

不同母质发育红壤酸性特征及影响因素

龙泽东¹, 孙梅¹, 曾希柏², 黄晶³, 唐海明¹, 石丽红¹, 罗尊长¹, 孙耿^{1*}

(1. 湖南省土壤肥料研究所, 湖南长沙 410125; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 / 农业农村部农业环境重点实验室, 北京 100081; 3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 / 耕地培育技术国家工程实验室, 北京 100081)

摘要: 采集了花岗岩风化物和第四纪红土发育的耕地土壤, 比较强酸性 ($\text{pH} < 5.0$) 和酸性 ($5.0 \leq \text{pH} < 6.5$) 条件下土壤相关理化指标的差异, 并应用相关性分析和冗余分析, 探究两种红壤酸性特征差异和影响因素。结果表明, pH 低于 5.0 的土壤中, 两种红壤 pH 分别为 4.85 ± 0.11 和 4.60 ± 0.43 , 二者差异不显著, 但第四纪红土红壤交换性酸、阳离子交换量、游离氧化铁显著高于花岗岩风化物红壤, 有机质、交换性 Mg^{2+} 、盐基饱和度则相反; pH 5.0 ~ 6.5 的土壤中, 两种红壤的 pH 分别为 5.37 ± 0.33 和 5.48 ± 0.48 , 第四纪红土红壤的游离氧化铁含量显著高于花岗岩风化物红壤。两种红壤的 pH 与盐基离子总量、交换性 Ca^{2+} 、交换性 Mg^{2+} 、盐基饱和度呈显著正相关, 而与交换性酸总量、交换性 H^+ 、交换性 Al^{3+} 呈显著负相关。

关键词: 花岗岩风化物; 第四纪红土; 红壤; 酸化

红壤是中国热带和亚热带地区的一种重要资源, 总面积 218.96 万 km^2 , 但仅 28 万 km^2 可被耕种^[1-2], 且因酸化问题严重制约了耕作红壤生产力和作物产量^[3-4]。在红壤酸化中, 成土母质通过影响其理化性质、酸性强弱、酸中和能力等, 进而影响酸化进程^[5-8]。研究不同母质红壤的酸性特征, 分析其酸化影响因素, 为红壤酸化防控措施提供理论依据, 将有助于提高红壤耕地质量和作物产量。赵凯丽等^[9]对不同母质土壤 pH 的剖面特征及影响因素的研究表明, 第四纪红土、红砂岩、板页岩、花岗岩发育的酸性红壤中阳离子交换量 (CEC) 是影响表层酸化的主要因素。何腾兵等^[10]发现, 土壤 pH 对母岩有较大继承性, 红色黏土、砂岩、页岩发育的土壤通常为酸性或强酸性。刘莉等^[11]通过研究酸性紫色土的理化性质和酸缓冲容量发现, 酸缓冲容量与交换性盐基总量和 (CEC) 间均呈极显著的正相关性。关于红壤酸碱缓冲能力的研究发现, 不同母质红壤的酸碱缓冲能力、酸害容量存在差异, 顺序为板岩红壤 > 石灰岩红壤 > 花岗岩红壤 >

砂岩红壤 > 第四纪红土红壤^[12-13]。综上所述, 不同母质的红壤理化性质存在差异, 在自然和人为因素影响下酸化进程和特征也存在差异, 但目前关于花岗岩风化物和第四纪红土母质发育的红壤在不同酸度下酸性特征差异和影响因素研究较少。本研究采集湖南分布较为广泛的花岗岩风化物和第四纪红土发育的耕地红壤, 分析不同酸度下两种母质红壤的化学指标, 结合相关性分析和冗余分析, 揭示不同母质红壤酸性特征差异, 明确土壤有机质 (SOM)、交换性盐基离子等化学指标对红壤酸化的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

湖南位于亚热带中部, 典型的地带性土壤是红壤, 占全省总面积的 51%。全省地形变化大, 成土母质多样, 花岗岩风化物和第四纪红土母质是红壤发育的主要母质^[14], 且土壤酸缓冲能力小, 易发生酸化现象。本研究于 2021 年 10 月至 2022 年 4 月采集湖南省祁阳市、祁东市、浏阳市、华容县等地花岗岩风化物和第四纪红土母质发育的耕作土壤, 采用“S”形多点取样法, 采集 0 ~ 20 cm 土层土壤样品, 共 56 份。土壤样品在去除有机残体和碎石后置于阴凉处自然风干, 备用。

1.2 研究方法和数据处理

土壤样品的化学指标测定方法主要参考

收稿日期: 2023-06-21; 录用日期: 2023-09-02

基金项目: 区域创新发展联合基金 (U19A2048); 湖南农业科技创新基金项目 (2022CX78, 2021CX36)。

作者简介: 龙泽东 (1992-), 博士研究生, 助理研究员, 从事土壤改良研究。E-mail: longzd313@hunaas.cn。

通讯作者: 孙耿, E-mail: sungeng@hunaas.cn。

文献[15]。土壤pH用pH计测定,水土比为2.5:1。CEC使用BaCl₂-MgSO₄法测定,土壤铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)含量通过K₂SO₄溶液浸提,采用流动分析仪测定,SOM采用重铬酸钾容量法—外加热法测定。交换性酸(TA_{EX})和交换性H⁺(H_{EX})采用KCl淋溶中和滴定法测定,土壤交换性盐基离子(K_{EX}、Na_{EX}、Ca_{EX}、Mg_{EX})采用乙酸铵浸提原子吸收法测定,游离氧化铁(FIO)通过二亚硫酸钠-柠檬酸钠-碳酸氢钠浸提法提取测定。

有效阳离子交换量(ECEC)=交换性盐基离子总量(BA)+TA_{EX}

交换性Al³⁺(Al_{EX})=TA_{EX}-H_{EX}

盐基饱和度(BS)=BA/ECEC×100%

本试验数据使用R软件进行数据分析,不同处理之间的显著差异性分析通过单因素方差分析完成(one-way ANOVA),相关性分析通过Pearson方法完成,所有绘图均通过R软件和Origin 2020完成。

根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T

0295—2016)进行土壤酸碱度分级评价,pH<5.0为强酸性土壤,5.0≤pH<6.5为酸性土壤。本研究强酸性土壤样品16份,花岗岩和第四纪红土红壤各8份,酸性土壤样品40份,花岗岩和第四纪红土红壤各20份。

2 结果与分析

2.1 土壤酸性特征差异

由图1可知,花岗岩风化物与第四纪红土的强酸性土壤pH分别为4.85±0.11和4.60±0.43,无显著差异(P>0.05),酸性土壤pH分别为5.37±0.33和5.48±0.48,同样无显著差异(P>0.05)。强酸性条件下,花岗岩风化物红壤的H_{EX}、Al_{EX}和TA_{EX}[分别为(0.17±0.05)、(0.82±0.33)和(0.99±0.34)cmol·kg⁻¹]显著低于第四纪红土红壤[分别为(0.35±0.17)、(1.61±0.63)和(1.96±0.79)cmol·kg⁻¹]。但在酸性条件下,两种红壤的pH、H_{EX}、Al_{EX}和TA_{EX}均无显著差异(P>0.05)。

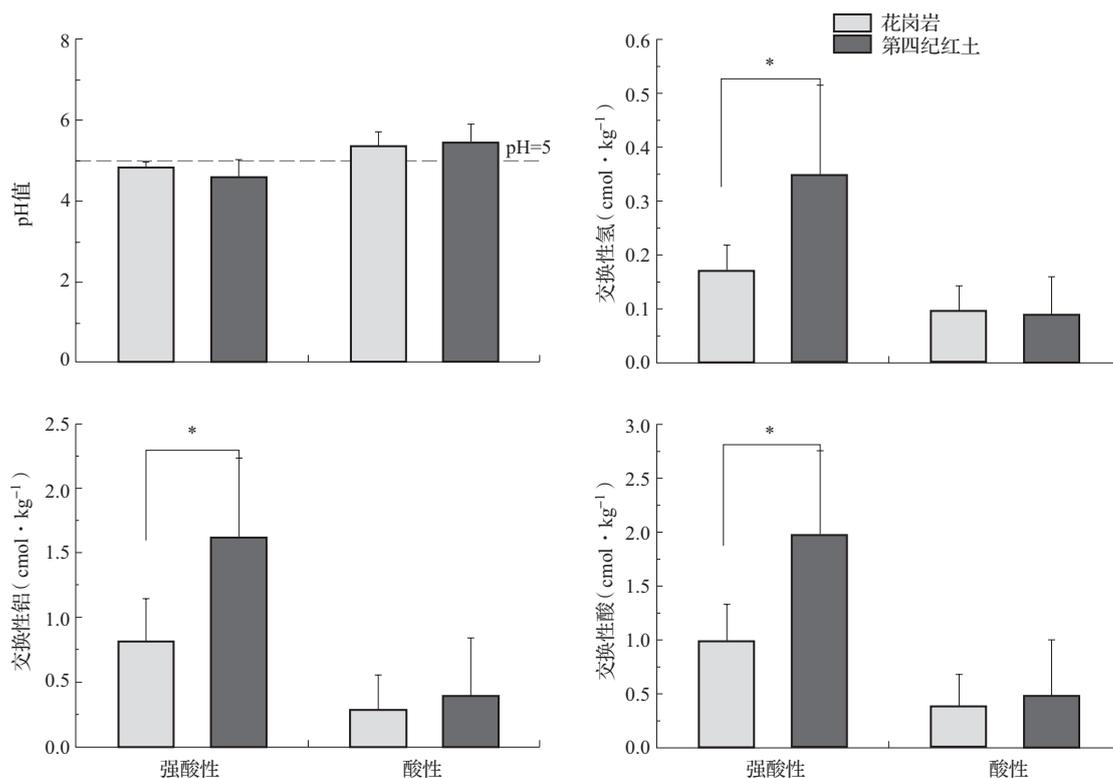


图1 不同红壤pH、交换性酸含量

注:*表示不同红壤间存在显著差异(P<0.05)。下同。

2.2 土壤化学指标差异

土壤中NH₄⁺-N被植物和微生物吸收利用转变成有机氮,或在硝化细菌的作用下生成NO₃⁻-N,或

以NH₃的形式挥发损失,均会释放H⁺,从而酸化土壤;而NO₃⁻-N易与盐基离子淋溶损失,增加土壤质子负荷,从而引起土壤酸化^[16]。不同红壤的

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量如图 2 所示, 不同酸度条件下两种红壤均无显著差异。花岗岩风化物强酸性红壤的 SOM 含量为 $(27.39 \pm 9.06) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著高于第四纪红土红壤 $[(18.60 \pm 6.93) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}, P < 0.05]$,

而两种红壤酸性土壤 SOM 则无显著差异。

如图 3 所示, 花岗岩风化物红壤的强酸性和酸性土壤 CEC 含量分别为 (9.31 ± 1.75) 和 $(9.93 \pm 1.73) \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均显著低于第四纪红土红壤, 分别为

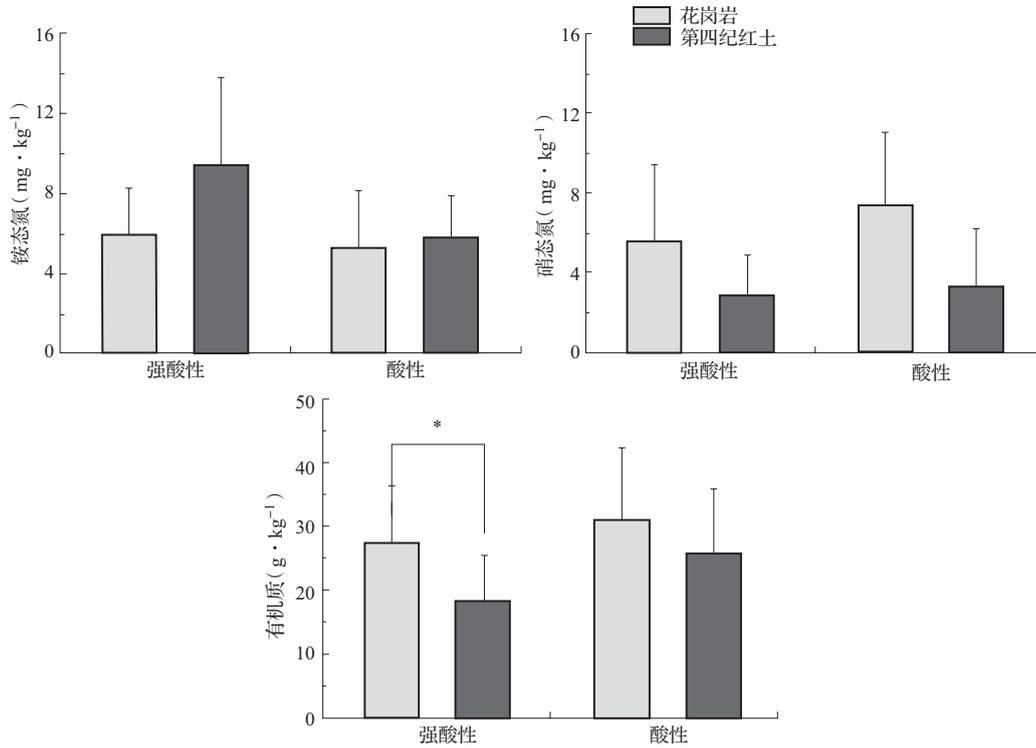


图 2 不同红壤铵态氮、硝态氮、有机质含量

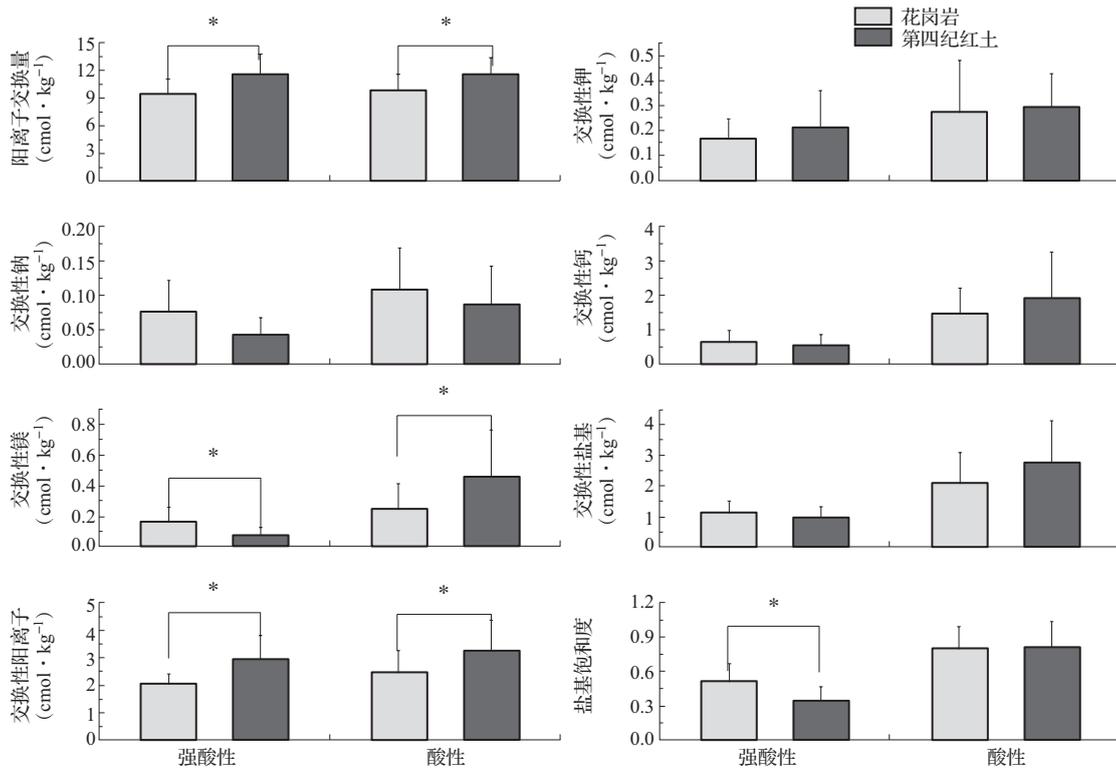


图 3 不同红壤阳离子交换量、交换性盐基离子含量

(11.54 ± 2.20) 和 (11.71 ± 1.72) $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$)。两种红壤的强酸性和酸性土壤在交换性 K_{EX} 、 Na_{EX} 、 Ca_{EX} 和 BA 含量无显著差异。花岗岩风化物红壤的强酸性土壤 Mg_{EX} 含量为 (0.17 ± 0.09) $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，显著高于第四纪红土红壤 [(0.08 ± 0.05) $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, $P < 0.05$]，酸性土壤 Mg_{EX} 含量相反，花岗岩风化物和第四纪红土红壤分别为 (0.26 ± 0.16) 和 (0.47 ± 0.30) $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$)。两种红壤酸性土壤的 BS 无显著差异，花岗岩风化物红壤的强酸性土壤 BS 为 (52.5 ± 14.6) %，显著高于第四纪红土红壤 [(35.0 ± 12.4) %]。

如图4所示，花岗岩风化物红壤的强酸性和酸性土壤 FIO 含量分别为 (17.10 ± 11.79) 和

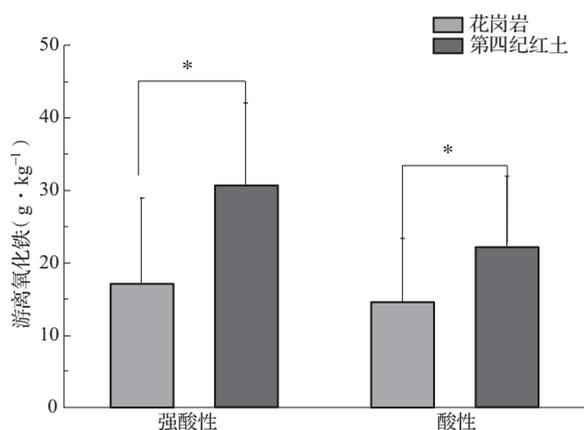


图4 不同母质土壤游离氧化铁含量

(14.59 ± 8.73) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，均显著低于第四纪红土红壤 [(30.68 ± 11.25) 和 (22.06 ± 9.76) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]。

2.3 土壤化学指标间的相关性分析

花岗岩风化物和第四纪红土母质土壤酸性特征与相关理化因子之间的相关性如图5所示，花岗岩风化物母质土壤 pH 与 K_{EX} 、 Ca_{EX} 、 Mg_{EX} 、BA、BS 和 ECEC 呈显著正相关，与 H_{EX} 、 Al_{EX} 和 TA_{EX} 呈显著负相关。第四纪红土母质土壤 pH 与 Ca_{EX} 、 Mg_{EX} 、BA 和 BS 呈显著正相关，与 H_{EX} 、 Al_{EX} 、 TA_{EX} 以及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈显著负相关，与其他指标无显著相关性。

进一步对不同酸性程度土壤的酸性特征及其影响因素作冗余分析，结果如图6所示。土壤化学性质共解释了94.584%的强酸性土壤酸性特征变化差异，第一排序轴能解释差异的92.53%，花岗岩风化物和第四纪红土红壤的强酸性土壤在图中成团出现，且主要差异体现在第一排序轴上，土壤 Mg_{EX} 、BS、CEC、ECEC、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 以及 FIO 在第一排序轴上均有较长投影。而酸性土壤的冗余分析结果表明，第一排序轴和第二排序轴分别解释了70.66%和9.525%的土壤酸性特征变化差异，两种红壤的土壤在图中未成团出现， Ca_{EX} 、ECEC、BA、BS 在第一排序轴上有较长投影，对土壤酸性特征的影响最大。

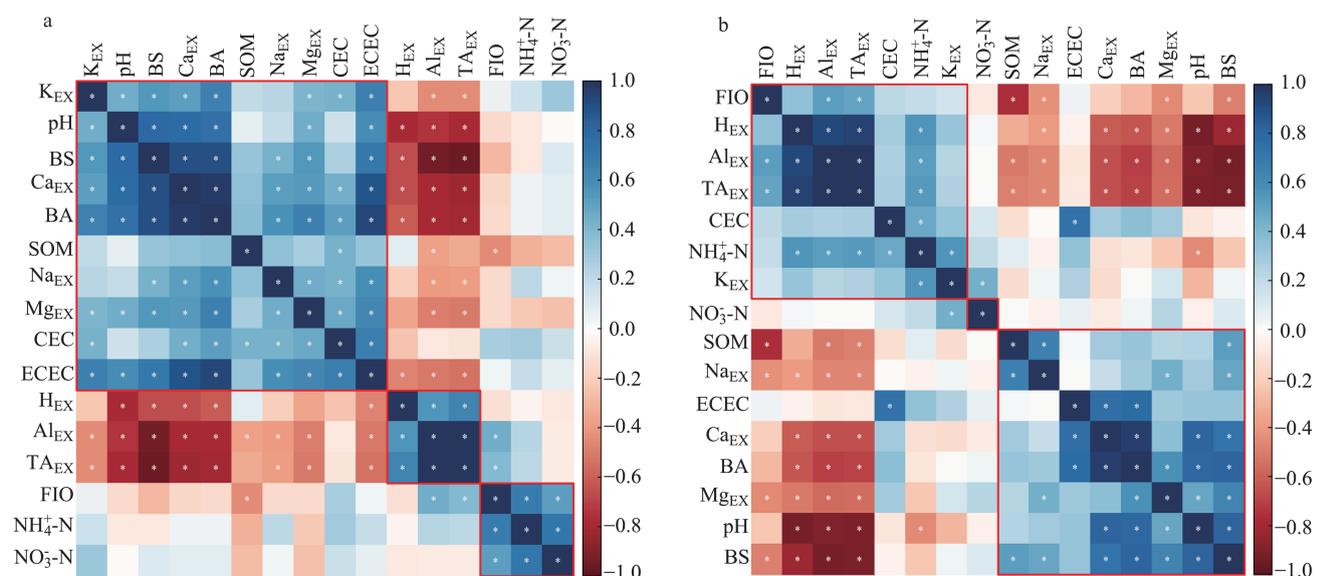


图5 不同红壤化学指标相关性热力图

注：图 a 为花岗岩；图 b 为第四纪红土。 K_{EX} 为交换性钾，BS 为盐基饱和度， Ca_{EX} 为交换性钙，BA 为交换性盐基离子总量，SOM 为有机质， Na_{EX} 为交换性钠， Mg_{EX} 为交换性镁，CEC 为阳离子交换量，ECEC 为有效阳离子交换量， H_{EX} 为交换性氢， Al_{EX} 为交换性铝， TA_{EX} 为交换性酸，FIO 为游离氧化铁， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为铵态氮， $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为硝态氮。下同。

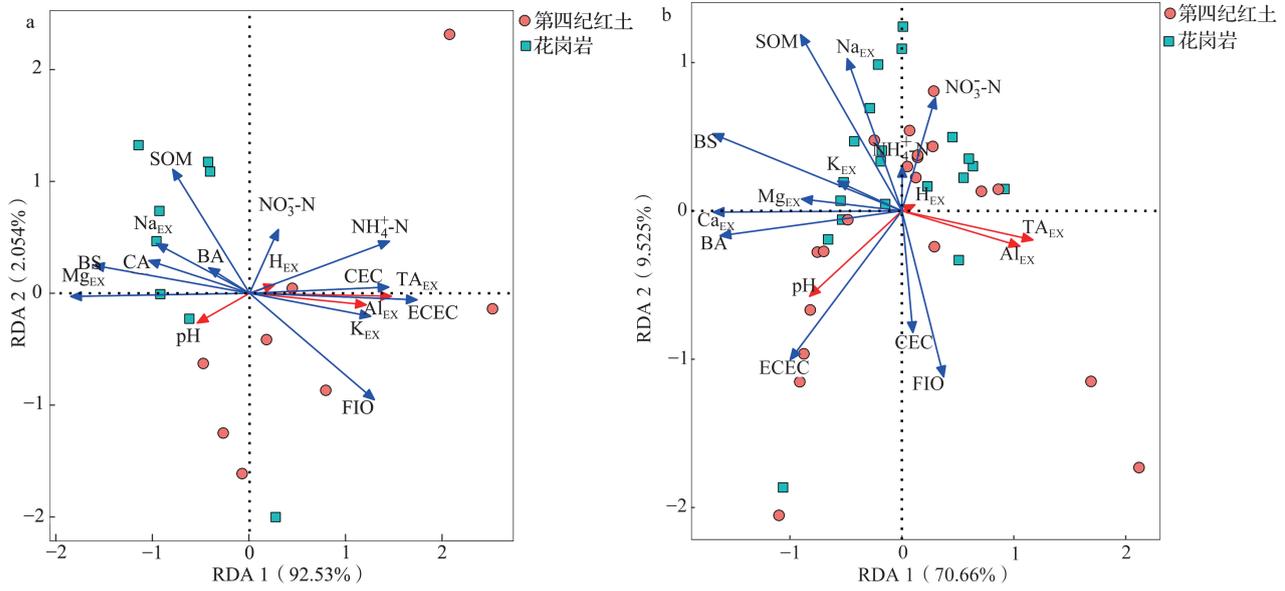


图6 土壤酸性特征和影响因素的冗余分析

注：图 a 为强酸性土壤；图 b 为酸性土壤。

3 讨论

3.1 母质对红壤酸性特征的影响

pH 是土壤酸性特征的重要指标，影响土壤环境质量和作物生长，代表活性酸的强度，其强度取决于土壤中 H^+ 的活度，也常被用作划分土壤酸性程度的依据。而土壤交换性酸作为潜在性酸，指的是土壤胶体吸附的交换性氢和铝，在一定条件下可水解产生活性酸，只有当交换性氢、铝转移到土壤溶液中才会显现酸性^[17]。本研究结果显示，在花岗岩风化物 and 第四纪红土母质的强酸性土壤 pH 无显著差异的前提下 $[(4.85 \pm 0.11)$ 和 $(4.60 \pm 0.43)]$ ，花岗岩风化物母质土壤的交换性氢、交换性铝及交换性酸显著低于第四纪红土母质土壤，不同母质土壤的酸性特征存在差异。研究表明，土壤的 pH 对母岩母质有较大的继承性^[10]，不同母质的理化性质存在差异，进而影响土壤酸化进程和特征。赵凯丽等^[18]发现，不同母质发育的剖面红壤 0 ~ 40 cm 土层中，花岗岩风化物母质土壤 pH 高于第四纪红土，随着土层深度的增加，花岗岩红壤 pH 减小、交换性酸增加，但第四纪红土母质红壤 pH 和交换性酸含量呈相反的变化趋势。花岗岩风化物母质的土壤结构疏松，盐基不饱和，通常全钾含量较高，全磷含量较低，而第四纪红土母质在形成土壤过程中，淋溶作用强，盐基和硅酸流失严重，铁、铝相对集

中^[14]，这可能是第四纪红土强酸性土壤交换性酸含量更高的原因。本研究中土壤 pH 与交换性酸存在显著负相关关系，与前人研究结果一致^[17, 19-20]。在土壤酸性特征及长期改良的相关研究中，不仅仅需要考虑土壤 pH 水平的变化，也不能忽视土壤潜在性酸，即土壤交换性氢、铝，需要防止治理改良之后土壤出现再次酸化的问题。

3.2 不同因子对红壤酸化的影响

土壤的化学性状对土壤的酸化进程有着重要影响。为了探究不同母质土壤中化学指标对酸性特征的影响，本研究通过相关性分析、冗余分析等方法发现土壤中铵态氮、游离氧化铁、有机质和交换性盐基离子含量均对 pH 有一定程度的影响。

铵态氮的硝化作用以及硝酸根携带盐基离子快速淋失是土壤酸化的重要原因之一^[21-22]。本研究发现，第四纪红土母质土壤中铵态氮含量与土壤 pH 呈显著负相关关系，而花岗岩风化物母质土壤无相关关系，强酸性土壤相比于酸性土壤，两者的关系更显著。花岗岩风化和第四纪红土母质成分以及土壤酸性程度导致微生物活性可能存在差异，影响铵态氮的硝化作用。王义祥等^[23]发现，施用生物炭后土壤性质的变化影响着土壤真菌群落结构的变化，与土壤铵态氮和硝态氮含量的变化一致。有研究发现，在一定范围内较低的 pH 更有利于真菌的生长^[24]。微生物活性，特别是真菌，可能是不同酸

性土壤铵态氮含量和 pH 关系存在差异的原因。

本研究发现, 第四纪红土母质土壤中游离氧化铁含量显著高于花岗岩风化物。徐仁扣等^[25]发现土壤游离氧化铁含量低于 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 电渗后土壤有效阳离子交换量与阳离子交换量呈显著直线相关, 斜率达 0.99; 高于 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 斜率仅为 0.43, 有效阳离子交换量与阳离子交换量间的差值随阳离子交换量的增大而增大。研究表明, 土壤铁铝氧化物含量和阳离子交换量越高, 扩散层重叠程度越大, 对土壤自然酸化的抑制作用越强。但两种母质和不同酸度条件下, 土壤游离氧化铁含量与 pH 的关系均不显著, 今后研究中可增加不同游离氧化铁含量梯度的土壤样品, 进一步分析游离氧化铁含量与土壤酸度的相关机理。

本研究还发现, 花岗岩风化物母质强酸性土壤有机质含量显著高于第四纪红土。张群等^[26]发现, 水稻土 pH 与有机质含量呈极显著负相关, 与交换性钙、镁含量呈极显著正相关。杨帆等^[27]在耕地和林地土壤的研究中发现, 土壤 pH 与有机质含量呈极显著负相关。林小兵等^[28]发现, 江西省茶园土壤 pH 与有机质含量呈显著负相关。而本研究中花岗岩风化和第四纪红土母质土壤 pH 与有机质含量的相关性均不显著, 这可能是由于有机质含量除了直接影响土壤 pH 水平以外, 还和土壤养分含量、盐基离子含量等有关, 会间接影响土壤酸度, 导致 pH 和有机质含量间的关系不显著。

交换性盐基离子含量影响土壤酸碱缓冲能力, 可通过与土壤溶液中的 H^+ 交换, 降低 H^+ 含量, 起到缓冲土壤酸化的效果。本研究中花岗岩风化物母质强酸性土壤盐基饱和度为 $(52.5 \pm 14.6) \%$, 显著高于第四纪红土母质 $[(35.0 \pm 12.4) \%]$, 而两种母质的酸性土壤无显著差异。研究表明, 盐基饱和度与土壤交换性酸呈负相关关系, 与 pH 呈正相关关系, 范庆锋等^[17]和鲁艳红等^[29]的研究结果与本文一致。刘莉等^[11]发现, 较高的盐基阳离子含量和阳离子交换量有助于增加紫色土的酸缓冲容量, 减缓土壤的酸化速度。赵凯丽等^[9]研究发现, 花岗岩、第四纪红土、红砂岩、板页岩 4 种不同母质发育的酸性红壤中, 阳离子交换量是影响表层酸化的主要因素, 但本研究中花岗岩风化和第四纪红土母质土壤阳离子交换量与土壤 pH 无显著相关关系, 这可能与土壤样品数量和母质类型有关, 本研究所分析样品为湖南省不同县(市)的耕

地表层样品, 而赵凯丽等^[9]研究样品为湖南祁阳站附近乡镇的剖面样品, 且包括了红砂岩和板页岩母质样品。

4 结论

(1) 强酸性条件下 ($\text{pH} < 5.0$), 花岗岩风化和第四纪红土母质红壤 pH 无显著差异, 花岗岩风化物母质红壤的交换性酸、阳离子交换量、游离氧化铁含量均显著低于第四纪红土红壤, 有机质含量、交换性 Mg^{2+} 含量、盐基饱和度则相反; 酸性条件下 ($5.0 \leq \text{pH} < 6.5$), 两种母质红壤 pH 无显著差异, 但花岗岩风化物母质阳离子交换量、交换性镁含量、交换性阳离子含量和游离氧化铁含量显著低于第四纪红土红壤。

(2) 两种母质的土壤 pH 均与交换性 Ca^{2+} 含量、交换性 Mg^{2+} 含量、盐基饱和度、盐基离子总量呈显著正相关, 与交换性 H^+ 含量、交换性 Al^{3+} 含量、交换性酸呈显著负相关。

参考文献:

- [1] Wang H X, Xu J L, Liu X J, et al. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China [J]. Soil & Tillage Research, 2019, 195: 104382-104390.
- [2] Xu L, Wang Q B, Zhang X Y, et al. Effects of different fertilization treatment on paddy soil nutrients in red soil hilly region [J]. Journal of Nature Resources, 2012, 27 (11): 1890-1898.
- [3] Cai Z J, Xu M G, Zhang L, et al. Decarboxylation of organic anions to alleviate acidification of red soils from urea application [J]. Journal of Soil and Sediments, 2020, 20 (8): 3124-3135.
- [4] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展 [J]. 土壤, 2015, 47 (2): 238-244.
- [5] 沈月, 依艳丽, 张大庚, 等. 耕地棕壤酸碱缓冲性能及酸化速率研究 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (1): 95-100.
- [6] 吴蔚东, 张桃林, 高超, 等. 中亚热带天然常绿阔叶林下不同母质的土壤质量性状 [J]. 山地学报, 2003 (1): 73-79.
- [7] 赵其国. 昆明地区不同母质对红壤发育的影响 [J]. 土壤学报, 1964 (3): 253-265.
- [8] Fujii K, Hartono A, Funakawa S, et al. Acidification of tropical forest soils derived from serpentine and sedimentary rocks in East Kalimantan, Indonesia [J]. Geoderma, 2011, 160 (3-4): 311-323.
- [9] 赵凯丽, 王伯仁, 徐明岗, 等. 我国南方不同母质土壤 pH 剖面特征及酸化因素分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (8): 1308-1315.
- [10] 何腾兵, 董玲玲, 刘元生, 等. 贵阳市乌当区不同母质发育的土壤理化性质和重金属含量差异研究 [J]. 水土保持学

- 报, 2006 (6): 157-162.
- [11] 刘莉, 谢德体, 李忠意, 等. 酸性紫色土的阳离子交换特征及其对酸缓冲容量的影响 [J]. 土壤学报, 2020, 57 (4): 887-897.
- [12] 吴甫成, 王晓燕, 邹君, 等. 湖南土壤酸缓冲性能研究 [J]. 农业现代化研究, 2001 (1): 58-62.
- [13] 王晓燕, 吴甫成, 田均良. 亚热带红壤酸缓冲特性试验研究 [J]. 热带地理, 2003 (1): 26-29.
- [14] 张杨珠, 周清, 盛浩, 等. 中国土系志·湖南卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 蔡泽江. 有机物料调控红壤化学氮肥致酸效应的差异与机制 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [17] 范庆锋, 张玉龙, 陈重, 等. 保护地土壤酸度特征及酸化机制研究 [J]. 土壤学报, 2009, 46 (3): 466-471.
- [18] 赵凯丽, 蔡泽江, 王伯仁, 等. 不同母质和植被类型下红壤 pH 和交换性酸度的剖面特征 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (23): 4818-4826.
- [19] 宋晓培. 不同硫酸钾用量对土壤及烤烟矿质元素积累的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [20] 蔡泽江, 余强毅, 吴文斌, 等. 广东省增城区不同耕地利用类型下赤红壤酸度变化 [J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38 (6): 980-988.
- [21] Cai Z J, Wang B R, Xu M G, et al. Nitrification and acidification from urea application in red soil (Ferralic Cambisol) after different long-term fertilization treatments [J]. Journal of Soil and Sediments, 2014, 14 (9): 1526-1536.
- [22] 李九玉, 邓开英, 章威, 等. 添加葡萄糖对红壤农田肥料氮转化及其酸化的影响 [J]. 土壤学报, 2021, 58 (1): 162-168.
- [23] 王义祥, 黄家庆, 叶菁, 等. 生物炭对酸化茶园土壤性状和真菌群落结构的影响 [J]. 茶叶科学, 2021, 41 (3): 419-429.
- [24] Ding J, Jiang X, Guan D, et al. Influence of inorganic fertilizer and organic manure application on fungal communities in a long-term field experiment of Chinese Mollisols [J]. Applied Soil Ecology, 2017, 111: 114-122.
- [25] 徐仁扣, 陈荣府, 姜军, 等. 酸化红壤的修复原理与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [26] 张群, 唐贤, 周海燕, 等. 不同母质发育水稻土剖面酸度特征 [J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42 (5): 561-568.
- [27] 杨帆, 郝梓君, 黄来明, 等. 华西雨屏区植被恢复对紫色土酸化的影响 [J]. 生态学报, 2022 (4): 1-10.
- [28] 林小兵, 孙永明, 江新风, 等. 江西省茶园土壤肥力特征及其影响因子 [J]. 应用生态学报, 2020, 31 (4): 1163-1174.
- [29] 鲁艳红, 廖育林, 聂军, 等. 长期施用氮磷钾肥和石灰对红壤性水稻土酸性特征的影响 [J]. 土壤学报, 2016, 53 (1): 202-212.

Acidification characteristics and influencing factors of red soil developed from different parent materials

LONG Ze-dong¹, SUN Mei¹, ZENG Xi-bai², HUANG Jing³, TANG Hai-ming¹, SHI Li-hong¹, LUO Zun-chang¹, SUN Geng^{1*} (1. Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha Hunan 410125; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of P. R. China, Beijing 100081; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Beijing 100081)

Abstract: Cultivated soils with granite and quaternary red earth parent were collected to compare the differences in soil physicochemical indicators under strongly acidic ($\text{pH}<5.0$) and acid ($5.0 \leq \text{pH}<6.5$) conditions, and correlation analysis and redundancy analysis were applied to investigate the differences and the factors influencing acidification in the two types of red soils. The results showed that under strong acid conditions ($\text{pH}<5.0$), the pH values of the two red soils were 4.85 ± 0.11 and 4.60 ± 0.43 , respectively, without significant difference. However, the contents of exchangeable acid, CEC and free ferric oxide in the parent soil of quaternary red earth were significantly higher than those in the parent soil of granite, while the organic matter contents, exchangeable Mg^{2+} content and salt base saturation were opposite. Under acidic conditions ($5.0 \leq \text{pH}<6.5$), the pH values of the two parent soils were 5.37 ± 0.33 and 5.48 ± 0.48 , respectively. The contents of calcium carbonate and free ferric oxide in the quaternary red earth soil were significantly higher than those in the granite red soil. The pH of the two red soils was positively correlated with total amount of base ions, exchangeable Ca^{2+} content, exchangeable Mg^{2+} content, calcium carbonate and base saturation, and negatively correlated with exchangeable acid, exchangeable H^+ content and exchangeable Al^{3+} content.

Key words: granite; quaternary red earth; red soil; acidification