

西南喀斯特地区石灰岩与白云岩发育土壤的养分含量

肖时珍¹, 何江湖^{1*}, 曾成², 肖华¹, 雷博林³

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001; 2. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 3. 贵州黔东南苗岭国家地质公园施秉县管理局, 贵州 施秉 556200)

摘要:【目的】为喀斯特地区土壤养分管理和可持续经营提供借鉴和参考。【方法】在贵州省施秉县的白云岩区白垛村、石灰岩区石桥村采集林地和旱地的土壤样品, 对其进行土壤养分分析。【结果】白云岩发育的土壤具有较高的有机质、全氮、有效磷、速效钾和水解氮, 石灰岩土壤具有较高的全磷和全钾; 石灰岩和白云岩发育土壤的全氮与水解氮和有机碳呈极显著正相关关系, 水解氮与有机碳在石灰岩区为显著正相关关系, 在白云岩区呈极显著正相关关系; 土地利用方式对两种岩性发育土壤的养分含量具有明显的影响, 石灰岩林地土壤全钾、全氮、水解氮、有机碳含量高于旱地, 速效钾、全磷、有效磷、pH 低于旱地; 白云岩林地土壤全磷、有效磷低于旱地, 其他指标均高于旱地; 白云岩发育的土壤养分有机质、全氮、全磷、全钾含量分级分别为二级、一级、六级和三级, 石灰岩发育土壤的分别为二级、一级、五级和一级。【结论】土壤养分既受成土母岩的影响也受土地利用方式的影响。

关键词: 白云岩; 石灰岩; 土地利用方式; 土壤养分; 西南喀斯特地区

中图分类号: S153 文献标识码: A

Nutrient Content of Soil Developed from Limestone and Dolomite in Karst Areas of Southwest China

XIAO Shi-zhen¹, HE Jiang-hu^{1*}, ZENG Cheng², XIAO Hua¹, LEI Bo-lin³

(1. School of Karst Science/State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guizhou Normal University, Guizhou Guiyang 550001, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou Guiyang 550081, China; 3. Shibing Administration Bureau of Miaoling National Geopark, Guizhou Shibing 556200, China)

Abstract 【Objective】The objective of the paper is to provide a reference for soil nutrient management and sustainable operation in Karst areas. 【Method】The soil samples were collected from woodland and dry land in Baiduo Village (dolomite areas) and Shiqiao Village (limestone areas) in Shibing County, Guizhou Province, and then the soil nutrient was analyzed. 【Result】The soil developed from dolomite was featured with higher organic matters, total N, available P, available K and hydrolysable N. The soil developed from limestone was featured with higher total P and total K. Total N was positively and very significantly related to hydrolysable N and organic carbon in soil developed from limestone and dolomite. Hydrolysable N was positively and significantly related to organic carbon in limestone areas. Hydrolysable N was positively and very significantly related to organic carbon in dolomite areas. Land use patterns had obvious effects on nutrient content in soil developed from limestone and dolomite. Soil total K, total N, hydrolysable N and organic carbon content in limestone woodland was higher than dry land, and available K, total P, available P and pH was lower than dry land. Soil total P and available P in dolomite woodland are lower than dry land, and other indexes are higher than dry land. The organic matter, total N, total P and total K content in dolomite-developed soil was Grade II, Grade I, Grade VI and Grade III respectively. The organic matter, total N, total P and total K content in limestone-developed soil was Grade II, Grade I, Grade V and Grade I separately. 【Conclusion】Soil nutrient was not only affected by soil forming rock, but also affected by land use pattern.

Key words: Dolomite; Limestone; Land use pattern; Soil nutrients; Karst areas in Southwest China

收稿日期: 2019-02-13

基金项目: 国家重点研发计划项目子课题(2016YFC0502606-01); 国家自然科学基金(41673129); 贵州省科技合作计划项目[黔科合LH字(2015)7775号]; 贵州师范大学研究生创新基金项目[YC(2017)032]; 贵州师范大学资助博士科研项目[GZ-NUD(2017)12号]

作者简介: 肖时珍(1981-), 女, 贵州黎平人, 副教授, 从事地理学与遗产研究, E-mail: 349871690@qq.com; * 为通讯作者: 何江湖, E-mail: 869083332@qq.com

【研究意义】贵州省是典型的喀斯特高原区, 是我国乃至世界发育最完全的喀斯特地带^[1]。喀斯特地区土层浅薄, 生态环境脆弱, 人地矛盾异常尖锐^[2], 往往还伴随着水土流失, 土壤养分退化等问题。土壤养分含量是衡量土壤肥力的物质基础^[3]和重要指标。土壤在形成和演化过程中受气候、海

拔、地貌地形和土地利用方式的影响,其中,土壤养分与土地利用方式有着紧密的联系,土地利用和管理水平在很大程度上影响土壤质量和变化程度^[4-7]。土壤养分的退化会直接导致土地生产力下降甚至丧失。【前人研究进展】近年来,诸多研究者在不同土地利用方式下土壤理化性质和土壤微生物与土壤养分方面进行了大量研究。盛茂银等^[8]研究了喀斯特石漠化地区的植物多样性与土壤理化性质,肖焯等^[9]对土壤微生物和土壤养分进行了具体研究,李果^[10]对喀斯特地区不同利用方式下土壤化学性质和土壤肥力的评价进行了研究,刘梦云等^[11]则是更全面更具体地研究了不同土地利用方式对土壤化学性质的影响,为土壤肥力恢复,土地改良提供了有力依据。同时,岩石作为形成土壤母质的原始物质^[12],是土壤养分的重要来源^[13],在不同的母岩条件下,其土壤养分存在明显差异^[14-15]。不同母岩释放元素的数量和速率存在明显差异^[16],也表征母岩为土壤提供营养元素的潜力是有差别的。【本研究切入点】在当前研究中,针对喀斯特地区不同母岩条件下发育土壤的养分研究较少。【拟解决的关键问题】基于贵州省施秉县白云岩和石灰岩两种喀斯特类型的土壤数据(pH、全氮、水解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、有机碳),研究不同成土母岩的土壤养分含量、不同土地利用方式下土壤养分含量的变化和研究区的土壤质量现状,为喀斯特地区的土地优化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为杉木河小流域的白垛村和石桥村,位于贵州省东部施秉县境内(27°05′49″~27°13′59″N、108°01′34″~108°09′32″E),地处云贵高原东部边缘向湘西低山丘陵过渡的山原斜坡地带,地势由西、西北向东、东南部逐渐降低,最高海拔1615 m,最低海拔520 m,总面积28 295 hm²^[17]。区域内沉积岩厚度达2520 m^[18],基本为寒武系地层,仅在研究区北部包括少部分震旦系、奥陶系、南华系、青白口系等地层。研究区森林生态系统包括以马尾松为

主的针叶林,以壳斗科、樟科和木兰科植物为主的阔叶林,以马尾松、锐齿槲栎等组成的针阔混交林,以及慈竹、河滩冬青等为主的灌丛及灌草丛^[19]。白垛村发育的地层岩性主要为寒武系娄山关组白云岩,岩石整体破碎,岩相产状平缓,内部缝合线构造及裂隙发育^[20]。石桥村发育的地层岩性为石冷水组含泥质白云质灰岩^[21],有岩石裸露,土被不连续。两地直线距离为14.5 km,土壤类型主要为石灰岩和白云岩风化形成的石灰土,气候条件相同,多年平均降水量1220 mm,年均温16℃,为中亚热带季风湿润气候。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集 通过查阅文献和野外勘察,根据土地利用方式,分别在石桥村和白垛村选择旱地和林地两类用地作为研究样地,样地面积为10 m×10 m,每种土地利用方式各选取6个平行样,共采集24个土样。样地基本情况见表1。

1.2.2 土壤养分测定 土壤分析参考鲍士旦^[22]的方法:土壤pH采用电极电位法,土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化-外加加热法,全氮(TN)采用半微量开氏法(流动注射仪测定),全磷(TP)采用氢氧化钠熔融-钼锑抗显色-紫外分光光度法,全钾(TK)采用氢氧化钠熔融-原子吸收法,水解氮(AN)采用碱解扩散法,有效磷(AP)采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法,速效钾(AK)采用中性乙酸铵提取为火焰光度计法。

1.2.3 土壤质量评价 根据国家土壤第2次普查的养分分级标准(表2),土壤中有机质的含量大致是有机碳含量的1.724倍^[23],将所测的有机碳含量换算成有机质,根据研究区测定的大量元素养分含量(有机质、全氮、全磷、全钾)进行土壤质量评价。

1.2.4 数据分析 采用Microsoft Excel 2010进行计算,使用Origin 8.0作图,使用SPSS 22.0进行相关统计和分析。

2 结果与分析

2.1 不同基岩发育的坡地土壤养分

从图1看出,除石灰岩发育土壤的全钾和全磷含量高于白云岩土壤外,其余指标均低于白云岩发育土壤。

表1 土壤样品采集地的地基本情况

Table 1 Basic status of soil sample sites

利用方式 Use pattern	海拔(m) Altitude	植被 Vegetation	覆盖度 Coverage	特征描述 Characteristics description
石灰岩旱地 Limestone dry land	1064	烤烟	0.20	2016-2018年均栽培烤烟,采样时烤烟平均高度10 cm,未见杂草。
石灰岩林地 Limestone woodland	1071	青冈栎为主	0.85	土壤湿润,土层厚度为20 cm,凋落物层厚度为3 cm,发现蚯蚓等土壤动物。
白云岩旱地 Dolomite dry land	1043	无植物	0.00	2017年种植的农作物为辣椒,土地已被翻耕,还未种植作物,无杂草。
白云岩林地 Dolomite woodland	990	樟树为主	0.85	凋落物层厚度为3 cm,土层厚度为20 cm,沙砾含量高,土壤干燥。

表 2 土壤养分分级标准^[24]

Table 2 Classification standard of soil nutrient

等级 Grade	有机质(g/kg) OM	全氮(g/kg) TN	全磷(g/kg) TP	全钾(g/kg) TK
一级 I	>40	>2	>2	>30
二级 II	30 ~ 40	1.5 ~ 2	1.6 ~ 2	24 ~ 30
三级 III	20 ~ 30	1 ~ 1.5	1.2 ~ 1.6	18 ~ 24
四级 IV	10 ~ 20	0.75 ~ 1	0.8 ~ 1.2	12 ~ 18
五级 V	6 ~ 10	0.5 ~ 0.75	0.4 ~ 0.8	6 ~ 12
六级 VI	<6	<0.5	<0.4	<6

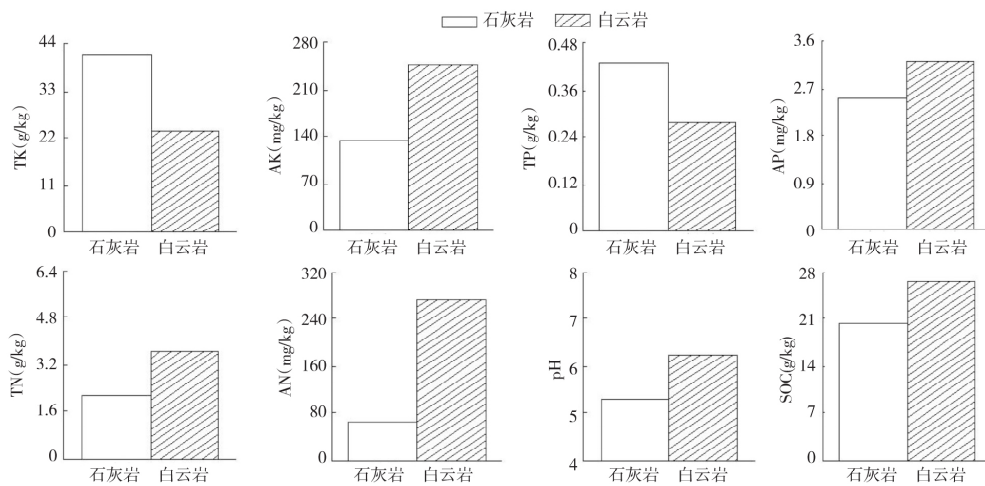


图 1 不同基岩坡地土壤的养分含量

Fig. 1 Nutrient content in soil of different forming rocks

表 3 石灰岩发育土壤养分的相关性

Table 3 Correlation of soil nutrients developed from limestone

土壤养分 Soil nutrients	项目 Item	TN	AN	TP	AP	TK	AK	SOC
TN	r	1						
	P	-						
AN	r	0.730**	1					
	P	0.007	-					
TP	r	0.110	0.276	1				
	P	0.733	0.385	-				
AP	r	-0.554	-0.322	-0.151	1			
	P	0.062	0.307	0.640	-			
TK	r	0.638*	0.521	-0.513	-0.044	1		
	P	0.025	0.082	0.088	0.892	-		
AK	r	-0.372	-0.193	-0.101	0.325	-0.211	1	
	P	0.234	0.547	0.754	0.303	0.510	-	
SOC	r	0.989**	0.675*	-0.007	-0.545	0.708**	-0.392	1
	P	0	0.016	0.983	0.067	0.010	0.208	-

表 4 白云岩发育土壤养分的相关性

Table 4 Correlation of soil nutrients developed from dolomite

土壤养分 Soil nutrients	项目 Item	TN	AN	TP	AP	TK	AK	SOC
TN	<i>r</i>	1						
	<i>P</i>	-						
AN	<i>r</i>	0.989**	1					
	<i>P</i>	0	-					
TP	<i>r</i>	-0.653	-0.720*	1				
	<i>P</i>	0.079	0.044	-				
AP	<i>r</i>	-0.548	-0.556	0.794*	1			
	<i>P</i>	0.160	0.153	0.019	-			
TK	<i>r</i>	0.520	0.577	-0.564	-0.084	1		
	<i>P</i>	0.187	0.134	0.146	0.844	-		
AK	<i>r</i>	0.830*	0.790*	-0.151	-0.058	0.337	1	
	<i>P</i>	0.011	0.020	0.721	0.892	0.414	-	
SOC	<i>r</i>	0.996**	0.984**	-0.613	-0.482	0.533	0.863**	-
	<i>P</i>	0	0	0.106	0.226	0.174	0.006	-

2.2 土壤养分的相关性

2.2.1 石灰岩发育土壤 从表 3 看出,土壤养分中,呈极显著正相关的有全氮与水解氮($r=0.730$, $P<0.01$)、全氮与有机碳($r=0.989$, $P<0.01$)、全钾与有机碳($r=0.708$, $P=0.01$),呈显著正相关的有全氮与全钾($r=0.638$, $P<0.05$)、水解氮与有机碳($r=0.675$, $P<0.05$);其他土壤养分间无显著相关性。

2.2.2 白云岩发育土壤 从表 4 看出,白云岩发育土壤养分中,全氮与水解氮($r=0.989$, $P<0.01$)、与有机碳($r=0.996$, $P<0.01$)均呈极显著正相关,与速效钾呈显著正相关($r=0.830$, $P<0.05$);水解氮与全磷呈显著负相关($r=-0.720$, $P<0.05$),与速效钾呈显著正相关($r=0.790$, $P<0.05$),与有机碳呈极显著正相关($r=0.984$, $P<0.01$);全磷与有效磷呈显著正相关($r=0.794$, $P<0.05$);速效钾与有机碳呈极显著正相关($r=0.863$, $P<0.01$);其他土壤养分间相关性均不明显。

2.3 不同基岩发育及利用方式土壤的化学特征

由图 2 看出,不同基岩同种土地利用方式土壤

养分含量的相差较大。石灰岩林地的土壤 pH 呈较强酸性,白云岩 pH 则呈弱碱性;石灰岩林地速效钾、全氮、水解氮、有机碳含量均小于白云岩林地;石灰岩林地的全钾、全磷、有效磷含量高于白云岩林地;石灰岩旱地 pH 高于白云岩旱地土壤,两者均呈酸性;石灰岩旱地的有效磷、水解氮、速效钾、全氮、有机碳含量均低于白云岩旱地;石灰岩旱地的全钾和全磷含量均大于白云岩旱地;石灰岩林地土壤全钾、全氮、水解氮、有机碳含量高于旱地,速效钾、全磷、有效磷、pH 低于旱地;白云岩林地土壤全磷、有效磷低于旱地,其他指标均高于旱地。

2.4 土壤质量分级

根据研究区的大量元素养分含量(表 5),土壤中的有机质、全钾、全氮属于较高水平,全磷处于较低水平。其中,白云岩和石灰岩发育土壤的有机质、全氮含量平均水平分别在二级、一级;石灰岩发育土壤的全磷、全钾分别在五级和一级;白云岩发育的全磷、全钾分别在六级和三级。

表 5 研究区土壤的大量元素养分含量

Table 5 Macroelements nutrient content in soil in the study area

基岩 Forming rock	有机质(g/kg) OM	全氮(g/kg) TN	全磷(g/kg) TP	全钾(g/kg) TK
石灰岩 Limestone	35.05	2.19	0.43	41.24
白云岩 Dolomite	30.93	2.55	0.35	23.25

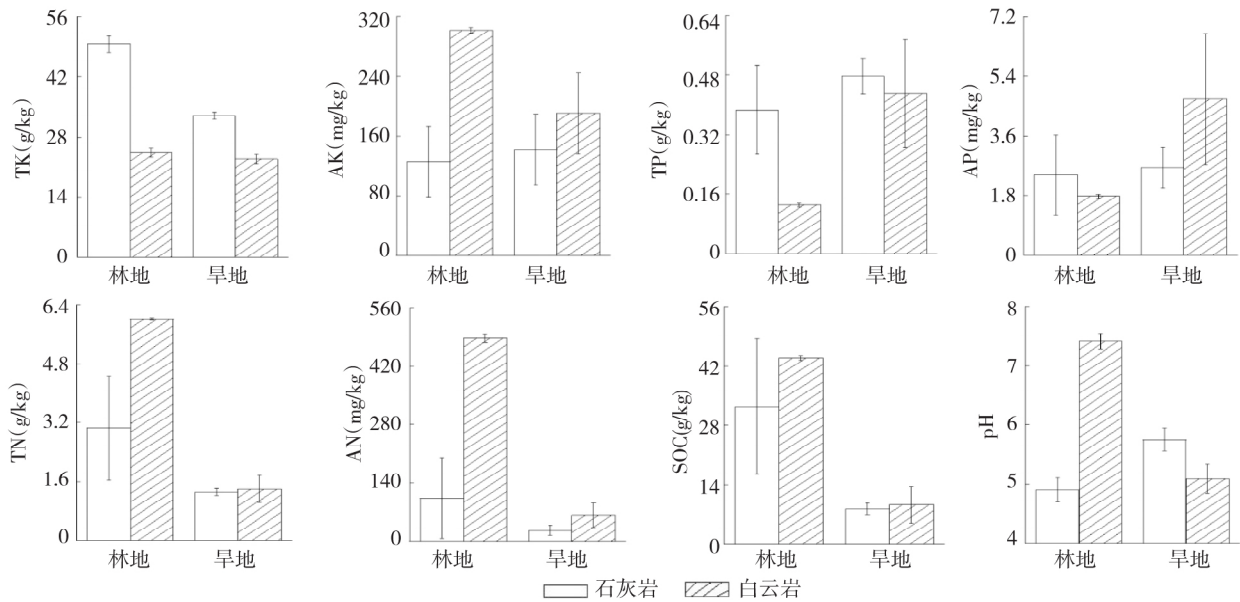


图2 不同基岩发育土壤不同利用方式的养分含量

Fig. 2 Nutrient content in soil of different land use pattern under different forming rocks

3 讨论

3.1 土壤养分间相关性

相关性分析表明,石灰岩区和白云岩区全氮与水解氮和有机碳呈极显著正相关关系,水解氮与有机碳在石灰岩区为显著正相关关系,在白云岩区呈极显著正相关关系。该结果与贾申等^[25]的研究一致。土壤环境中的碳、氮元素密切相关,动植物和土壤生物残体以及人工施用有机肥是土壤有机质的主要来源^[26],土壤中有有机质的含量大致是有机碳含量的1.724倍^[23],而有机质是土壤氮素的主要来源^[27],有机化合物进入土壤后,在微生物酶的作用下,释放出氮、磷等营养元素。总体看,土壤中的碳、氮元素具有显著的相关性,可以用来指示该区域的土壤质量状况。

3.2 不同岩性发育土壤养分差异

不同岩性发育土壤的养分有很大差异^[28],石灰岩和白云岩发育土壤的养分含量差异较大。白云岩发育土壤具有较高的有机质、全氮、有效磷、速效钾、水解氮,相比白云岩发育土壤,石灰岩土壤具有较高的全磷和全钾。研究区石灰岩土壤比较湿润,有机碳、全氮、水解氮、速效钾、有效磷淋失严重,导致土壤酸度较高,而酸性土壤使微生物种类受到限制,从而减慢了有机质的分解^[29],导致白云岩发育土壤的这些养分含量高于石灰岩发育土壤。而土壤钾和磷元素主要来源于岩石的风化^[30],石灰岩的风化速度大于白云岩,故石灰岩土壤中的钾和磷元素含量相对较高。

3.3 土地利用类型对土壤养分含量的影响

同种岩性不同土地利用方式下的土壤养分含量

差异较大。另外,土地利用方式的改变对两类基岩发育土壤的养分具有明显影响。由林地转为耕地后,石灰岩和白云岩土壤的全氮分别减少57%和77%,水解氮分别减少75%和87%,全钾分别减少34%和6%,有机碳分别减少75%和79%,石灰岩土壤的全磷、有效磷、速效钾增加24%、9%、13%,白云岩土壤的全磷、有效磷增加230%、165%,速效钾减少37%。土壤养分主要来源于地表枯枝落叶层的积累、矿化和微生物对动植物残体的分解,林地植被盖度和生物量相对旱地高,受人为干扰的影响小,全氮、水解氮、全钾、有机碳积累量多。而耕地则相反,因为其地表几乎没有枯枝落叶层,造成养分循环代谢较低,相应的养分含量也相对较低^[31]。旱地由于人工施用磷肥,导致土壤中的全磷、有效磷含量增加。因未施钾肥,导致石灰岩旱地土壤较林地干燥,速效钾淋失较林地少,而白云岩土壤较干燥,速效钾淋失现象不明显,旱地由于农作物的吸收,导致土壤中的速效钾含量较白云岩林地少。

3.4 土壤质量状况

研究区土壤中的有机质、全钾、全氮属于较高水平,全磷处于较低水平。这主要是由于该区属于中亚热带山地湿润气候,优越的温、湿条件极有利于生物的繁衍和生长,生物自肥作用强烈,同时受人为活动的干扰较少,石漠化发育程度低,大部分区域基本无石漠化。土壤的物理、化学和生物性质未发生显著退化。

4 结论

通过对相同气候、海拔条件下白云岩和石灰岩

喀斯特地区不同土地利用方式土壤养分的测定,发现土地利用方式和成土母岩的差异对土壤养分的影响较大,进而可以为后期研究和土壤养分管理与可持续经营工作提供理论支撑。受研究区土地利用类型的限制,仅对两种岩性条件下两种土地利用类型的养分进行了研究。因此,关于岩性和土地利用方式对土壤养分的影响,还有待于寻找相同气候条件下、相同海拔、相同土地利用方式的自然研究区或依靠径流小区进行模拟试验,结合土壤物理性质进行深入研究。

参考文献:

- [1]杨明德.论喀斯特环境的脆弱性[J].云南地理环境研究,1990(1):21-29.
- [2]韩美荣,宋同清,彭晚霞,等.喀斯特峰丛洼地土壤矿物质的组成特征与作用[J].应用生态学报,2012,23(3):685-693.
- [3]宋轩,李立东,寇长林,等.黄水河小流域土壤养分分布及其与地形的关系[J].应用生态学报,2011,22(12):3163-3168.
- [4]傅伯杰,郭旭东,陈利顶,等.土地利用变化与土壤养分的变化——以河北省遵化县为例[J].生态学报,2001(6):926-931.
- [5]郑华,苏以荣,何寻阳,等.土地利用方式对喀斯特峰丛谷地土壤养分的影响——以广西环江县大才村为例[J].中国岩溶,2008(2):177-181.
- [6]张萍,郭辉军,刀志灵,等.高黎贡山不同土地类型土壤中微生物的生化活性[J].山地学报,2000(5):457-461.
- [7]史衍玺,唐克丽.人为加速侵蚀下土壤质量的生物学特性变化[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998(1):29-34.
- [8]盛茂银,熊康宁,崔高仰,等.贵州喀斯特石漠化地区植物多样性与土壤理化性质[J].生态学报,2015,35(2):434-448.
- [9]肖焯,黄志刚,武海涛,等.三江平原典型湿地类型土壤微生物特征与土壤养分的研究[J].环境科学,2015,36(5):1842-1848.
- [10]李果.贵州喀斯特地区不同土地利用方式下土壤理化性质与土壤肥力评价[D].重庆:西南大学,2017.
- [11]刘梦云,安韶山,常庆瑞,等.不同土地利用方式下土壤化学性质特征研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005(1):39-42.
- [12]黄会前,何腾兵,牟力.贵州母岩(母质)对土壤类型及分布的影响[J].浙江农业科学,2016,57(11):1816-1820.
- [13]喻阳华,秦仕亿,钟欣平.喀斯特干热河谷花椒林母岩化学组成与元素含量随海拔的分异[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2018,36(2):9-14.
- [14]吴敏,何鹏,韦家少.不同母质条件下海南省校园土壤肥力特性研究[J].安徽农业科学,2008(26):11449-11452.
- [15]张星星,杨柳明,陈忠,等.中亚热带不同母质和森林类型土壤生态酶化学计量特征[J].生态学报,2018,38(16):5828-5836.
- [16]沈钦华,王火焰,周健民,等.含钾矿物中钾的释放及其与溶液环境中离子种类的关系[J].土壤,2009,41(6):862-868.
- [17]李世奇,熊康宁,苏孝良,等.世界自然遗产提名地施秉喀斯特地貌及其演化[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2012,30(3):12-17.
- [18]张乾柱,刘子琦,罗井升,等.岩石地球化学特征对喀斯特峡谷形态与分布影响分析——以贵州施秉喀斯特世界自然遗产预选地为例[J].西南大学学报(自然科学版),2012,34(6):114-120.
- [19]肖时珍,蓝家程,袁道先,等.贵州施秉白云岩喀斯特区水化学和溶解无机碳稳定同位素特征[J].环境科学,2015,36(6):2085-2093.
- [20]刘琦,顾展飞,卢耀如,等.贵州施秉白云岩溶蚀特性及孔隙特征实验研究[J].地球学报,2015,36(4):413-418.
- [21]肖时珍.亚热带典型白云岩流域化学剥蚀速率及碳汇潜力[D].重庆:西南大学,2017.
- [22]鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:29-90.
- [23]黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:33.
- [24]全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术[M].北京:农业出版社,1992.
- [25]贾申,喻理飞.喀斯特石漠化区石灰岩与白云岩土壤理化性质分析——以贵州兴义市为例[J].贵州科学,2010,28(3):29-33,55.
- [26]李天杰,赵焯,张科利,等.土壤地理学[M].北京:高等教育出版社,2004(8):41-42.
- [27]张焯,欧阳真程,赵小敏,等.江西省不同农田利用方式对土壤碳、氮和碳氮比的影响[J].环境科学学报,2018,38(6):2486-2497.
- [28]董玲玲,何腾兵,刘元生,等.喀斯特山区不同母质(岩)发育的土壤主要理化性质差异性分析[J].土壤通报,2008(3):471-474.
- [29]李忠,孙波,林心雄.我国东部土壤有机碳的密度及转化的控制因素[J].地理科学,2001(4):301-304.
- [30]黄巧云.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [31]文小琴,舒英格,何欢.喀斯特山区土地不同利用方式的土壤养分及微生物特征[J].西南农业学报,2018,31(6):1227-1233.

(责任编辑 聂克艳)