

DOI: 10.11766/trxb201804110614

微地形作用下紫色母岩发育土壤的酸化特征*

谭孟溪 刘 莉 王朋顺 程永毅 谢德体 李忠意†

(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要 为揭示丘陵地区微地形作用下紫色母岩及其不同地形部位发育土壤的酸化特征, 在西南丘陵地区采集土壤样品并分析其基本理化性质。结果表明: 西南丘陵地区的紫色土已经出现了一定程度的酸化, 土壤酸化后使交换性酸含量增加, 交换性盐基离子总量和盐基饱和度降低。从丘陵地区的坡顶至坡底, 紫色土的发育程度逐渐增加, 土壤中维持土壤pH在碱性范围内的碳酸盐遭受到的淋溶作用依次增强。因此, 从坡顶至坡底, 紫色土的酸化范围逐渐增大。由于酸化后的紫色土pH开始受阳离子交换反应所控制, 而在微地形的作用下, 受盐基离子遭受淋溶过程和复盐基过程的相对强弱不同的影响, 从坡顶至坡底, 紫色土的总体酸化程度并未增加。可见, 对西南丘陵地区的紫色土的开发利用需考虑到其较为独特的酸化特征。

关键词 丘陵地区; 紫色土; 酸化特征

中图分类号 S153.4 **文献标识码** A

在热带和亚热带地区, 最主要的土壤退化问题便是土壤的严重酸化^[1]。土壤的成土过程本是一个非常缓慢的自然酸化过程, 但人类活动大大加速了土壤的酸化过程^[2]。土壤酸化增加植物遭受铝毒害的风险^[3]; 导致土壤中养分元素的淋失, 造成土壤肥力的下降^[4]; 活化土壤中的重金属离子, 影响了作物的生长^[5]。因此, 土壤的酸化问题得到国内外学者的广泛关注^[6-8]。但这些研究主要集中在砖红壤、红壤和黄壤等地带性土壤, 而对于紫色土等非地带性土壤的关注不足^[9-10]。

紫色土是由紫色母岩发育而成的一种幼年土, 风化程度较低。紫色土尚处在脱钙和积钙阶段, 原生矿物和盐基离子含量丰富^[11]。但有研究表明紫色土受酸沉降和氮肥施用的影响, 已出现不同程度的酸化^[12-13]。紫色土酸化后降低了土壤的酸缓

冲性能, 增加了土壤中重金属的活性^[14-15]。除人为因素加速紫色土的酸化过程外, 自然条件下的微地形作用可能是部分紫色土严重酸化的原因。紫色土主要分布在我国西南丘陵地区。在微地形的作用下, 水土在不同地形部位上重新分配, 不仅直接影响土壤的矿物组成及其理化性质, 而且在土壤的发育过程中起着重要的调节控制作用^[16], 并可能使微地形下不同部位的土壤呈现出不同的酸化特征, 从而对紫色土的综合开发利用产生影响。但目前有关紫色土酸化特征的研究大多集中在施肥和耕作对土壤酸化特征的影响, 而尚未发现有关微地形作用对紫色土酸化影响的研究报道^[4, 17]。因此, 本研究拟对紫色母岩丘陵地区不同地形部位土壤进行采样分析, 以探究微地形作用下紫色土的酸化特征, 揭示微域范围内的紫色土酸化机理, 为区

* 国家自然科学基金项目(41701256)、重庆市博士后项目资助(Xm2016076)和西南大学本科学生创新基金项目(20172402010)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41701256), the Chongqing Postdoctoral Science Foundation (No. Xm2016076) and the Undergraduate Innovation Fund of Southwest University (No. 20172402010)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhongyili@swu.edu.cn

作者简介: 谭孟溪(1997—), 男, 重庆垫江人, 主要从事土壤化学研究。E-mail: 976629725@qq.com

收稿日期: 2018-04-11; 收到修改稿日期: 2018-06-19; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-07-27

域内土壤酸化的阻控和酸化土壤的改良提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 土样采集

土壤样品于2016年4月采自重庆市合川区,该地区位于川中丘陵和川东平行岭谷的交汇地带,区域内出露的紫色岩层主要发育于中生代侏罗系沙溪庙组(J₂s)的紫色砂岩和泥岩。结合土壤的发育特征,采集了紫色母岩(砂岩和泥岩)及该区域丘陵地区从坡顶至坡底不同部位耕地的紫色土。采集的紫色母岩为丘陵顶部出露的岩石,用铁铲或铁锤去除风化层后取1 kg左右的新鲜母岩。土壤的采集是根据土壤发生分类学知识确定丘陵不同部位的土种类型,然后采集每个土种的耕层样品(0~20 cm)。在小范围内进行多点采样混合,然后通过四分法混匀后保留1 kg左右的土壤样品。紫色母岩和土壤样品在室内自然风干后过2.00、1.00和0.25 mm尼龙筛备用。本次实验在微域范围内的不同地形部位采集了紫色砂岩、泥岩两种母岩和石骨子土、半沙半泥土、大眼泥和紫黄泥4个土种的紫色土,按土壤系统分类,供试石骨子土可划归为新成土纲的紫色正常新成土(Purpli-Orthic Primosols)。而半沙半泥土、大眼泥和紫黄泥3种土壤可划归为雏形土纲的紫色湿润雏形土(Purpli-Udic Cambosols)^[18]。每种类型样品的数量不低于14个。

1.2 样品分析

采用电位法(土:水=1:2.5)测定所有土壤的pH。其中中性和碱性土壤(pH≥6.5)采用量气法测定碳酸盐含量^[19]。酸性土壤(pH<6.5)采用常规分析方法测定交换性酸和交换性盐基含量^[20]。土壤交换性酸和交换性H⁺的测定采用KCl淋溶—中和滴定法;交换性K⁺、Na⁺采用NH₄OAc交换—火焰光度法;交换性Ca²⁺、Mg²⁺采用NH₄OAc交换—原子吸收分光光度法(Z-5000,日本日立)。随机选取母岩和土壤采用X射线衍射法(XRD)进行土壤晶型矿物成分鉴定(XD-3,北京普析)。

1.3 数据处理

交换性Al³⁺=交换性酸-交换性H⁺

交换性盐基总量=交换性K⁺+交换性Na⁺+交换性Ca²⁺+交换性Mg²⁺

有效阳离子交换量(Effective cation exchange capacity, ECEC)=交换性盐基总量+交换性酸

盐基饱和度=交换性盐基总量/ECEC×100%。

利用Excel软件和SPSS 23.0软件对数据进行统计分析处理。采用 t 检验进行数据间的差异性分析。文中数据表示方式为均值±标准差,同一测试项目指标间字母不同表示数据差异显著($P<0.05$)。

2 结果

2.1 微地形作用下的紫色土发育特征

紫色岩层主要出露于我国西南的丘陵和低山地区,区域内年降雨量大于1 000 mm,水土流失严重,水土在不同地形部位上发生重新分配,导致不同地形部位土壤的理化特征存在差异^[21]。因此,即使在数十米大小的微域范围内,同一土属的紫色土也因性质差异形成不同土种的土壤(图1)。由于土壤遭受冲刷严重,在丘陵顶部常有紫色砂岩或泥岩等母岩出露。紫色母岩黏土矿物含量丰富,吸水能力强,受湿热膨胀作用的影响极易发生物理风化,因此常在丘陵顶部或紧邻顶部的地方形成沙土或石骨子土。随着地形部位的往下,受地形水文作用的影响,土壤进一步发生化学风化作用,土壤中黏粒含量逐步增加,依次发育形成半沙半泥土或泥夹石骨子土和大眼泥或豆瓣泥。在丘陵底部时,土壤耕作类型主要为水稻土,地下水位较低。受丘陵上部水分淋溶作用和水分测渗的影响,存在铁、锰的还原和游离铁、锰的漂洗过程,因此常形成紫黄泥和白鳞泥。在紫色土丘陵地区,土壤的发育程度从坡顶到坡底依次增加^[22]。随机选取母岩和土壤的XRD分析结果如图2所示。可以看出紫色砂岩和泥岩碳酸钙含量丰富。石骨子土、半沙半泥土和大眼泥富含长石、蛭石等原生矿物和云母等2:1型层状硅酸盐矿物,但各土壤中未见明显的碳酸盐衍射峰出现。紫黄泥由于土壤发育程度较深,化学风化作用较强,土壤矿物成分主要为SiO₂和高岭石。从图2中可以看出本研究所采集的土壤样品随地形部位的下降而发育程度逐渐增加,具有较好的代表性。

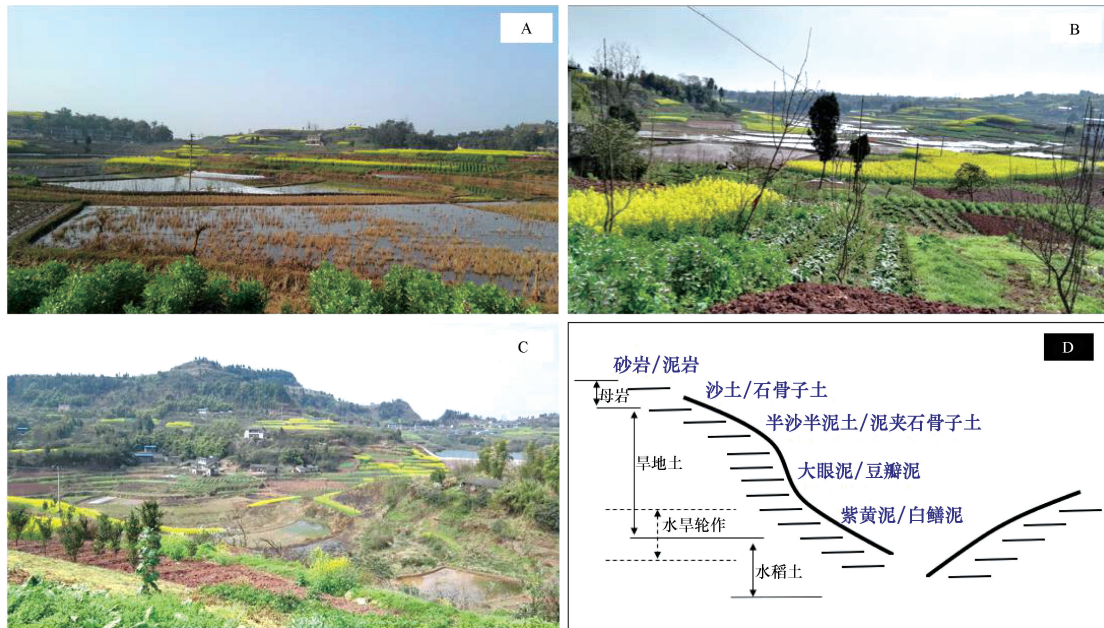
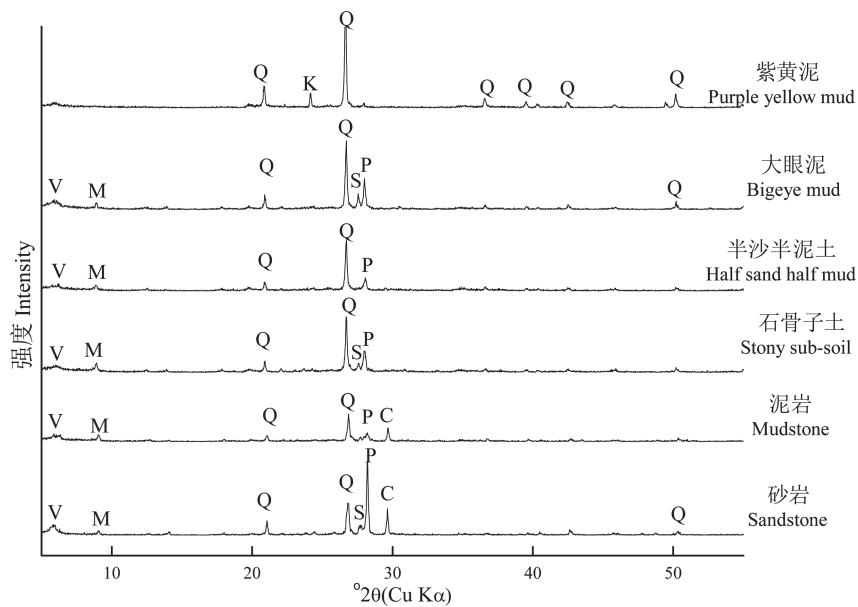


图1 西南丘陵地区紫色母岩发育土壤的景观照 (A: 浅丘地貌; B: 中丘地貌; C: 高丘地貌) 及微地形作用下的土壤种类差异示意图 (D)

Fig. 1 Landscape photographs of soils developed from purple rock in the hilly region of southwest China (A: Low mount region, B: Meso-mount region, and C: High hill region) and the schematic diagram of the variation of soil species with micro-topography (D)



Q, 石英; K, 高岭石; M, 云母; S, 钠长石; V, 蛭石; P, 钾长石; C, 碳酸钙 Note: Q, Quartz; K, Kaolinite; M, Mica; S, Soda feldspar; V, Vermiculite; P, Potassium feldspar; C, Carbonate

图2 不同地形部位紫色土/母岩的XRD图谱

Fig. 2 The X-ray diffraction spectra of the purple soil relative to micro-topography

2.2 不同紫色土pH和碳酸盐含量

从表1可以看出, 紫色砂岩和泥岩由于富含碳酸盐均具有较高的pH, 所有土壤均为中性或碱性

土。当从紫色母岩发育成紫色土后, 部分紫色土的pH变至酸性。从丘陵顶部至底部, 紫色土的发育程度逐渐增加, 酸性土所占的比例逐渐增加, 且中

性和碱性土的碳酸盐含量也逐渐降低。如26个石骨子土中中性和碱性土壤有21个,酸性土壤有5个,酸性土壤所占的比例仅为19%。而半沙半泥土、大眼泥和紫黄泥中酸性土壤所占的比例分别为37%、50%和76%(表1)。非酸性石骨子土的碳酸盐含量为 $40.3 \pm 29.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而非酸性紫黄泥的碳酸盐含量仅为 $16.4 \pm 5.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。所以,在微地形的作

用下,不同地形部位的紫色土酸化程度不同,位于丘陵坡中下部的紫色土因发育程度更深,酸化范围更大。但值得注意的是,各紫色土中酸性土壤的pH均值并未随着紫色土在微域范围内地形部位的降低而下降。尽管四种紫色土中酸性土壤的pH差异不显著,但却随着土壤发育程度的增加有微弱的上升。

表1 紫色母岩和紫色土的pH和碳酸盐含量统计表

Table 1 The pH and carbonate content of parent rocks and purple soils

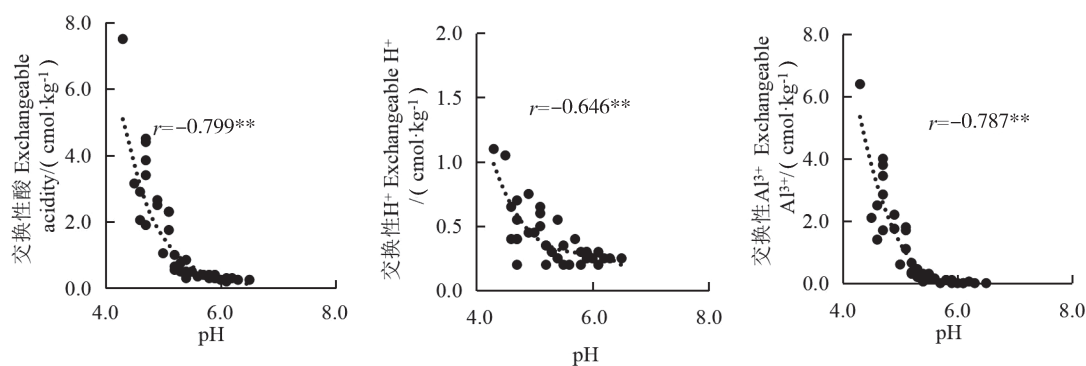
类型 Type	样本数 Number /ind	pH	中性和碱性土 (pH ≥ 6.5)		酸性土壤 (pH < 6.5)			
			数量 Amount /ind	碳酸盐 Carbonate /(g·kg ⁻¹)	数量 Amount /ind	百分比 Percentage /%	pH	
母岩 Parent rock	砂岩 Sandstone	19	6.6 ~ 9.1	19	64.0 ± 62.7a	0	0	-
	泥岩 Mudstone	14	8.2 ~ 9.6	14	58.7 ± 41.7a	0	0	-
	石骨子土 Stony sub-soil	26	4.6 ~ 8.8	21	40.3 ± 29.2ab	5	19	5.1 ± 0.5a
土壤 Soil	半沙半泥土 Half sand half mud	19	4.5 ~ 8.1	12	28.7 ± 5.0b	7	37	5.3 ± 0.6a
	大眼泥 Big eye mud	20	4.6 ~ 8.0	10	21.6 ± 7.8b	10	50	5.3 ± 0.5a
	紫黄泥 Purple yellow mud	21	4.3 ~ 7.5	5	16.4 ± 5.4b	16	76	5.5 ± 0.6a

2.3 不同紫色土交换性酸含量

将所有酸性土壤的pH与交换性酸度指标进行相关性分析(图3)。可以看到土壤pH与交换性酸度指标间均呈极显著的负相关。当土壤pH处于5.5~6.5之间时,土壤的交换性酸含量极低,且土壤交换性酸的组成主要以交换性H⁺为主,几乎不含交换性Al³⁺。当土壤pH低于5.5时,土壤交换性酸和交换性Al³⁺含量均随着土壤pH的下降而呈指数关系增长,且交换性Al³⁺占土壤交换性酸的比重不断增

加。所以当紫色土pH降低后,土壤的潜性酸含量不断增加,并有可能对植物产生Al³⁺的毒害作用。

同pH变化规律相似,酸性紫色土的交换性酸、交换性H⁺和交换性Al³⁺含量均值均随着土壤所处地形部位的下降而呈现出逐渐降低的规律(表2)。表现出紫色土在微域范围内随着发育程度的增加,酸化程度反而有所降低。所以在微域范围内,随着紫色土所处坡位的下降,尽管紫色土的酸化范围在扩大,但酸化程度却并未加重。



** , $P < 0.01$

图3 土壤pH与交换性酸含量的相关性

Fig. 3 Relationship between soil pH and exchangeable acidity

表2 土壤交换性酸度指标统计

Table 2 Statics of soil exchangeable acidity/($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土壤类型 Soil type	交换性酸 Exchangeable acidity	交换性 H^+ Exchangeable H^+	交换性 Al^{3+} Exchangeable Al^{3+}
石骨子土 Stony sub-soil	$2.00 \pm 1.00\text{a}$	$0.48 \pm 0.16\text{a}$	$1.52 \pm 0.96\text{a}$
半沙半泥土 Half sand half mud	$1.71 \pm 1.67\text{a}$	$0.47 \pm 0.28\text{a}$	$1.24 \pm 1.52\text{a}$
大眼泥 Big eye mud	$1.34 \pm 1.33\text{a}$	$0.46 \pm 0.21\text{a}$	$0.89 \pm 1.18\text{a}$
紫黄泥 Purple yellow mud	$1.31 \pm 1.98\text{a}$	$0.32 \pm 0.22\text{a}$	$0.98 \pm 1.79\text{a}$

2.4 不同紫色土交换性盐基成分含量

进一步将酸化紫色土的pH与交换性盐基成分进行相关性分析(表3)。可以看出,土壤的pH与四种盐基离子之间均呈正相关,其中与交换性 Ca^{2+} 间的相关性达到极显著水平,与交换性 Mg^{2+} 间的相关性达到显著水平。土壤酸化后,土壤胶体表面负电位点所吸附的盐基离子不断被致酸离子所取代,造成土壤交换性盐基离子的损失^[23]。此外,酸化紫色土的pH与土壤的盐基总量和盐基

饱和度间也呈极显著的正相关(表3)。紫色土酸化后,以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主的盐基离子被致酸离子 H^+ 和 Al^{3+} 交换,造成了土壤的盐基总量和盐基饱和度的下降。但酸化紫色土的pH与土壤的ECEC间的相关性不显著(表3)。ECEC值能够反映出土壤表面所带的负电荷量,且受到土壤胶体的矿物组成特征影响。因此,可以看出紫色土的酸化过程并未对土壤的电荷特征和矿物组成产生显著的影响。

表3 土壤pH与交换性盐基成分间的相关性

Table 3 Correlation analysis of soil pH and exchangeable base cation

	交换性 K^+ Exchangeable K^+	交换性 Na^+ Exchangeable Na^+	交换性 Ca^{2+} Exchangeable Ca^{2+}	交换性 Mg^{2+} Exchangeable Mg^{2+}	盐基总量 Base cations	ECEC	盐基饱和度 Base saturation
pH	0.086	0.162	0.448**	0.354*	0.465**	0.276	0.759**

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

但当将酸化紫色土的交换性盐基成分按土种类型统计分析后发现,与土壤pH呈极显著正相关性的交换性 Ca^{2+} 、交换性 Mg^{2+} 、盐基总量和盐基饱和度与土壤的酸度指标在各土种中的含量变化规律并不完全一致(表4)。除交换性 Mg^{2+} 外,交换性 Ca^{2+} 、盐基总量和盐基饱和度均值均表现石骨子土<半沙半泥土<大眼泥。即在这3种旱地土壤中,随着微域范围内地形部位的下降(土壤发育程度的增加),土壤的盐基含量更加丰富。这与紫色土的酸化程度变化规律相同,即土壤的酸化程度降低,盐基离子含量和盐基饱和度增加。而随着地形部位的进一步下降,从以旱地为主的大眼泥到以水田为主的紫黄泥,尽管土壤的酸化程度并未增加(表2),但土壤的交换性 Ca^{2+} 、盐基总量和盐基饱和度均表现出较大幅度的下降。此外,酸化紫色土的ECEC含量随着微域范围内地形部位的降低也呈现

出先增加后降低的趋势。从上述结论中可以看出,在微地形的作用下,紫色土的酸化程度与盐基成分含量间的相互作用较为复杂。

3 讨论

紫色土酸化增加了土壤的交换性酸含量。尽管大部分酸化紫色土的交换性酸含量低于热带和亚热带地区的红壤和砖红壤^[24-25]。但最近的研究表明较低的土壤交换性酸含量就有可能对作物产生铝毒害^[26]。如Abdulaha-AI等^[27]在研究安徽和湖南两地的红壤时发现,当两地的土壤pH分别小于5.4和4.7,土壤交换性酸含量分别大于0.56和1.72 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,小麦的生长受到明显的影响。Sutradhar等^[28]研究发现当土壤pH低于5.3,交换性 Al^{3+} 含量高于6.35 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,种植的向日葵

表4 不同种类酸性紫色土的交换性盐基成分含量统计表

Table 4 Statics of exchangeable base cations relative to type of acidic purple soils

土壤类型 Soil type	交换性K ^{+①} / (cmol·kg ⁻¹)	交换性Na ^{+②} / (cmol·kg ⁻¹)	交换性Ca ^{2+③} / (cmol·kg ⁻¹)	交换性Mg ^{2+④} / (cmol·kg ⁻¹)	盐基总量 ^⑤ / (cmol·kg ⁻¹)	ECEC	盐基饱和度 ^⑥ / /%
石骨子土 ^⑦	0.146 ± 0.041bc	0.122 ± 0.029a	8.26 ± 2.64c	3.62 ± 1.43ab	12.1 ± 3.84b	14.1 ± 3.20c	84.0 ± 11.6a
半沙半泥土 ^⑧	0.283 ± 0.106ab	0.202 ± 0.035a	14.4 ± 7.79ab	3.12 ± 1.38bc	18.0 ± 9.04ab	19.7 ± 7.77ab	86.7 ± 16.0a
大眼泥 ^⑨	0.359 ± 0.254a	0.193 ± 0.169a	17.6 ± 1.68a	4.17 ± 0.86ab	22.3 ± 2.27a	23.6 ± 2.71a	94.6 ± 5.30a
紫黄泥 ^⑩	0.240 ± 0.184ab	0.219 ± 0.115a	11.8 ± 4.12bc	4.18 ± 1.04a	16.4 ± 4.90b	17.7 ± 4.17bc	91.9 ± 12.9a

①Exchangeable K⁺, ②Exchangeable Na⁺, ③Exchangeable Ca²⁺, ④Exchangeable Mg²⁺, ⑤Base cations, ⑥Base saturation, ⑦Stony sub-soil, ⑧Half sand half mud, ⑨Big eye mud, ⑩Purple yellow mud

可减产达10%。而土壤交换性Al³⁺含量分别大于15和18 mg·kg⁻¹时, 种植的油菜和高粱也大幅减产^[29]。可见, 部分酸化紫色土的pH和交换性Al³⁺含量均达到了能对植物产生毒害的临界值。因此, 应对紫色土的酸化问题应引起足够的重视。

从土壤pH可以看出, 随着微域范围内土壤所处地形部位的下降, 发育程度的增加, 紫色土的酸化范围不断扩大。紫色母岩富含碳酸盐, 通过碳酸盐的缓冲作用可以使土壤的pH稳定在7以上。当土壤碳酸盐遭受淋失后, 土壤由碱性土变为酸性土。随着紫色土在微域范围内所处位置的降低, 发育程度的增加, 土壤的碳酸盐含量逐渐降低(表1)。因此, 土壤的酸化范围逐渐扩大。

尽管紫色土的酸化面积在不断扩大, 但土壤的酸化强度却并未增加。传统的土壤酸化理论认为随着风化和淋溶作用增强, 土壤发育程度提高, 土壤酸化作用应该增强^[2]。显然, 紫色土这一变化趋势与传统的土壤酸化理论并不完全相符。在pH为5~7的范围内, 土壤pH开始受阳离子交换反应的缓冲所控制。结合酸化紫色土的交换性盐基成分含量分析可以得出, 微地形作用下的紫色土酸化特征可能主要受土壤阳离子交换性能和土壤盐基状况所支配, 而土壤的盐基状况又取决于淋溶过程和复盐基过程的相对强弱。受土壤发育程度的影响, 随着坡度的降低, 土壤的ECEC值先增加后降低。石骨子土的ECEC值最低, 其次为紫黄泥(表4)。位于坡顶的石骨子土酸化后, 土壤的盐基离子遭受到净的淋溶作用。加上其ECEC值较低, 交换性盐基离子对土壤酸化的缓冲能力较弱。因此, 石骨子土中尽管酸化土壤所占的比例较低, 但这些土壤的酸化程度均较重。位于坡下方的半沙半泥土和大眼泥

酸化后土壤的盐基离子同样遭受淋溶作用, 但坡上部的石骨子土被淋溶出来的盐基离子又会对坡下部土壤的盐基离子起到补充作用。这个复盐基过程使得三种土壤的酸化程度表现出大眼泥<半沙半泥土<石骨子土。而位于丘陵下部以水田为主的紫黄泥受水分携带盐基离子运移的影响, 土壤的交换性盐基含量较低。但由于紫黄泥发育程度更深, 化学风化更强, 土壤的ECEC值较低。较低的阳离子交换量使紫黄泥胶体表面可供H⁺和Al³⁺吸附的负电荷位点较少。这样使紫黄泥表现出较低交换性酸和交换性盐基含量。因此, 随着地形部位的降低, 土壤的酸化程度并未增加。通过对微域范围内紫色土的酸化特征开展研究, 能够对目前严重缺乏的田块尺度的土壤酸度信息起到补充作用, 为土壤酸化分类调控对策的制订、酸化土壤的改良和土壤酸化的阻控提供依据^[30]。

4 结 论

西南丘陵地区的紫色土已经出现了一定程度的酸化, 土壤酸化后增加了交换性酸含量, 降低了土壤的交换性Ca²⁺、交换性Mg²⁺、交换性盐基离子总量和盐基饱和度。部分土壤的酸化程度已可能对作物的生长产生危害。在微地形的作用下, 土壤碳酸盐从坡顶到坡低遭受的淋溶作用依次增强。因此, 随着地形部位的降低, 酸性土壤所占的比例逐渐增大。但受微地形作用的影响, 不同地形部位土壤的发育程度不同和盐基离子遭受淋溶过程和复盐基过程的相对强弱不同, 尽管土壤酸化的范围随着地形部位的降低而增加, 但土壤的总体酸化程度并未增加。

参考文献

- [1] 于天一, 孙秀山, 石程仁, 等. 土壤酸化危害及防治技术研究进展. 生态学杂志, 2014, 33 (11): 3137—3143
Yu T Y, Sun X S, Shi C R, et al. Advances in soil acidification hazards and control techniques (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2014, 33 (11): 3137—3143
- [2] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展. 土壤, 2015, 47 (2): 238—244
Xu R K. Research progresses in soil acidification and its control (In Chinese). Soils, 2015, 47 (2): 238—244
- [3] Lollato R P, Edwards J T, Zhang H. Effect of alternative soil acidity amelioration strategies on soil pH distribution and wheat agronomic response. Soil Science Society of America Journal, 2013, 77: 1831—1841
- [4] Zhang Y T, He X H, Liang H, et al. Long-term tobacco plantation induces soil acidification and soil base cation loss. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23: 5442—5450
- [5] Zhu H H, Chen C, Xu C, et al. Effects of soil acidification and liming on the phytoavailability of cadmium in paddy soils of central subtropical China. Environmental Pollution, 2016, 219: 99—106
- [6] Ernani P R, Bayer C B, Maestri L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian oxisol. Agronomy Journal, 2002, 94: 305—309
- [7] Li J Y, Xu R K. Inhibition of acidification of kaolinite and an Alfisol by aluminum oxides through electrical double-layer interaction and coating. European Journal of Soil Science, 2013, 64: 110—120
- [8] Yuan J H, Xu R K, Qian W, et al. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11: 741—750
- [9] 王媛华, 段增强, 赵宇, 等. 积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究. 土壤学报, 2015, 52 (1): 228—233
Wang A H, Duan Z Q, Zhao Y, et al. Specificity of soil acidification affected by salt accumulation (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2015, 52 (1): 228—233
- [10] 徐仁扣. 秸秆生物质炭对红壤酸度的改良作用: 回顾与展望. 农业资源与环境学报, 2016, 33 (4): 303—309
Xu R K. Progresses on amelioration of red soil acidity with crop straw biochar: A review (In Chinese). Journal of Agricultural Resources and Environment, 2016, 33 (4): 303—309
- [11] 李忠意, 程永毅, 杨剑虹. 重庆地区中性紫色土酸化特征. 水土保持学报, 2012, 26 (6): 234—237
Li Z Y, Cheng Y Y, Yang J H. The acidification characteristics of neutral purple soil in Chongqing district (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26 (6): 234—237
- [12] 李士杏, 王定勇. 重庆地区20年间紫色土酸化研究. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2005, 22 (1): 70—73
Li S X, Wang D Y. A study of the acidification of purple soil in Chongqing in recent two decades (In Chinese). Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition), 2005, 22 (1): 70—73
- [13] 汪文强, 王子芳, 高明, 等. 施氮对紫色土交换性酸及盐基饱和度的影响. 水土保持学报, 2014, 28 (3): 138—142
Wang W Q, Wang Z F, Gao M, et al. Effects of nitrogen application on exchangeable acidity and base saturation in purple soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28 (3): 138—142
- [14] 吴云, 杨剑虹, 魏朝富. 重庆茶园土壤酸化及肥力特征的研究. 土壤通报, 2004, 35 (6): 715—719
Wu Y, Yang J H, Wei C F. Chongqing tea garden soil acidification and fertility characters (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35 (6): 715—719
- [15] 黄亮. 酸雨胁迫下紫色土镉、锌复合污染对莴苣的影响. 重庆: 西南大学, 2004
Huang L. Effects of purple soil cadmium and zinc composite pollution on lettuce in acid rain stress (In Chinese). Chongqing: Southwest University, 2004
- [16] 谢德体. 土壤地理学. 成都: 成都科技大学出版社, 1995
Xie D T. Soil geography (In Chinese). Chengdu: Chengdu Technology University Press, 1995
- [17] Zhang Y T, Vries W, Thomas B W, et al. Impacts of long-term nitrogen fertilization on acid buffering rates and mechanisms of a slightly calcareous clay soil. Geoderma, 2017, 305: 92—99
- [18] 慈恩, 唐江, 连茂山, 等. 重庆市紫色土系统分类高级单元划分研究. 土壤学报, 2018, 55 (3): 569—584
Ci E, Tang J, Lian M S, et al. Higher category partition for purple soils in Chongqing in Chinese Soil

- Taxonomy (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55 (3): 569—584
- [19] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测. 北京: 中国大地出版社, 2008
Yang J H, Wang C L, Dai H L, et al. Soil agro-chemical analyzing and environmental monitoring (In Chinese). Beijing: China Land Press, 2008
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000
Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [21] 苏正安, 熊东红, 张建辉, 等. 紫色土坡耕地土壤侵蚀及其防治措施研究进展. *中国水土保持*, 2018 (2): 42—47
Su Z A, Xiong D H, Zhang J H, et al. Research progress of soil erosion of purple soil slope farmland and its prevention and control measures (In Chinese). *Conservation in China*, 2018 (2): 42—47
- [22] 李艳, 张薇薇, 程永毅, 等. 重庆紫色母岩及土壤 As、Hg 环境地球化学基线研究. *土壤学报*, 2017, 54 (4): 917—926
Li Y, Zhang W W, Chegn Y Y, et al. Environmental geochemical baseline of As and Hg in purple soil and its parent rock in Chongqing (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 (4): 917—926
- [23] Dai Z, Zhang X, Tang C, et al. Potential role of biochars in decreasing soil acidification—A critical review. *Science of the Total Environment*, 2017, 581/582: 601—611
- [24] Yuan J H, Xu R K, Wang N, et al. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. *Pedosphere*, 2011, 21: 302—308
- [25] Yuan J H, Xu R K. Effects of biochars generated from crop residues on chemical properties of acid soils from tropical and subtropical China. *Soil Research*, 2012, 50: 570—578
- [26] Butchee K, Arnall D B, Sutradhar A, et al. Determining critical soil pH for grain sorghum production. *International Journal of Agronomy*, 2012, DOI: 10.1155/2012/130254
- [27] Abdulaha-Al B M, Li J Y, Xu C Y, et al. Determination of critical pH and Al concentration of acidic ultisols for wheat and canola crops. *Solid Earth*, 2017, 8: 149—159
- [28] Sutradhar A, Lollato R P, Butchee K, et al. Determining critical soil pH for sunflower production. *International Journal of Agronomy*, 2014, DOI: 10.1155/2014/894196
- [29] Lofton J, Godsey C, Zhang H. Determining Aluminum tolerance and critical soil pH for winter Canola production for acidic soils in temperate regions. *Agronomy Journal*, 2010, 102: 327—332
- [30] 徐仁扣, 李九玉, 周世伟, 等. 我国农田土壤酸化调控的科学问题与技术措施. *中国科学院院刊*, 2018, 33 (2): 160—167
Xu R K, Li J Y, Zhou S W, et al. Scientific issues and controlling strategies of soil acidification of croplands in China (In Chinese). *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33 (2): 160—167

Effect of Microtopography on the Acidification Characteristics of Soils Developed from Purple Parent Rock

TAN Mengxi LIU Li WANG Pengshun CHENG Yongyi XIE Deti LI Zhongyi[†]
(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract 【Objective】 Purple soil is extensively distributed in Southwest China. To study acidification characteristics of the purple soil and its parent purple rock in the hilly areas of that region as affected by micro-topography, this study was launched. 【Method】 In this study samples of two kinds of purple rocks and four types of purple soils were collected from the hilly area of Southwestern China for analysis of physicochemical properties in the lab. Samples of the two kinds of purple rocks, mudstone and sandstone, were collected at the top of hills and of the four types of purple soils, stony sub-soil, half sand half mud, bigeye mud and purple yellow mud, distributed in sequence along hill slopes from the top to the bottom, were done, respectively, too, 14 samples each. 【Result】 Acidification, to a varying extent, was

found in the purple soils of that region. Consequently, in these soils the content of exchangeable acidity increased, and the content of total exchangeable base cation and the base saturation decreased. Purple soil development gradually increased in degree along hill slopes from the top to the bottom. The carbonate in the soils that helped keep soil pH in the range of 8 to 12 was subjected to leaching and the impact increased too along the slope from the top to the bottom. As a result, soil acidification was gradually extending in range along the slope. In terms of acidification degree, the four soils followed an order of purple yellow mud > bigeye mud > half sand half mud > stony sub-soil. In acidified purple soils, pH was controlled by cation exchange reaction, and affected by the degree of base cation (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}) subjected to leaching and recovery, which varied with micro-topography. The stony sub-soils on the top of hills were exposed to leaching of base cations only, while the bigeye muds and half sand half muds on the mid slope were subjected to supplementation of base cations leached from the stony sub-soils on the top of the slope, besides leaching loss of base cations. The purple yellow muds, at the bottom of the hill or slope, highly weathered, were low in effective cation exchange capacity and hence the colloids in the soil adsorbed less H^+ and Al^{3+} on the surface. Generally speaking, in terms of overall acidification degree, the four types of purple soils followed an order of stony sub-soil > half sand-half mud > bigeye mud > purple yellow mud. 【 Conclusion 】 It can be concluded that as affected by micro-topography, acidification of the four types of soils increases gradually in range from the top to the bottom of the hill, but does not in degree. Therefore, it is essential to pay attention to the acidification characteristics of the purple soils of Southwest China in exploiting the soils.

Key words Hilly region; Purple soil; Acidification characteristics

(责任编辑：卢 萍)