

典型喀斯特高原坡地土壤养分分布及其影响因素^①

邱虎森^{1,2,3}, 苏以荣^{1,3*}, 黎 蕾^{1,3}, 何寻阳^{1,3}, 陈香碧^{1,3}, 李 杨^{1,3}

(1 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态重点实验室, 长沙 410125; 2 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128;

3 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站, 广西环江 547100)

摘 要:喀斯特地区生态环境脆弱, 石漠化严重, 土壤性质对其环境的变化较为敏感, 了解研究区环境因素对土壤性质的作用, 对该区生态恢复重建有一定的指导意义。本文在前期对喀斯特地区峰丛洼地和峰林平原研究的基础上, 以贵州喀斯特高原典型样区为研究对象, 采用从坡脚到山顶线形布点(间隔 10 m)采集土壤样本, 同时调查记录各环境因子, 通过对土壤养分指标测定, 结合环境因子探讨了研究区内坡地土壤养分随相对高程的变化情况和地形因素(裸岩率、土层厚度和相对高程)之间及其对土壤养分的影响。结果表明:随相对高程的增加, 裸岩率显著递增, 土层厚度在 0~30 cm 范围内, 与裸岩率呈极显著负相关($P<0.01$);结合协方差分析结果发现, 裸岩率高的地段促进了土壤有机碳以及氮磷养分的积累, 土壤有机碳和全氮含量受裸岩率和相对高程的影响, 土壤全钾的含量主要受相对高程的影响, 而土壤 pH 则同时受各地形因素的影响, 全钾含量不受三地形因素的影响;随机误差分析表明, 土壤有机碳及速效养分含量还受到其他因素的影响。

关键词:喀斯特高原; 坡地; 土壤养分; 裸岩率; 相对高程

中图分类号:S154.3; S158.2

西南喀斯特地区包括 6 种典型地貌类型:峰林平原、峰丛洼地、喀斯特槽谷、喀斯特高原、喀斯特峡谷和断陷盆地。受自然和人为因素的双重影响, 喀斯特地区因水土流失引起的石漠化呈不断发展的态势, 在以上 6 种地貌类型中喀斯特高原的生态环境问题最为严峻, 而在同一地貌类型中, 坡地更易石漠化^[1-2]。目前, 关于喀斯特坡地石漠化以及水分变异规律的研究报道较多^[3-4], 有关土地利用方式对土壤养分影响的研究也不少^[5-7];喀斯特坡地由于坡位较低的地段土层较厚, 往往被开垦为农耕地, 而随坡位升高受人类活动干扰较小, 仍以自然灌木林地作为主要的土地利用方式。张伟、岳跃民等^[8-9]发现地形因素(裸岩率、坡度、土被厚度、海拔)对坡地土壤养分的影响较为复杂, 但土地利用方式是影响坡地土壤养分含量的主要环境制约因子。而喀斯特坡地同一土地利用方式下地形因素对土壤养分的影响如何? 还有待于进一步探究。只有充分了解喀斯特高原坡地(灌木林地)土壤养分分布规律及影响因素, 才能结合当地实际情况提出合理生态修复的方案。

喀斯特地区不同的地貌类型、特有的地质环境及人文等因素的差异, 对土壤养分的分布影响程度各异, 本研究拟在前期对峰丛洼地和峰林平原研究的基础上, 选择贵州喀斯特高原典型样区, 以单一土地利用方式的坡地为研究对象, 旨在了解不同海拔高度土壤的养分分布状况, 揭示研究区坡地土壤养分的分布规律, 在土地利用方式一致的前提下, 探讨喀斯特高原地形因素(裸岩率、土层厚度、相对高程)对土壤养分的影响。

1 材料与方法

1.1 样区概况

王家寨小流域位于喀斯特高原区的清镇市簸箩村贵州省最大的人工湖——红枫湖北湖上游麦翁河东侧, 地理坐标 106°20'5"~106°21'8"E, 26°31'45"~26°30'27"N, 面积约 2.4 km²。海拔最高点 1 451.1 m, 最低点 1 271 m。地貌为典型喀斯特高原, 坡地与低洼平地的面积比约为 1.65:1, 属亚热带季风湿润气候, 多年平均降水量 1 200 mm, 主要集中在 5—9 月。

①基金项目:中国科学院知识创新重要方向项目(KSCX2-YW-436)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05070403)、国家科技支撑计划项目(2012BAD05B03)和国家自然科学基金项目(41171246)资助。

* 通讯作者(yrsu@isa.ac.cn)

作者简介:邱虎森(1987—), 男, 河南项城人, 硕士研究生, 主要从事土壤养分循环及其调控研究。E-mail: qiuhusen2008@163.com

土地利用类型在低洼地中以耕地为主;坡地以灌木和草地为主,灌木树种主要有火棘(*Pyracantha florundana*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、月月青(*Itea ilicifolia*)、悬钩子(*Rubus* sp)和顶坛花椒(*Zanthoxylum lanispinum* var. *dingtanensis*);草本植物主要有庐山楼梯草(*Elatostema stewardii*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、狗芽根(*Cynodon dactylon*)和莎草(*Cyperus* sp),乔木主要为村寨风水林,区内成土母质较为一致,为石灰岩风化物,土壤类型为石灰土。

1.2 样品采集及处理

土壤采样时间为 2010 年 1 月,土壤样点的设计根据研究区内母质(均为石灰岩)、海拔、坡位、地形地貌、植被覆盖情况等综合考虑,采用坡脚、坡腰和坡顶沿山脊线形布点(线形布点间隔 10 m),用 GPS 定位读取采样点坐标,土壤取样的同时,进行样地调查并记录环境因子,在每个采样点周围 2 m 范围内都选取 1 m × 1 m 的方格划分成 0.1 m × 0.1 m 的小方格,估算其 1 m² 内的裸岩率,最终根据各土地利用类型面积,估计该区裸岩率。共取 0 ~ 15 cm 表层土样 80 个,新鲜土壤样品拣出其中的动植物残体等,然后充分混匀,按照四分法取出一部分放入 4℃ 冰箱保存用于培养实验,剩余土壤充分混匀风干过 2 mm 筛,对于未过筛的砾石称重记录,将过 2 mm 筛的风干土样按四分法取出,一部分过 20 目筛用于土壤速效养分的测定,一部分过 100 目筛,用于土壤全量养分的测定,表层样点分布如图 1 所示。

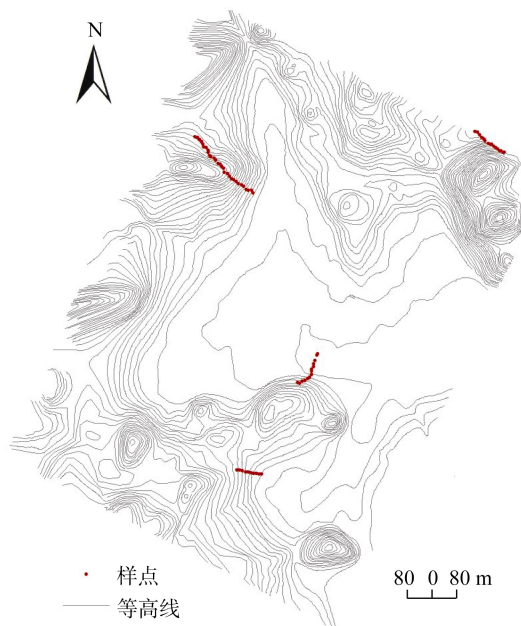


图 1 土壤样点分布图

Fig. 1 Soil sampling sites

1.3 样品分析和数据处理

土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;全氮(TN)采用硒粉-CuSO₄-H₂SO₄ 消煮,流动注射仪(FIAStar 5000)测定;全磷(TP)采用 NaOH 熔融-紫外分光光度法测定;全钾(TK)采用 NaOH 熔融-原子吸收法测定;碱解氮(AN)采用碱解-扩散法测定;速效磷(AP)采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 提取-紫外分光光度法测定;速效钾(AK)采用 NH₄Ac 浸提-原子吸收法测定;pH 采用电极电位法测定。

数据分析及作图采用 SPSS16.0 和 Excel 2003 软件。

2 结果与分析

2.1 相对高程对土壤养分分布的影响

调查结果发现,研究区内峰丛相对高程变化范围在 300 m 范围内。为更明显地体现土壤养分随相对高程的变化趋势,在剔除异常值的条件下,对养分与相对高程的关系进行曲线拟合,SOC、TN 与相对高程的拟合曲线均为乘幂曲线,曲线方程分别为 $y = 22.928x^{0.286}$ 和 $y = 2.749x^{0.2347}$;TK 与相对高程的拟合曲线为二次曲线,对拟合方程进行显著性检验,得出各拟合曲线均具有极显著($P < 0.01$)统计学意义(图 2)。而 TP 变化不明显,不受相对高程变化的影响,基本处于相对稳定的水平。由图 2 还可以看出,随着相对高程的变化,TP 含量没有表现出明显的变化;土壤 TK 含量则随着相对高程的升高而降低;SOC、TN 含量则随相对高程呈幂函数递增趋势。

以同样的方式对土壤速效养分 AN、AP、AK 及土壤 pH 与相对高程进行曲线拟合,发现 AN 及 AP 与相对高程的拟合曲线均为乘幂曲线,AK 与相对高程的拟合曲线为三次曲线,土壤 pH 与相对高程的拟合曲线为二次曲线,且各拟合曲线均具有极显著($P < 0.01$)统计学意义(图 3)。土壤速效养分含量及土壤 pH 均随相对高程的增加递增,其中 AK 的含量在 50 ~ 200 m 的相对高程内的变化较为稳定,在 >200 m 的相对高程内曲线的变化情况可以看出,该段曲线斜率较大,其含量递增速度加快。而土壤 pH 均值的变化范围在 6.51 ~ 7.49 之间,随相对高程的升高,呈现极显著递增趋势。

调查结果发现(图 4),研究区内随着相对高程增加,土层厚度变化规律不明显;而裸岩率逐渐增加,经过曲线拟合发现裸岩率与相对高程的拟合曲线为对数曲线,拟合方程为 $y = 9.819\ln(x) + 18.517$,对拟合方程进行显著性检验,得出拟合曲线具有极显著($P < 0.01$)的统计学意义。

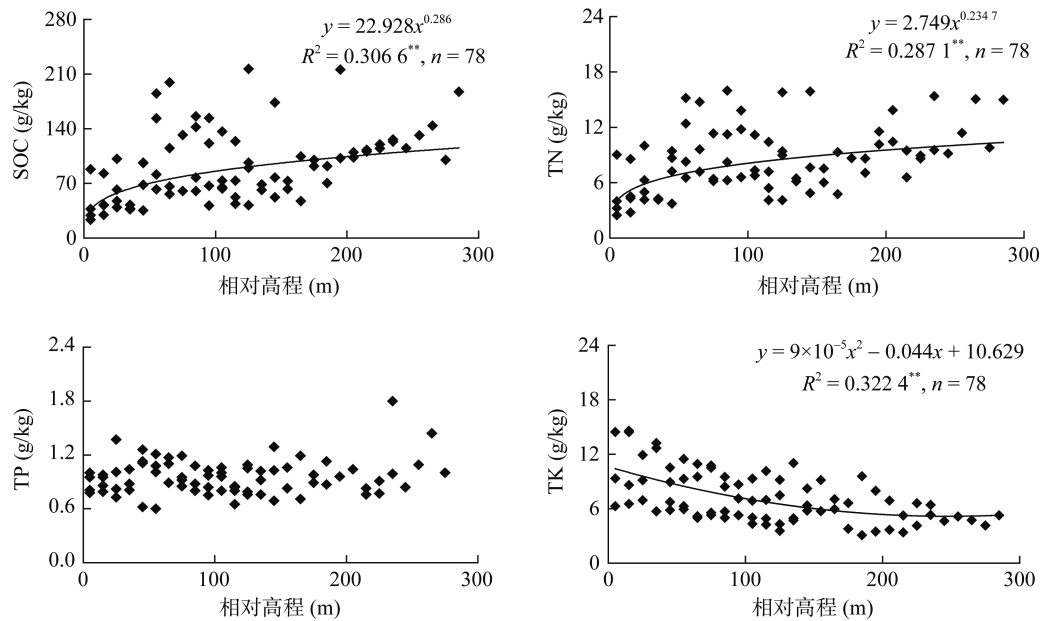


图 2 不同相对高程土壤全量养分分布

Fig. 2 Changes of total soil nutrients in different relative altitudes

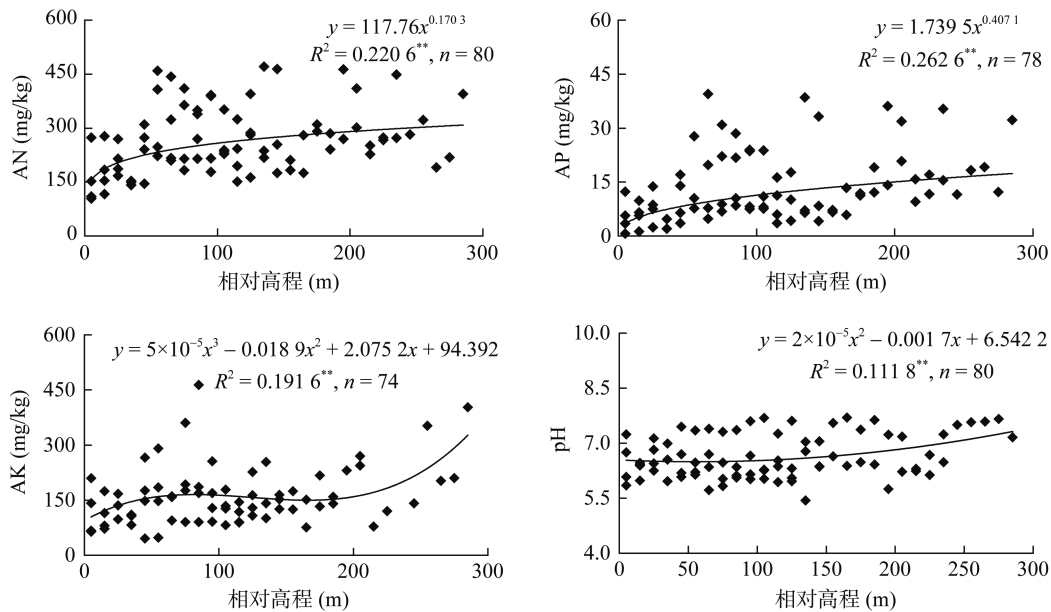


图 3 不同相对高程土壤速效养分分布

Fig. 3 Changes of available soil nutrients in different relative altitudes

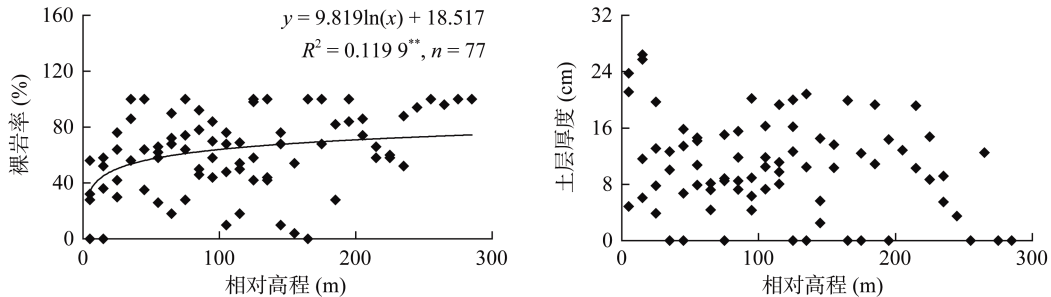


图 4 不同相对高程裸岩率及土层厚度分布

Fig. 4 Changes of bare-rock rate and soil thickness in different relative altitudes

2.2 地形要素对土壤养分的影响

由于研究区内土地利用方式较为一致,说明人为影响也相对一致,土壤养分主要受环境因素的影响,因此本文针对地形要素对坡地土壤养分分布的影响进行分析。有研究认为,小尺度的生态环境内裸岩率较高地段有利于土壤养分的积累^[10]。本研究结果表

明(表 1),研究区内坡地土壤 pH 与裸岩率之间不存在相关性;TK、AK 与裸岩率具有一定的相关性,但相关性不明显;而 SOC、TN、TP、AN、AP 均与裸岩率呈极显著正相关($P<0.01$)。说明研究区内坡地养分含量除 TK 和 AK,裸岩率较高的坡段土壤 SOC 及氮、磷养分含量也较高。

表 1 地形要素与坡地土壤养分间的相关性
Table 1 Relationship between topographical index and soil nutrients in slope

地形要素	SOC	TN	TP	TK	AN	AP	AK	pH
裸岩率	0.374**	0.410**	0.427**	-0.167	0.346**	0.392**	0.208	0.064
土层厚度	-0.135	-0.201	-0.341**	-0.192	-0.140	-0.126	0.020	-0.285*
相对高程	0.506**	0.442**	0.049	-0.535**	0.358**	0.433**	0.272*	-0.023

注:*表示相关性达到 $P<0.05$ 显著水平;**表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平,下表同。

研究区土被厚度在 0~30 cm 范围内变化,与土壤养分的相关性分析表明,土被厚度与 TP 及 pH 均呈不同程度显著负相关,相关系数分别为-0.341 和 -0.285;与其他养分含量,相关性不明显。说明随着土被厚度减小,土壤 TP 含量增加,这可能是由于成土速度慢,养分主要积累在表土层的原因。

由图 2、图 3 可以看出,除 TK 含量随相对高程的增加而递减外,SOC、TN 以及速效养分含量均随相对高程的升高呈现递增,相关性分析表明(表 1),SOC、TN 以及速效养分含量均与相对高程呈不同程度正相关,相关系数分别为 0.506(SOC)、0.442(TN)、0.358(AN)、0.433(AP)和 0.272(AK),这说明随相对高程的增加上述土壤养分含量逐渐增大。而土壤 TK 含量与相对高程呈极显著负相关,相关系数为 -0.535,说明随相对高程的增加,土壤 TK 含量呈现显著的递减趋势。

2.3 地形要素对土壤养分的贡献

受地质背景的制约,喀斯特地区成土过程缓慢,土层较薄,石漠化严重。在石漠化过程中,各地形要素都会发生一定程度的变化,地形要素之间是否具有一定的相关性?因此,结合前人的研究,通过对研究区所调查的地形要素进行相关性分析表明(表 2):土层厚度与裸岩率均呈极显著负相关,相关系数为 -0.354($P<0.01$);而裸岩率与相对高程则呈极显著正相关,这可能是由于研究区内土被不连续,且在较大岩石裂隙中保留了风化残余土,即所谓的“石碗土”。各地段土壤累积程度各异,从而导致随相对高程变化土层厚度变化规律不明显。

土壤养分含量的分布情况往往受到环境因素以

表 2 地形要素间的相关性
Table 2 Relationship of topographical index

	裸岩率	土层厚度	相对高程
裸岩率	1	-0.354**	0.310**
土层厚度		1	-0.097
相对高程			1

及随机因素等的影响,因此,单纯的考虑某一地形要素与土壤养分的关系很难充分说明各地形要素对土壤养分的影响程度和影响的显著性。而协方差分析可以在排除协同变量的影响下,实现控制变量对观测变量作用效果的准确估计,而研究区内土地利用方式较为一致,因此在进行协方差分析中主要进行各地形要素对土壤养分的方差贡献。由表 3 可以看出裸岩率对土壤 SOC、TN、TP、AN、AP 和 pH 均有显著或极显著影响,土层厚度仅对土壤 pH 有极显著影响,相对高程则对 SOC、TN、TK 和 pH 有显著或极显著影响。其中相对高程对 SOC 的影响要大于裸岩率和土层厚度的方差贡献总和,由此可以说明研究区内土壤 SOC 含量分布受相对高程的影响最大,其次是裸岩率的影响。TN 则受裸岩率与相对高程的影响较大,TP、AN 和 AP 的含量分布主要受裸岩率的影响;TK 的含量分布主要受相对高程的影响;裸岩率对土壤 pH 的方差贡献大于土层厚度以及相对高程的方差贡献。随机误差则反映了分析中未考虑的其他因素的影响或实验误差,而分析中较大的随机误差表明研究区其他未分析因素对土壤养分的重要影响,如 SOC、AN、AP 和 AK 的随机误差较大,这可能与土壤物理性质、地表生物量等因素有关。

表 3 地形要素对坡地土壤养分的方差贡献
Table 3 Variance ratio analysis of topographical index on soil nutrients in slope

地形要素	SOC	TN	TP	TK	AN	AP	AK	pH
裸岩率	8 124.855*	75.599**	0.319**	7.628	36 754.769*	479.948*	1 149.801	3.128**
土层厚度	85.128	6.003	0.083	5.541	1 023.320	4.439	524.880	2.494**
相对高程	9 360.807*	52.614*	0.003	98.331**	16 399.313	300.318	5 709.828	1.521*
随机误差	1 623.766	9.612	0.032	5.544	7 571.727	76.787	5 968.964	0.262

3 讨论

当在综合考虑多种环境因子对土壤性质的共同作用时，不同的环境因子对土壤性质的影响程度不同。以往对岩溶地区的研究发现，土壤理化性质随土地利用方式的变化而变化^[8,11]，植被不同演替阶段^[12]和不同退耕模式^[13]对土壤理化性质也有重要的影响。也有研究通过典型对应分析(CCA)综合研究喀斯特地区土壤性质和环境因子之间的关系表明^[9]，土地利用方式对土壤性质的影响最大，其次依次为植被类型、裸岩率、坡向和土壤厚度，坡度和海拔高度对土壤性质的影响较弱，这主要是由喀斯特地区脆弱的生态环境造成的。土壤养分分布是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果^[14]，由于研究区域面积较小，峰丛地相对高程在 300 m 范围内，具有相同的气候、母质、土壤类型以及土地利用类型，且植被类型和植被覆盖度较为一致，自然条件相对一致。因此结合前人的研究结果以及各环境因子对土壤性质影响强弱，本文选取裸岩率、土壤厚度和相对高程作为影响研究区内坡地土壤养分分布的主要环境因子。

裸岩率高是导致喀斯特环境脆弱的重要原因之一，随着岩石裸露率的增加，环境的脆弱性增强，同时裸岩率也反映了剩余的土壤空间容量的大小^[15]。有研究表明，土层厚度与裸岩率有极显著负相关性^[9]，本研究中也得出同样的结论，这说明岩石出露率高的地段土层较为浅薄^[16]。喀斯特地区独特的岩溶作用使许多岩石表面因溶蚀而凹陷成槽，土壤积累其中不易流失，由无数大小不等的凹槽聚集成坡面，虽然坡面坡度比较大，但是凹槽中土壤表面相对平坦，且土壤表面低于围绕的岩石，土壤侵蚀强度小，有利于养分的积累^[17]。结合前人的研究结果，发现裸岩率对土壤性质的影响仅次于土地利用方式和植被类型。相关性和协方差分析结果表明，裸岩率对土壤 SOC、氮素和磷素的影响较为显著，因此，研究区内小尺度的生态环境研究中裸岩率高的地段在一定程度上有利于土壤有机碳及氮磷养分的蓄积。

与岳跃民等^[9]的研究结果不同的是，本文通过相

关性分析表明，随着相对高程的增加，土壤 SOC、TN 以及速效养分均显著递增，这可能是由于相对高程的增加，一方面人类活动对植被及土壤环境的扰动较小^[18]；另一方面，裸岩率升高，且土层较浅薄，土壤在石槽或石峰中累积，植被凋落物在土层表面累积，为土壤提供更多的腐殖质。而 TK 则显著降低，由于土壤钾主要源于土壤母质，可溶性钾随着地表水由较高地段流向较低地段并在较低地段积累，较低坡位土层较厚，植被凋落物相对丰富，为土壤提供了丰富的钾素，同时相对高程较低的地段随着相对高程的增加，土壤 pH 升高，加强了对钾的固定，从而表现出随相对高程的增加 TK 呈降低趋势。土壤 TP 含量较为稳定，这可能由于陆地自然生态系统中的磷除小部分来自干湿沉降外，大部分来自土壤母质，全磷大部分是无机磷，其含量的高低主要取决于土壤母质及成土作用^[19]，而在研究区内土壤母质较为一致，可能主要受风化作用与淋溶作用的影响较大。与表 1 中相对高程与土壤养分相关性分析结果对比发现，协方差分析的结果表明相对高程仅对 SOC、TN 和 TK 的作用较为显著，而对速效养分无影响。在土壤长期的发育过程中，气候、地形、母质、植被等因素都可以影响土壤的酸碱度。协方差分析表明，研究区各地形要素对土壤 pH 的高低均有影响，Dunjo 等^[20]认为土壤 pH 不依赖于土壤有机质的变化，而与母岩有关，而研究区母岩较为一致，因此，结合分析结果可能由于地势高的地方淋溶作用较强，因而盐基性也较强，从而使土壤 pH 较高。

对比随机误差结果以及各地形因素方差的贡献，SOC 和 TN 的含量分布受裸岩率与相对高程的影响较大，但随机误差也较大，这说明研究区内土壤 SOC 和 TN 的含量不仅受裸岩率和相对高程的影响，同时还受到其他环境因子(如坡度等)以及人类活动等因素的影响。有研究认为，土壤 AK 的含量主要受植被类型的影响，排除了某些地形要素的作用，这与本文中地形要素对 AK 的影响不显著相符。而 TK 则主要受相对高程的影响，土壤中钾的含量主要和该区的母质、风化及成土条件有关，在母质相同的情况下，

TK 的含量主要受风化及成土条件的影响, 高温多雨的环境为风化淋溶作用提供条件, 使 TK 极易流失, 同时, 随地表径流土壤钾从相对高程较高的坡位向较低坡位迁移累积。

4 结论

(1) 研究区内随相对高程的增加, 土壤 SOC、TN 及速效养分含量显著递增, 而 TK 含量显著递减, 各地形要素相关性分析表明, 裸岩率与土层厚度呈极显著负相关, 与相对高程呈极显著正相关, 土层厚度较浅薄, 变化范围在 0~30 cm 之间。

(2) 结合单因素相关性分析和协方差分析的结果, 研究区坡地土壤 AN 及磷素含量的分布主要受到裸岩率的影响较大, TK 含量的分布主要受相对高程的影响, SOC 和 TN 含量分布则受裸岩率与相对高程共同作用的影响, 而土壤 pH 则受到各环境因子共同作用的影响。土壤 SOC 及速效养分的随机误差较大, 说明影响它们空间分异的因素较为复杂, 未知因素(如人为干扰、土壤侵蚀和淋溶等未量化的因素)对其分布的影响不可忽视。

(3) 在相对高程、裸岩率等较难控制的外界因素下, 只有通过提高人们对生态环境的保护意识, 寻求适合在该区生长的优势植物来提高坡地地表植被覆盖度, 控制和削弱生态破坏的进程。

参考文献:

- [1] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 657-666
- [2] 许联芳, 刘新平, 王克林, 谭和宾. 桂西北喀斯特区域土地开发整理模式与持续利用对策研究——以环江毛南族自治县为例[J]. 国土与自然资源研究, 2003(4): 36-38
- [3] 周梦维, 王世杰, 李阳兵. 石漠化景观生态优化途径初探——以贵州清镇王家寨小流域为例[J]. 中国岩溶, 2007, 26(2): 91-97
- [4] 张志才, 陈喜, 石鹏, 董贵明, 束龙仓, 马建良. 贵州喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 803-807
- [5] 段正锋, 傅瓦利, 甄晓君, 杜富芝, 马志敏, 刘邦有. 岩溶区土地利用方式对土壤有机碳组分及其分布特征的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 109-114
- [6] 刘涛泽, 刘丛强, 张伟, 涂成龙. 喀斯特地区坡地土壤可溶性有机碳的分布特征[J]. 中国环境科学, 2009, 29(3): 248-253
- [7] 李新爱, 肖和艾, 吴金水, 苏以荣, 黄道友, 黄敏, 刘守龙, 彭洪翠. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1 827-1 831
- [8] 张伟, 陈洪松, 王克林, 苏以荣, 张继光, 易爱军. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1 828-1 835
- [9] 岳跃民, 王克林, 张伟. 基于典范对应分析的喀斯特峰丛洼地土壤-环境关系研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 243-249
- [10] 张伟, 陈洪松, 王克林, 张继光, 侯娅. 种植方式和裸岩率对喀斯特洼地土壤养分空间分异特征的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1 459-1 463
- [11] 蒋勇军, 袁道先, 章程, 况明生, 王建力, 谢世友, 张贵, 何绕生. 典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响——以云南小江流域为例[J]. 地理学报, 2005, 60(5): 751-760
- [12] 李恩香, 蒋忠诚, 曹建华, 姜光辉, 邓艳. 广西弄拉岩溶植被不同演替阶段的主要土壤因子及溶蚀率对比研究[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1 131-1 139
- [13] 龙键, 邓启琼, 江新荣, 刘方. 西南喀斯特地区退耕还林(草)模式对土壤肥力质量演变的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1 279-1 284
- [14] 郜文军, 王印传, 霍习良, 杨杰. 山区小流域不同海拔和坡位土壤养分分布及相关性分析[J]. 土壤肥料科学, 2008, 24(3): 248-252
- [15] 王德炉, 喻理飞. 喀斯特环境生态脆弱性数量评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(6): 23-26
- [16] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37-44
- [17] 袁海伟, 苏以荣, 郑华, 黄道友, 吴金水. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用类型土壤有机碳和氮素分布特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1 579-1 584
- [18] 李明锐, 沙丽清. 西双版纳不同土地利用方式下土壤氮矿化作用研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 54-58
- [19] 杨珊, 何寻阳, 苏以荣, 张伟, 王克林. 岩性和土地利用方式对桂西北喀斯特土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1 596-1 602
- [20] Dunjo G, Pardini G, Gispert M. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment[J]. NE Spain Catena, 2003, 52: 23-37

Distribution of Soil Nutrients and Its Influencing Factors in Slope of Typical Karst Plateau

QIU Hu-sen^{1,2,3}, SU Yi-rong^{1,3*}, LI Lei^{1,3}, HE Xun-yang^{1,3}, CHEN Xiang-bi^{1,3}, LI Yang^{1,3}

(1 Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2 College of Resource Environment Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3 Huanjiang Observation and Research Station for Karst Eco-systems, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, Guangxi 547100, China)

Abstract: In Karst region, soil property is sensitive to environmental change of environment due to the fragile ecological environment and serious rock desertification. Understanding the effects of environment factors on soil properties will provide guidance for ecological restoration and reconstruction. Taking a slope land of typical Karst plateau as research object, the soil nutrients were measured with setting the sampling site using a line transect from base to top of the slope with a 10 m interval, and simultaneously, the environmental factors were investigated and recorded. The relationships between soil nutrients and the changes of relative elevation were analyzed, and the effects of topographical factors including the bare-rock rate, soil thickness and relative elevation on soil nutrients were discussed. The results showed that with the increase of relative altitude, the bare-rock rate was significantly increased and the soil depth within 0–30 cm was significantly negative correlated with bare-rock rate ($P < 0.01$). The covariance analysis showed that high bare-rock rate promoted the accumulation of the contents of soil organic carbon (SOC), nitrogen and phosphorus. The contents of SOC and total nitrogen (TN) were influenced by bare-rock rate and relative altitude. The content of total potassium (TK) was mainly influenced by the relative altitude. Soil pH was influenced by rock bare-rate, soil depth and relative altitude, but the three topographic factors have no effect on the content of available potassium (AK). The random error analysis indicated that the contents of SOC and available nutrients were also influenced by the other factors, which needs further investigation.

Key words: Karst plateau, Slope land, Soil nutrient, Bare-rock rate, Relative altitude