土纲的土壤 P 吸持性

所研究的 65 个土壤剖面据其具有的诊断层和/或诊断特性,并经检索分类,可分属于 7 个土纲。不同土纲具有不同的风化成土作用<sup>[4,5]</sup>,使其土壤 P 吸持性有着明显差异。如表 1 所示,具有高度富铁铝化作用的铁铝土,其表层 P 吸持性平均为 25.2% (按 0~20cm 加权值统计,下同)、全土层 P 吸持性平均为 32.7% (按 0~100cm 加权值统计,下同);具有中度富铁铝化作用的富铁土,其表层 P 吸持性平均为 17.3%、全土层 P 吸持性平均为 21.7%;无明显黏粒移动淀积作用,且弱度发育的雏形土,分别平均为 16.5% 和 17.1%;尚无土壤剖面发育的新成土更低,分别平均为 2.4% 和 4.5%;而具有人为水耕氧化还原淋溶淀积作用的水耕人为土,则分别平均为 7.2% 和 5.2%;经受强度潜育作用的潜育土,其表层 P 吸持性和全土层 P 吸持性更分别低至 3.6% 和 2.5%。表 1 中列出的新成土、潜育土、人为土(水耕) 3 个土纲,虽然剖面数较少,但它们土壤 P 吸持性平均值与其风化成土作用是相对应的;至于有明显黏粒移动淀

积和弱度富铁铝化作用的淋溶土,其表层和全土层土壤 P 吸持性平均值却分别高达 27.7% 和 30.4%,这种情况除了该土纲所统计的剖面数少,更主要是受玄武岩风化物母质的影响所致(见下段叙述)。各个土纲土壤 P 吸持性平均值的大小排列顺序为:铁铝土、淋溶土 > 富铁土 > 雏形土 > 人为土(水耕) > 潜育土 > 新成土。

### 2.2.2 同一土纲的土壤 P 吸持性变化

值得说明的,同一土纲的土壤 P 吸持性变化很大,见表 2 中所示。铁铝土、富铁土和雏形土纲的表层土壤 P 吸持性变化范围分别为:3.0%~52.9%、2.6%~38.2% 和 0.44%~50.5%;全土层的分别为:7.7%~60.9%、1.3~34.5% 和 2.6~46.5%。这种情况可能是因为同一土纲的土壤由于次要成土作用及母质物质组成不同,而使其在黏粒、游离 Fe 及热碱浸提性 Al 含量方面存有不同程度差异所致。例如,铁铝土纲中即使是同一个土类,其土壤 P 吸持性也有很大的变化(表 2),其他的土纲,如富铁土纲、雏形土纲,也同样有类似情况。

表 1 不同土纲的土壤 P 吸持性

Table 1 Phosphate retention of soils of different soil orders

土纲	铁铝土	富铁土	淋溶土	雏形土	新成土	潜育土	人为土(水耕)
剖面数	13	17	4	25	3	1	2
平均值(%)	25.2	17.3	27.7	16.5	2.4	3.6	7.2
	32.7	21.7	30.4	17.1	4.5	2.5	5.2
范围(%)	3.02~52.9	2.6~38.2	8.9~48.5	0.44~50.5	0~6.3		5.1~9.2
	7.7~60.9	1.3~34.5	12.9~47.0	2.6~46.5	0.31~8.9		1.6~8.8
标准偏差	14.4	8.8	17.4	14.1	4.0		2.9
	15.8	9.0	15.1	11.4	4.3		5.1
变异系数	0.571	0.511	0.628	0.854	1.653		0.406
	0.484	0.412	0.495	0.668	0.948		0.975

注：表中上行数据表示按 0~20cm 土层加权值统计结果，下行数据表示按 0~100cm 土层加权值统计结果。

表 2 铁铝土纲中不同土壤类型的土壤 P 吸持性及有关的土壤特性

Table 2 Phosphate retention and some properties of different soils under Ferraliosols

剖面号	土壤类型	母岩(母质)	深度(cm)	P 吸持性(%)	黏粒(g/kg)	游离 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	热碱浸提性 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)
H18	普通暗红	玄武岩	0~20	40.8	621	111.8	104.7
	湿润铁铝土	风化物	0~100	53.0	680	117.9	124.8
HE12	普通暗红	玄武岩	0~20	22.2	465	97.8	45.3
	湿润铁铝土	风化物	0~100	31.2	495	106.9	51.7
HW2	腐殖暗红	玄武岩	0~20	33.2	394	130.3	--
	湿润铁铝土	风化物	0~100	37.1	526	167.6	--
HE11	腐殖黄色	玄武岩	0~20	37.4	572	134.2	--
	湿润铁铝土	风化物	0~100	46.2	614	144.1	--
H15	普通筒育	玄武岩	0~20	52.9	609	144.0	107.7
	湿润铁铝土	风化物	0~100	60.9	628	158.9	103.0
HE10	盐基筒育	玄武岩	0~20	36.2	463	125.1	--
	湿润铁铝土	风化物	0~100	48.1	600	151.3	--
HE8	腐殖筒育	花岗岩	0~20	31.6	444	90.0	40.0
	湿润铁铝土	风化物	0~100	32.8	425	84.3	44.6
HM3	普通筒育	花岗岩	0~20	25.6	350	83.5	43.9
	湿润铁铝土	风化物	0~100	27.7	355	96.4	43.9
HW1	普通筒育	变质岩	0~20	15.6	382	57.5	29.2
	湿润铁铝土	风化物	0~100	22.4	408	65.3	39.1
H17	斑纹筒育	变质岩	0~20	13.6	194	12.3	20.6
	湿润铁铝土	风化物	0~100	14.8	259	17.8	30.1
HE6	普通筒育	浅海	0~20	12.1	156	16.2	7.8
	湿润铁铝土	沉积物	0~100	17.6	313	32.9	16.8
H14	普通筒育	浅海	0~20	9.4	178	35.4	19.1
	湿润铁铝土	沉积物	0~100	24.8	345	69.7	36.2
HW6	普通筒育	浅海	0~20	3.0	110	13.2	4.7
	湿润铁铝土	沉积物	0~100	7.7	180	2.0	10.0

### 2.3 不同母岩(母质)的土壤 P 吸持性

母岩风化物或母质是组成土壤物质的基础，母岩或母质种类，及其风化和淋溶作用强弱，对形成的土壤性质有直接影响，进而影响到土壤对 P 吸持的性能。对 8 种主要母岩或母质类型分别进行统计(表 3)，结果表明，不同母岩或母质发育的土壤，其

表层 P 吸持性以玄武岩风化物最高，平均为 36.8%，变幅为 22.2%~52.9%；其次是花岗岩风化物形成的土壤，平均为 20.2%，变幅为 2.2%~50.5%。由冲积物和浅海沉积物母质形成的土壤，其 P 吸持性均较小，其中冲积物平均为 4.9%，变幅为 1.8%~9.2%；浅海沉积物更小，平均为 4.6%，变幅为 -1.7%~12.1%。其

余各类母岩(包括一些中性火成岩、变质岩及沉积岩)风化物形成的土壤,其 P 吸持性平均值均分别<15%,尤其是沉积岩风化物尚不到 10%。全土层 P 吸持性也以玄武岩风化物最高,平均为 43.2%,变幅为 31.9%~60.9%;花岗岩风化物其次,平均为 22.3%,变幅为 3.0%~38.6%;冲积物最低,平均为 3.9%,变

幅为 1.6%~8.8%。各类母岩(母质)形成的表层土壤 P 吸持性平均值大小顺序为:玄武岩>花岗岩>安山岩 变质岩>砂页岩 石灰岩>冲积物 浅海沉积物;全土层为:玄武岩>花岗岩 安山岩>变质岩 石灰岩 砂页岩>浅海沉积物>冲积物。排列顺序表明表层和全土层 P 吸持性依母岩(母质)递变的趋势相似。

表 3 不同母岩(母质)的土壤 P 吸持性

Table 3 Phosphate retention of soils derived from different parent rocks (parent materials)

母岩(母质)	玄武岩	安山岩	花岗岩	变质岩	砂页岩	石灰岩	浅海沉积物	冲积物
剖面数	11	2	25	7	7	2	7	4
平均值(%)	36.8	14.5	20.2	13.4	9.7	9.3	4.6	4.9
	43.2	19.5	22.3	15.0	12.7	14.5	9.7	3.9
范围(%)	22.2~52.9	9.9~19.0	2.2~50.5	2.6~19.6	6.0~18.1	7.6~11.0	-1.7~12.1	1.8~9.2
	31.9~60.9	15.0~23.9	3.0~38.6	1.3~23.3	6.4~21.4	11.2~17.8	0.31~24.8	1.6~8.8
标准偏差	10.0	6.5	11.9	5.6	4.9	2.4	4.9	3.2
	9.3	6.3	9.2	8.0	5.2	4.7	8.6	3.3
变异系数	0.272	0.446	0.588	0.422	0.508	0.255	1.070	0.640
	0.251	0.324	0.414	0.534	0.413	0.322	0.879	0.849

注:表中上行数据表示按 0~20cm 土层加权值统计结果,下行数据表示按 0~100cm 土层加权值统计结果。

从玄武岩和花岗岩两种主要母岩统计的结果来看,玄武岩风化物形成的土壤 P 吸持性最小和最大值的差异比较小,而花岗岩风化物形成的土壤 P 吸持最小和最大值之间相差近 20 多倍。这可能是因为海南岛玄武岩主要分布于北部和东北部低丘台地相对稳定的地形;而花岗岩在东部湿润地区和西部较干润的地区都有存在,其分布的地形包括从海拔几十米的台地丘陵至一千多米的山地,跨度很大。相应地,由母质运积分异作用和风化成土作用产生的土壤特性的变异性,后者远比前者明显,致使 P 吸持性变化范围,后者显著地大于前者。

2.4 土壤 P 吸持性与黏粒、铁铝氧化物含量的相互关系

统计结果表明,所研究的 65 个剖面各个土层的土壤 P 吸持性分别与黏粒、游离 Fe、热碱浸提性 Al 含量有良好的相关性。如图 2、3、4 所示,土壤

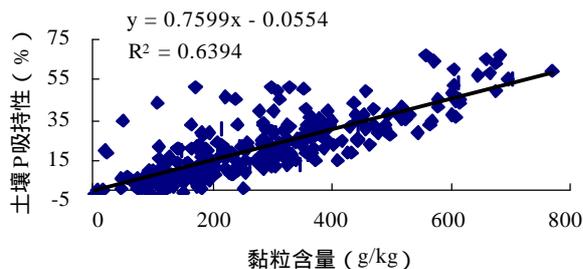


图 2 土壤 P 吸持性与黏粒含量的相互关系  
Fig. 2 Relationships between phosphate retention and clay content in soils

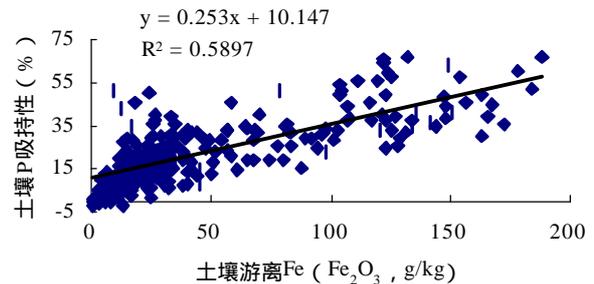


图 3 土壤 P 吸持性与游离 Fe 含量的相互关系  
Fig. 3 Relationships between phosphate retention and free iron content in soils

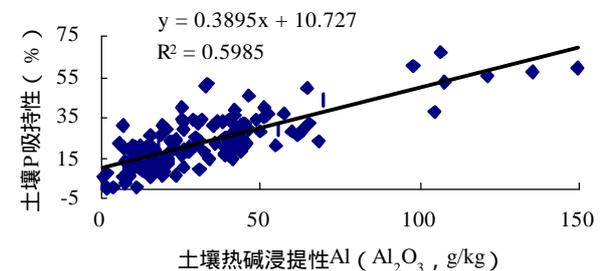


图 4 土壤 P 吸持性与热碱浸提性 Al 含量的相互关系  
Fig. 4 Relationships between phosphate retention and content of heated 0.5 mol NaOH extractable aluminium in soils

P 吸持性有随着黏粒、游离 Fe、热碱浸提性 Al 含量增加而增大的趋势。其相关性大小排序:黏粒>热碱浸提性 Al>游离 Fe, 相关系数(R<sup>2</sup>)分别为 0.6394, 0.5985, 0.5897。这种情况进一步说明,不同土纲的

土壤或不同母岩(母质)形成的土壤,其 P 吸持性的差异主要是受黏粒、游离 Fe、热碱浸提性 Al 含量共同影响的专性和非专性作用所制约<sup>[6]</sup>。

## 2.5 土壤 P 吸持性在土壤分类中的意义

从上述 65 个剖面 0~20 cm 和 0~100cm 深度范围的土壤 P 吸持性加权平均值统计分析表明,海南岛土壤 P 吸持性的差异很大,这种差异是受成土作用和母质种类共同影响所致。所研究的各个土层的土壤 P 吸持性与受成土作用和母质种类制约的黏粒及铁铝氧化物含量有良好相关性。不同土纲之间土壤 P 吸持性平均值差异明显,但同一土纲、甚至同一个土类或亚类的 P 吸持性因母岩(母质)种类不同而存在着较大变化;因此,在土壤高级分类中很难把它单独直接作为区别土壤类型的指标。现行的土壤系统分类中,仅把它与其他土壤特性相组合构成诊断特性—火山灰特性,用以鉴别火山灰土纲<sup>[7~12]</sup>。就所研究的 65 个土壤剖面看, P 吸持性均<85%,部分土壤剖面的 P 吸持性虽>25%,但其他条件不符合火山灰特性要求,因此,皆不能归属火山灰土纲。

但对于某一个具体土壤或某一个聚合土体来说,制约土壤 P 吸持性的土壤特性,如黏粒、游离 Fe 及热碱浸提性 Al 含量,都是比较相对稳定的,虽然,表层土壤 P 吸持性易受人为施肥影响,但土表下 100cm 内各土层 P 吸持性的加权平均值则趋向于相对稳定。所以,若在土壤低级分类中把它与其他土壤特性相组合,作为区分土壤低级分类类型(如土族或土系)的指标,例如,对属于同一亚类的土壤根据土壤质地、矿物组成、土壤温度状况等特性,并结合土壤 P 吸持性差异区分土族或土系则是有可能的,且这样更可加强土壤分类在农业生产上的实用性,特别是在热带、亚热带地区更为如此。

## 参考文献

- 1 Blakemore LC. An alternative field office method for phosphate retention. *New Zealand Journal of science*, 1984, 27: 409~411
- 2 Van Reeuwijk LP. *Procedures for soil analysis*. 3rd ed. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen—The Netherlands, 1992
- 3 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- 4 赵文君, 陈志诚. 海南岛主要土壤的类型鉴别与检索. 见: 中国土壤系统分类研究丛书编委会编. 中国土壤系统分类进展. 北京: 科学出版社, 1993, 91~104
- 5 陈志诚, 赵文君, 龚子同. 海南岛土壤发生分类类型在系统分类中的归属. *土壤学报*, 2003, 40 (2): 170~177
- 6 李学垣. 离子吸附与交换. 见: 于天仁, 陈志诚主编. 土壤发生中的化学过程. 北京: 科学出版社, 1990, 159~188
- 7 龚子同等著. 中国土壤系统分类—理论·方法·实践. 北京: 科学出版社, 1999
- 8 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 第 3 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- 9 Soil Survey Staff, *Soil Taxonomy*. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Soil Conservation Service, U.S. Dept. Agric., Agriculture Handbook No. 436. U.S. Govt. Pr. Off., Washington DC, U.S.A., 1999, 80~81
- 10 Gong Zitong, Chen Zhicheng, Zhao Wenjun, Shi Hua. Classification of ferrallitic soils in Chinese Soil Taxonomy. *Pedosphere*, 2000, 10 (2): 125~133
- 11 龚子同, 陈志诚, 张甘霖. 世界土壤资源参比基础 (WRB): 建立和发展. *土壤*, 2003, 35 (4): 271~278
- 12 黄政恒, 陈尊贤, 王明果. 大屯山东北侧火山灰土壤的性质与黏土矿物. *中国农业化学杂志*, 1993, 31 (3): 325~339

## PHOSPHATE RETENTION OF SOILS AND ITS SIGNIFICANCE FOR SOIL CLASSIFICATION IN HAINAN ISLAND OF CHINA

ZHAO Wen-jun CHEN Zhi-cheng ZHANG Gan-lin GONG Zi-tong

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008)

**Abstract** In this paper, results and statistical data of the measurement of phosphate retention of soils in Hainan Island are showed. And variations of soil phosphate retention with types and parent rocks (or parent materials) of the soils, and some soil properties are discussed in an attempt to find some reference indices for classifying soils in the lower soil categories in the tropical region of China.

**Key words** Phosphate retention of soils, Soil types, Parent rocks (Parent materials)