

滇东山原红壤退化过程中的土壤剖面有机质与养分变异^①

许路艳¹, 王嘉学^{2*}, 余洁芳², 王浩瀚³

(1 曲靖师范学院生物资源与环境科学学院, 云南曲靖 655000; 2 云南师范大学旅游与地理科学学院, 昆明 650500;

3 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008)

摘要: 山原红壤是云贵高原广泛发育的一种地带性古土壤, 近年来退化严重, 为了解山原红壤退化过程, 采用“以空间换时间”的思路, 对云贵高原山原红壤区同一区域林地、灌丛、草地和裸地土壤剖面养分含量进行对比分析。结果表明: 从能生长植被的山原红壤至多年难以生长植被的“红裸土”, 土体平均有机质含量呈灌丛 > 草地 > 林地 > 裸地的变化趋势; 灌丛和草地土壤有机质含量随剖面深度递增而降低, 裸地和林地土壤剖面有机质含量没有明显的垂直变化规律; 与有植被覆盖的各土体相比裸地的硝态氮、铵态氮和速效钾剖面含量具有特殊性, 硝态氮含量随剖面深度的递增明显减小, 铵态氮含量随剖面深度的递增而增大; 随着植被的退化, 土壤有机质与养分的相关性大致呈减弱趋势, 灌丛的土壤有机质与养分的相关性最强, 裸地土壤有机质与养分相关性最弱。

关键词: 山原红壤; 土壤剖面; 有机质; 养分; 相关性分析

中图分类号: S157.1

地球关键带(critical zone)是陆地生态系统中各圈层物质迁移和能量交换的交汇区域, 是 21 世纪以来基础科学研究的重点区域^[1], 土壤是关键带的重要研究内容之一。云贵高原广泛分布有一种近代地质时期发育而成的地带性古土壤——山原红壤, 经历了强烈的古气候淋溶风化作用, 有明显的脱硅富铝化特征, 新构造运动之后, 山原红壤区大面积间歇性抬升形成高原面, 近代气候有长达半年的旱季, 土壤侵蚀、剥蚀作用较弱, “云南海拔 1 900 m 以上山原红壤的发育过程自某一地质时期以来便已中断”^[2], 与其他土壤类型有很大的差异。云贵高原喀斯特山原红壤近年来退化严重, 局部地区已退化成多年难以生长植被的“红裸土”^[3], 加剧了人口、粮食、资源、环境、能源等问题间的矛盾, 甚至引起全球环境恶化。通过厘定云贵高原山原红壤区土地覆被类型与土壤养分含量的对应关系, 了解云贵高原山原红壤退化过程中的养分变异, 为云贵高原山原红壤区土壤与土地覆被耦合过程增添新的认识, 进而提高其关键带的服务价值。

土地退化是一个长期的动态过程, 因此研究土地退化需要了解自然环境变化或人为活动影响之前的

土地状态, 并与当前土地的特征进行对比, 才能正确认识土地退化, 但这需要大范围、长时间的定位动态观测, 这也使得时间序列的土壤性状纵向比较的可操作性差。以空间换时间的思路, 对滇东地区同一区域松林、灌丛、草地和裸地 4 种不同土地覆被类型下土壤养分含量进行对比, 分析山原红壤退化过程中的养分变异。土壤养分的退化与植被退化相互促进, 是土壤退化的重要机制^[4]。选择土壤有机质、铵态氮、硝态氮以及速效磷和速效钾进行分析研究, 以期对滇东喀斯特区有植被覆盖的山原红壤退化至没有植被覆盖的裸地的过程中土壤养分的变异有较完整的认识, 并为开展区域尺度上的土壤退化与碳循环研究提供资料, 为喀斯特地区植被恢复、土壤资源利用以及生态恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处元江谷地和云岭山脉南段宽谷以东的滇东喀斯特高原东部, 乌蒙山脉中段、小江断裂东侧, 该区碳酸盐岩地层分布广泛, 从震旦系至二叠系均有出露, 区内高原面保存较好, 地形起伏相对和缓。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41061021)和云南省科技计划专项(2012CA024)资助。

* 通讯作者(wjxynsd@163.com)

作者简介: 许路艳(1989—), 女, 云南曲靖人, 硕士, 助教, 主要从事喀斯特地区景观格局与过程研究。E-mail: 1064264391@qq.com

属低纬高原季风气候,年降水量在 1 000~1 500 mm,四季温和,年平均气温 14℃ 左右,雨热同季,干湿分明,光照热量条件较好,地带性植被以壳斗科的常绿阔叶林和云南松林为主。在高原面和绝大部分山地上覆有一种由近代地质时期发育而成的地带性古土壤—山原红壤。

1.2 样品采集与分析方法

于 2013 年 9 月进行了野外样品采集。在富源海田后山选择环境条件(海拔、坡向、坡度)近似、距离相隔不远植被覆盖类型分别为林地、灌丛、草地、裸地的样地,用 GPS 定位,减少自然因素干扰,选取自然土壤剖面,获得不同植被类型下土壤剖面。

在每种土地覆被类型下各挖一个土壤剖面,依据各覆被下土层实际厚度状况,确定各土壤剖面深度,进行薄层取样,每 10 cm 采集一层土壤样品,每个土壤样品重 1.5~2 kg,带回实验室风干、去杂、过筛后备用。具体方法:有机质:水合热-光电比色法;速效磷:NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;铵态氮:靛酚蓝比色法;硝态氮:硝酸试粉法;速效钾:四苯硼钠比浊法。每样测定 3 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同覆被山原红壤土体有机质变化

土壤有机质能够储蓄水分和养分,是植物所需的多种养分的主要来源,也为土壤中异养性生物提供能源,改善土壤结构,协调土壤通气透水性和保水性,且保持土壤的高可渗性,有机质含量也可控制或减少土壤侵蚀。因此,有机质是反映土壤退化的重要指标之一^[5-8]。

各土壤剖面有机质含量垂直变化明显(图 1)。灌丛和草地土壤剖面有机质含量随剖面深度的增大而呈明显减少趋势,且表层土壤有机质含量最高;0~40 cm 的各层土壤,灌丛有机质含量均高于草地;草地的有机质含量在 110~130 cm 土层处明显偏高,其原因可能是其下面有石块,阻拦了有机质向下淋溶。林地和裸地土壤剖面有机质含量随剖面深度的增加没有显著变化,有机质含量最高值没有在表层;裸地土壤剖面在 20~30 cm 层有机质含量高于表层,增高了 26.24%,原因可能是裸地没有上覆植被,表层几乎没有有机质来源,较干旱的环境和土壤特殊的质地使表层土壤发生龟裂,使表层土壤有机质的淋溶物很容易沉积到下层。

土层深度越大,有机质含量变化幅度越小,在 0~30 cm 范围,各土层有机质含量变化迅速,这种趋势反映了不同土层的腐殖质积累和分解规律不同^[9],

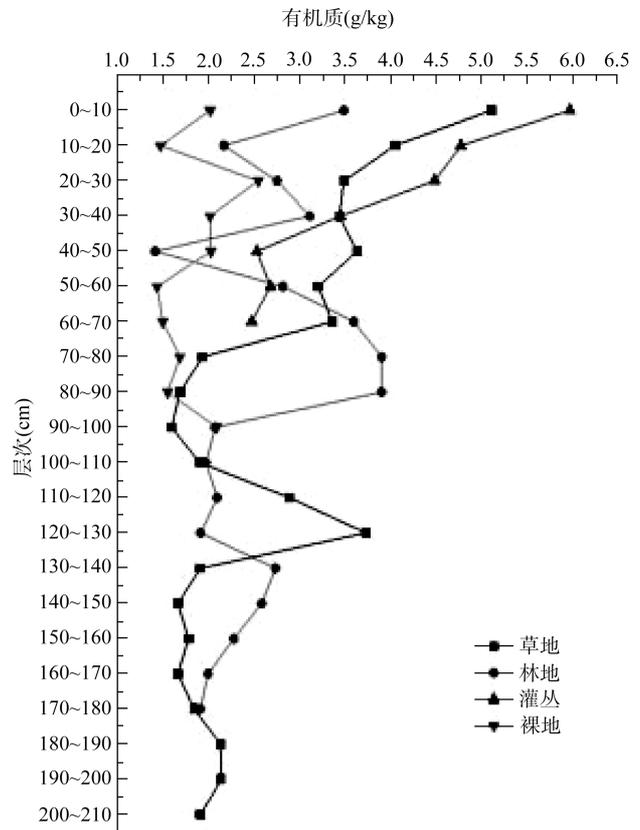


图 1 不同土地覆被下土壤有机质含量深度分布特征
Fig. 1 Vertical distribution of SOM in the four soil profiles under the different vegetation types

离地表越近的土层通气性越好,根系发育、生物活动强烈、枯落物分解较快、土壤有机质容易分解而不容易积累,使有机质在表层含量变化较大;剖面深度较深的土层土壤生物地球化学作用和物理、化学性质较稳定,有机质分解作用缓慢容易积累,含量变化范围小^[10]。

研究区表层土壤(0~20 cm)有机质含量因土地覆被类型变化而不同,对其进行对比发现:随着土地覆被从灌丛退化至裸地,土壤有机质含量也从灌丛至裸地依次减少:灌丛(5.37 g/kg) > 草地(4.58 g/kg) > 林地(2.83 g/kg) > 裸地(1.74 g/kg)。

取各个土壤剖面平均值、标准差和变异系数进行统计,结果见表 1。不同土地覆被山原红壤剖面有机质平均含量为:灌丛(3.77 g/kg) > 草地(2.62 g/kg) > 林地(2.59 g/kg) > 裸地(1.83 g/kg),与表层有机质含量递减规律一致。灌丛的有机质含量最大,与龙健等^[10]研究的贵州喀斯特区石灰土有机质的含量在几种土地利用类型之间比较的最高值为灌木林地的结果相似。灌丛中除火棘、杜鹃等灌木外,还有大量草本植物,植被种类多、覆盖度高,土壤可以接受大量地表植被枯落物,且存在大量植物细根,有机质来源丰富,

有关研究表明,植物细根有较高的生长速率和死亡分解率,细根对土壤有机质含量的提高作用明显^[11]。林地的有机质低于灌丛和草地,这可能与该区主要植被为人工种植的云南松有关,松林下几乎没有灌木和草

本植物,植被单一,栽种时间较短(15~20年),使得土层中植物枯落物和细根较少,有机质来源少。草地土壤剖面有机质含量的变异系数最大,裸地土壤剖面各层之间有机质含量的变异系数最小。

表 1 不同土地覆被土壤剖面有机质含量变化(g/kg)
Table 1 Vertical distribution of SOM contents in soil profiles under the different vegetation types

土地覆被类型	样本数	剖面(cm)	范围	平均值	标准差	变异系数
林地	18	0~180	1.41~3.90	2.59	0.75	28.80
灌丛	7	0~70	2.47~5.97	3.77	1.35	35.73
草地	21	0~210	1.60~5.11	2.62	1.01	38.53
裸地	10	0~100	1.43~2.55	1.83	0.36	19.77

2.2 不同土地覆被下山原红壤剖面养分含量变化

土壤养分的退化与植被退化相互促进,是土地退化的重要机制^[12-13]。对不同植被下土壤剖面养分含量进行对比可知(图 2),有植被覆盖的灌丛、草地和林地土壤硝态氮的含量均随剖面深度的递增变化甚微,而没有植被覆盖的裸地硝态氮含量随剖面深度的递增明显下降。

灌丛、草地和林地铵态氮的土壤剖面含量垂直变化明显,裸地的铵态氮含量垂直变化不明显,最高值在 30~40 cm 层;0~30 cm 的土壤剖面层铵态氮表现出土地覆被从灌丛至裸地含量逐渐减少,依次为灌丛>林地>草地>裸地。

有植被覆盖的 3 种土壤剖面速效钾含量均随土壤剖面深度的递增而减少,剖面深度大于 50 cm 的各层土壤垂直变化甚微;裸地的土壤速效钾含量垂直变化规律不明显,在 0~30 cm 各土层中速效钾随剖面深度递增而减少,在 30~60 cm 各土层中速效钾含量明显增大,深度大于 60 cm 的土层中速效钾含量变化趋于稳定。

土壤速效磷的含量在 0~30 cm 土层范围内均随剖面深度递增而减少,剖面深度大于 30 cm 的速效磷含量随剖面的深度递增没有明显的变化规律。由于速效性养分受时间和各种环境因子的影响较为严重,因此不同土地覆被下速效磷和速效钾的变化只具有相对比较的意义,还需要进行多次采样的比较研究。

2.3 不同土地覆被下山原红壤有机质与养分的相关性分析

相关分析结果表明,林地和灌丛的有机质与养分的相关性均呈现出:有机质与铵态氮、硝态氮和速效钾含量存在正相关,相关程度依次为:铵态氮>硝态氮>速效钾,有机质与速效磷含量呈现负相关,且其相关性灌丛明显大于林地。林地和灌丛土壤有机质与氮素关系最为密切,说明土壤有机质和氮素的含量与

土壤中动植物残体分布规律一致,与大多数的研究结果一致^[14-18],结合相关性分析可知提高土壤有机质最直接的影响是土壤供氮能力的增强。灌丛的土壤有机质与速效磷有较强的负相关。

草地山原红壤有机质与硝态氮、速效钾和速效磷含量的相关程度依次为:速效钾>速效磷>硝态氮;有机质与速效钾的含量存在较强的相关性($r>0.5$),与贵州喀斯特地区草本植被盖度和土壤养分的相互关系研究结果一致^[19],土壤速效钾含量是限制草本群落分布的主要因素。草地的土壤有机质与铵态氮含量几乎不存在相关性。

裸地的山原红壤有机质与养分含量相关性较弱($r<0.5$),其相关程度依次为:速效磷>硝态氮>铵态氮;裸地的山原红壤有机质与速效钾的含量呈负相关;林地、灌丛和草地的土壤铵态氮与硝态氮含量均呈明显的正相关,而裸地的土壤铵态氮与硝态氮含量呈显著的负相关,这反映了山原红壤上覆植被从林地退化到裸地的过程中土壤养分也发生了巨大的变化。

3 讨论与结论

云贵高原山原红壤区从能生长植被的山原红壤退化至多年难以生长植被的“红裸土”,土体平均有机质含量呈现灌丛>草地>林地>裸地的减少趋势。

不同土地覆被下土壤有机质垂直变化差异明显。灌丛和草地土壤有机质含量随剖面深度的增大而明显减少,且表层土壤有机质含量最高;林地和裸地土壤剖面有机质含量随剖面深度的增加没有明显的变化规律,有机质含量最高值没有在表层;土层深度越大,有机质含量变化幅度越小。

不同土地覆被下山原红壤有机质与铵态氮剖面平均含量递减规律均为灌丛>草地>林地>裸地,没有植被覆盖的裸地土壤剖面铵态氮和有机质的含量最少,但硝态氮、速效钾和速效磷平均含量均高

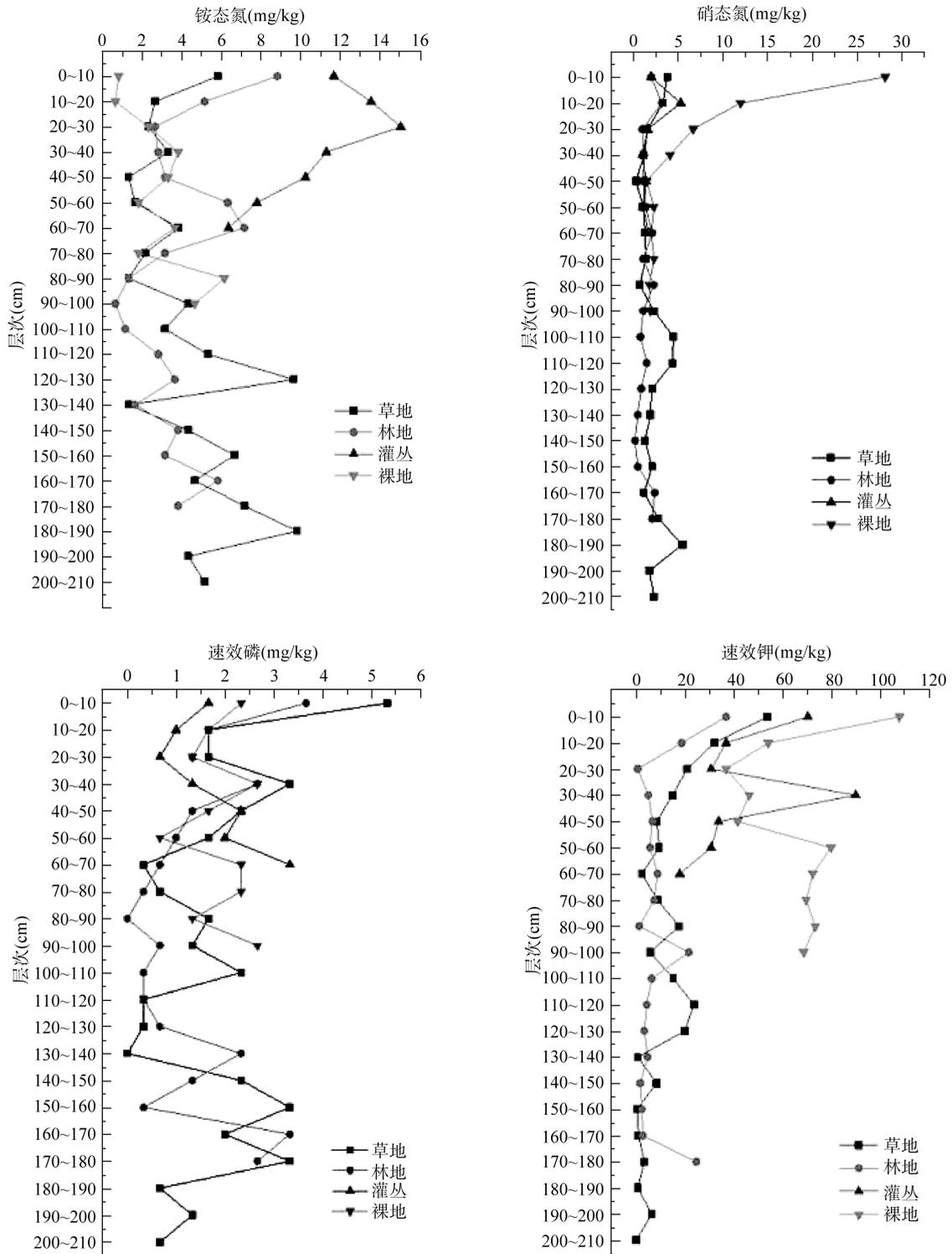


图 2 不同土地覆被下土壤养分含量深度分布特征

Fig. 2 Vertical distribution of nutrient contents in the four soil profiles under the different vegetation types

表 2 林地山原红壤有机质与养分的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between SOM and nutrient contents of woodland soil

	铵态氮	速效钾	速效磷	硝态氮	有机质
铵态氮	1				
速效钾	0.407	1			
速效磷	0.486	0.483	1		
硝态氮	0.467	0.410	0.288	1	
有机质	0.230	0.031	-0.061	0.135	1

表 3 灌丛山原红壤有机质与养分的相关性分析
Table 3 Correlation analysis between SOM and nutrient contents of the soil under the bushwood

	铵态氮	速效钾	速效磷	硝态氮	有机质
铵态氮	1				
速效钾	0.278	1			
速效磷	-0.919**	-0.376	1		
硝态氮	0.413	-0.167	-0.333	1	
有机质	0.703*	0.420	-0.639	0.454	1

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。

表 4 草地山原红壤有机质与养分的相关性分析
Table 4 Correlation analysis between SOM and nutrient contents of grassland soil

	铵态氮	速效钾	速效磷	硝态氮	有机质
铵态氮	1				
速效钾	-0.035	1			
速效磷	0.044	0.448	1		
硝态氮	0.550	0.286	0.020	1	
有机质	-0.009	0.753*	0.292	0.065 8	1

表 5 裸地山原红壤有机质与养分的相关性分析
Table 5 Correlation analysis between SOM and nutrient contents of the soil under the nudation

	铵态氮	速效钾	速效磷	硝态氮	有机质
铵态氮	1				
速效钾	-0.173	1			
速效磷	0.119	0.104	1		
硝态氮	-0.607	0.537	0.157	1	
有机质	0.021	-0.387	0.227	0.174	1

于其他 3 种土地覆被下的平均含量，说明在土地退化过程中，土地覆被与土壤有机质和铵态氮含量有直接关系。

灌丛、草地和林地土壤的硝态氮、铵态氮和速效钾含量均有相似的垂直变化规律：硝态氮的含量均随剖面深度的递增变化甚微，铵态氮和速效钾含量均随土壤剖面深度的递增而减少；而“红裸土”的硝态氮含量随剖面深度的递增明显减少，铵态氮含量随剖面深度的递增而增大，速效钾含量在剖面深度大于 30 cm 的土层中没有明显的变化规律。各土体速效磷的含量在 0 ~ 30 cm 土层范围内均随剖面深度递增而递减，剖面深度大于 30 cm 的速效磷含量随剖面的深度递增没有明显的变化规律。

林地和灌丛的有机质与铵态氮、硝态氮和速效钾含量正相关，相关程度依次为：铵态氮 > 硝态氮 > 速效钾，林地和灌丛土壤有机质与氮素关系最为密切，说明土壤有机质和氮素的含量与土壤中动植物残体分布规律一致，提高土壤有机质最直接的影响是土壤供氮能力的增强；草地土壤有机质与铵态氮、硝态氮和速效磷含量相关性很弱，与速效钾的含量有较强的

相关性 ($r > 0.5$)，土壤速效钾含量是限制草本群落分布的主要因素；裸地土壤有机质与养分含量相关性最弱 ($r < 0.25$)；林地、灌丛和草地的土壤铵态氮与硝态氮含量均呈中度正相关 ($0.413 < r < 0.55$)，而裸地的土壤铵态氮与硝态氮含量呈较强的负相关，这反映了山原红壤上覆植被从林地退化到裸地的过程中土壤养分也发生了巨大的变化。

参考文献：

- [1] 张波, 曲建升, 丁永健. 国际关键带研究发展回顾与美国关键带研究进展介绍[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(5): 723-728
- [2] 况明生, 赵维城. 云南北部山原红壤成土年龄的初步研究[J]. 云南地理环境研究, 1997, 9(1): 66-71
- [3] 胡灿灿, 王嘉学, 陈虎. 滇东石漠化伴生“红裸土”表层有机质含量与酸碱度关系分析[J]. 云南地理环境研究, 2012, 24(4): 97-103
- [4] 吕贻忠, 李保国, 崔燕. 不同植被群落下土壤有机质和速效磷的小尺度空间变异[J]. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1 581-1 588
- [5] 宋志伟, 李大为, 曹卫贤. 土壤肥料[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 22-23

- [6] 董杰, 罗丽丽, 杨达源. 三峡库区紫色土坡地土壤退化特征: 土壤养分贫瘠化[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(6): 58–64
- [7] Krishna MS, Naidu SA, Subbaiah CHV. Sources, distribution and preservation of organic matter in a tropical estuary(Godavari, India) [J]. Estuaries and Coasts, 2015, 38: 1 032–1 047
- [8] Li YQ, Zhang XY, Awada T, Wang SK. Accumulation of soil organic carbon during natural restoration of decertified grassland in China's Horqin Sandy Land[J]. Journal of Arid Land, 2015, 7(3): 328–340
- [9] 王琳, 欧阳华, 周才平. 贡嘎山东坡土壤有机质及氮素分布特征[J]. 地理学报. 2004, 59: 1 012–1 019
- [10] 龙健, 黄昌勇, 李娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 76–79
- [11] 单建平, 陶大立. 国外对树木细根的研究动态[J]. 生态学杂志, 1992, 11(4): 46–49
- [12] Potthast K, Hamer U, Makeschin F. Land-use change in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affects soil microorganisms and nutrient cycling[J]. Biogeochemistry, 2012, 111: 151–167
- [13] Reis GL, Lana AMQ, Mauricio R, Lana RMQ. Influence of trees od soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah[J]. Plant and Soil, 2010, 329: 185–193
- [14] 白军红, 邓伟, 张玉霞. 洪泛区天然湿地土壤有机质及氮素空间分布特征[J]. 环境科学, 2002, 23(2): 77–81
- [15] 沈承德, 刘东生, 彭少麟. 鼎湖山自然保护区森林土壤¹⁴C测定及¹⁴C示踪初步研究[J]. 科学通报, 1998, 43(16): 1 775–1 780
- [16] 白军红, 邓伟, 朱颜明. 湿地土壤有机质和全氮含量分布特征对比研究——以向海与喀尔沁自然保护区为例[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 233–237
- [17] 白军红, 邓伟, 张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律[J]. 湖泊科学, 2002, 14(2): 145–150
- [18] 赵汝东, 樊剑波, 何园球, 宋春丽. 林分密度对马尾松下土壤养分及酶活性的影响[J]. 土壤, 2012, 44(2): 297–301
- [19] 高晟, 王磊, 薛建辉. 贵州喀斯特地区草本植被盖度与土壤养分的相互关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(1): 79–83

Variations of SOM and Available Nutrients in Soil Profiles During the Process of Mountain Red Earth Degradation

XU Lu-yan¹, WANG Jia-xue^{2*}, YU Jie-fang², WANG Hao-han³

(1 School of Biological Resources and Environmental Science, Qujing Normal University, Qujing, Yunnan 655000, China; 2 School of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 3 Department of Geography and Resource Environment, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Mountain red earth is a kind of zonal paleosol and the most serious degradation occurred in the soil in recent years. To get insight into the degradation mechanisms of mountain red earth, the method of “exchange time with space” was used to compare the available nutrients in soil profiles under woodlands, shrubs, grassland and bare land in the same area of Yun-gui plateau. The results indicated that the average soil SOM contents followed the order: shrubs > grassland > woodlands > bare land. The SOM contents decreased with the increasing depth in the profiles of shrubs and grassland, while there was no obvious vertical variation of soil SOM in the profiles of bare land and woodlands. Compared to the lands with vegetation, bare land showed some different characteristics in the contents of soil ammonium-N, nitrate-N and available K. The nitrate-N content decreased gradually with the increasing depth in soil profile of bare land, while the ammonium-N changed oppositely with the depth of the soil profile. The content of soil available K was higher under bare land than the lands with vegetation and it did not change with depth below 30 cm in the soil profile. The correlation between SOM and nutrients was weakened with the degradation of vegetation, it was the strongest under shrubs and the weakest under bare land.

Key words: Mountain red earth; Soil profile; SOM; Available nutrient; Correlation analysis