

贵州毕节地区不同石漠化程度土壤理化性质特征

李开萍, 刘子琦, 李渊, 肖杰, 董晓超, 曹洋

(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, 贵阳 550001)

摘要: 为揭示喀斯特地区不同石漠化程度土壤理化性质特征及其影响机制, 以贵州毕节石漠化地区土壤为研究对象, 在雨季前、中、后对潜在、轻度、中度、强度石漠化程度的土壤进行了为期4年的监测, 分析了不同石漠化程度土壤理化性质及其各项指标之间的相关性特征。结果表明: 同一石漠化程度下, 土壤有机质、全磷、有效磷、全氮和水解氮含量表现为雨季中>雨季后>雨季前。随着石漠化程度的加深, 土壤田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度和总孔隙度升高, 全磷、有效磷和有机质含量减少。与潜在石漠化程度相比, 轻度、中度和强度石漠化程度的土壤全氮含量分别增加5.6%, 20.9%, 26.6%, 水解氮含量分别增加3.5%, 18.3%, 36.2%, 全钾含量分别增加15.8%, 30%, 46.3%, 速效钾含量分别增加3.9%, 11.3%, 16.5%。相关性分析结果显示, 土壤有机质、全磷、全氮含量、土壤容重、总孔隙度、毛管持水量之间相关性显著($p < 0.05$), 其中土壤有机质含量、全氮含量、容重、总孔隙度间相关性极显著($p < 0.01$)。研究结果为石漠化综合治理工作提供理论与科学依据。

关键词: 石漠化; 土壤理化性质; 贵州

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)04-0205-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.04.033

Physicochemical Properties of Soil in Different Rocky Desertification in Bijie Area of Guizhou, China

LI Kaiping, LIU Ziqi, LI Yuan, XIAO Jie, DONG Xiaochao, CAO Yang

(School of Karst Science, Guizhou Normal University/State Engineering
Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang 550001)

Abstract: In order to reveal the physicochemical properties and their influence mechanism of soil in different rocky desertification in karst area, a four-year monitoring was conducted on soil in different rocky desertification degrees (potential, light, moderate, intensity) before, during and after rainy season in rocky desertification area, Bijie, Guizhou. Physicochemical properties and their correlation characteristics of different soils were analyzed. The results were as follows: In the soils with the same rocky desertification degree, the contents of soil organic matter, total phosphorus, available phosphorus, total nitrogen and hydrolysable nitrogen were all in order as during rainy season>after rainy season>before rainy season. With the deterioration of rocky desertification, soil retention ability, capillary retention ability, capillary porosity and total porosity of soil increased, and the contents of total phosphorus, available phosphorus and organic matter in soil decreased. Compared with the soil in potential rocky desertification degree, total nitrogen contents of soils in light rocky desertification, moderate rocky desertification and intensity rocky desertification increased by 5.6%, 20.9% and 26.6%, respectively, and hydrolysable nitrogen contents of different soils increased by 3.5%, 18.3% and 36.2%, respectively, total potassium contents of different soils increased by 15.8%, 30% and 46.3%, respectively, available potassium contents of different soils increased by 3.9%, 11.3% and 16.5%, respectively. Correlation analysis suggested that organic matter content, total phosphorus content, total nitrogen content, bulk density, total porosity and capillary retention ability correlated significantly ($p < 0.05$), and organic matter content, total nitrogen content, bulk density and total porosity correlated extreme significantly ($p < 0.01$). These results can provide theoretical and scientific basis for the comprehensive control of rocky desertification.

收稿日期: 2017-03-09

资助项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2016YFC0502607); 贵州省科技计划重大专项(黔科合重大专项字[2014]6007号); 贵州师范大学博士科研启动基金项目(2017)

第一作者: 李开萍(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事喀斯特石漠化环境监测评价研究。E-mail: LiKaiping3extra@163.com

通信作者: 刘子琦(1979—), 女, 博士, 副教授, 主要从事喀斯特地貌演化、石漠化治理与监测评价研究。E-mail: 124294329@qq.com

Keywords: rocky desertification; physicochemical properties of soil; Guizhou

贵州省喀斯特面积占全省面积的 73.8%, 是世界最大、最集中的连片喀斯特地区中心^[1]。由于特殊的地质背景和湿润的亚热带气候以及不合理的人类活动, 造成该区的生态环境极其脆弱, 衍生出喀斯特地区特有的“石漠化现象”。为了推进西南地区的可持续发展战略, 国家在“十三五”期间明确要求, 需加强喀斯特地区石漠化的治理与改善工作^[2]。而开展石漠化治理工作, 需要生态环境监测为其提供数据支撑和治理方案。

土壤是陆地生态系统的重要组成部分, 也是重要的自然资源之一。喀斯特石漠化地区受到地质构造、人类活动、降水驱动等因素的影响^[3], 造成土壤贫瘠、成土速率慢、生产力低等特点, 因此研究喀斯特石漠化地区土壤理化性质变化规律, 保护稀缺的土壤资源, 是落实石漠化治理任务的当务之急。目前, 国内外学者从不同角度围绕石漠化地区土壤的 N、P、K 含量进行了广泛研究, 并结合土壤孔隙度、持水量、容重和土壤团聚体等土壤物理性质, 综合分析了石漠化地区的土壤特征, 业已取得一定成绩。鲍乾等^[4]研究了喀斯特石漠化地区特色经果林(花椒、火龙果)下土壤物理性质特征, 对比种植花椒和火龙果对土壤物理性质的影响, 指出在石漠化治理中种植花椒对土壤物理性质改良效果更为显著; 李胜平等^[5]对喀斯特石漠化地区土壤 N、P 含量进行研究, 探讨了季节变化对土壤 N、P 含量的影响; 李菲等^[6]发现喀斯特石漠化地区不同植被类型下土壤 N 含量、土壤容重和含水量的差异特征及其影响机制。然而, 当前对不同石漠化程度背景下土壤理化性质变化以及其相关性的研究相对较少, 长期的监测研究更为鲜见, 该问题尚待深入研究。

基于以上认识, 本文拟以贵州省毕节市撒拉溪示范区朝营小流域不同石漠化程度的土壤为研究对象, 分析其理化性质特征, 探究石漠化演替的 4 个阶段土壤理化性质的变化规律和原因, 以期为喀斯特地区土壤肥力恢复、石漠化综合治理以及生态效益评价研究提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选择国家“十三五”喀斯特高原石漠化综合治理示范区(105°1′12″—105°8′38″E, 27°11′09″—27°17′28″N), 位于贵州省毕节市撒拉溪镇朝营小流域, 总面积 56.33 km², 喀斯特面积占 79.36%。地貌类型主要为峰丛、槽谷和丘陵洼地, 地势西高东低呈阶梯状分布, 起伏较大, 平均海拔 1 600 m; 该区属暖

温带高原季风湿润气候, 冬无严寒, 夏无酷暑, 干湿分明, 年均温 13.4 ℃, 年均降水量 960 mm; 岩性以二叠系下统(P1)中厚层石灰岩为主; 土壤以石灰土为主, 长期受土壤侵蚀与岩溶作用的影响, 地表溶沟、石芽发育, 地下裂隙、洞穴发育明显, 土壤贫瘠且多集聚于溶沟、石芽中, 土层平均厚度 15 cm; 植被类型主要为灌丛、乔木, 由于人类活动对原生植被的破坏, 地表植被覆盖率低。

1.2 土壤样品采集

在 4 种不同石漠化程度的试验区, 分别选取 3 个样地进行采样, 每个样地相距 10 m, 样地面积 20 m×20 m, 样地除石漠化程度不同外, 海拔、坡度、植被覆盖率等情况基本相同(表 1)。自 2012 年至 2015 年, 每年在雨季前、中、后时期(4 月, 7 月, 11 月)现场由样地中心按蛇形采土法选择 5 个采样点, 4 种石漠化程度的土壤采样点共计 60 个。使用环刀采土作为待测物理土, 同时自上而下采集 0—15 cm 的土壤 1 kg 混合均匀作为化学指标待测土样(该石漠化地区土层较薄, 部分区域仅有 15 cm)。

表 1 样地基本信息

石漠化等级	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	基岩裸露率/%	植被覆盖率/%
潜在	1844	10	NW	45	50
轻度	1748	15	SE	60	40
中度	1838	25	SW	72	25
强度	1860	25	SE	80	10

1.3 室内试验

采用环刀法测试土壤容重、田间持水量、毛管持水量、总孔隙度、毛管孔隙度。每次采集的土壤样品及时处理, 挑选出化学土样中的植物根系、杂物、石块, 在通风阴凉处风干后研磨过 0.25 mm 筛密封保存进行化学实验。土壤有机质含量采用重铬酸钾油浴加热法测定; 全氮含量测定采用凯氏定氮法测定; 全磷含量采用高氯酸、浓硫酸混合消解钼锑抗比色法测定; 全钾含量采用碱熔—钼锑抗分光光度法测定; 水解氮含量采用碱解扩散法测定; 有效磷含量采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗分光光度法测定; 速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度法^[7]测定。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性质

土壤物理性质不仅影响土壤保持和供应水肥的能力, 对调控土壤气热状况、水分入渗性能和地表径流也有重要作用^[8]。从表 2 可以看出, 与潜在石漠化程度相比, 轻度和中度石漠化程度的土壤容重分别增加了 3.2%, 8.8%, 差异显著($p < 0.05$); 与中度石漠

化相比,强度石漠化程度土壤容重下降 0.7%,差异不显著($p>0.05$),反映了从潜在到中度石漠化土壤有退化的趋势,但是从中度到强度石漠化,土壤容重下降,说明土壤开始出现改良的倾向。与潜在石漠化程度相比,轻度、中度和强度石漠化程度的土壤田间持水量分别增加 7.2%,9.3%,19.2%,差异显著($p<0.05$);毛管持水量分别增加了 13.5%,27.1%,

49.4%,差异极显著($p<0.01$);总孔隙度分别增加 1.7%,5.5%,11.6%,差异显著($p<0.05$);毛管孔隙度分别增加 16.7%,37.9%,56.1%,差异极显著($p<0.01$)。由此可知,土壤田间持水量、毛管持水量、总孔隙度和毛管孔隙度随石漠化程度加深而增加,且上述指标在不同石漠化程度下变化较大,受石漠化程度影响较为明显。

表 2 土壤物理性质

石漠化等级	年份(年)	土壤容重/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	田间持水量/%	毛管持水量/%	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%
潜在	2012	1.27±0.09	38.08±8.15	27.19±3.98	47.79±4.12	26.54±5.12
	2013	1.25±0.11	36.13±8.36	26.91±4.12	46.81±4.72	26.76±5.92
	2014	1.24±0.11	38.21±7.72	27.15±3.19	46.56±4.37	26.59±6.16
	2015	1.23±0.12	37.98±7.65	27.13±4.32	49.32±3.88	27.29±5.77
	平均值	1.25	37.60	27.09	47.62	26.79
轻度	2012	1.28±0.07	39.55±6.15	31.72±4.66	48.21±4.15	31.68±6.11
	2013	1.31±0.04	40.73±7.16	30.11±4.12	48.12±3.11	30.81±5.82
	2014	1.29±0.07	40.84±9.15	30.62±4.51	49.04±2.31	31.04±3.79
	2015	1.27±0.08	40.07±9.07	30.56±4.42	48.33±2.11	31.53±3.81
	平均值	1.29	40.29	30.75	48.43	31.27
中度	2012	1.38±0.09	41.17±5.98	34.69±4.52	49.91±3.88	36.87±3.85
	2013	1.36±0.08	40.99±5.88	33.96±4.63	50.27±3.14	37.15±4.62
	2014	1.37±0.06	41.12±8.31	34.77±6.57	50.52±2.37	36.71±5.12
	2015	1.34±0.07	41.15±7.27	34.29±5.95	50.33±2.15	37.02±4.87
	平均值	1.36	41.11	34.43	50.26	36.94
强度	2012	1.33±0.11	45.11±7.63	40.53±5.17	53.25±2.38	42.08±4.78
	2013	1.37±0.13	44.94±7.16	40.61±4.98	53.02±3.93	42.02±3.92
	2014	1.34±0.13	44.13±7.26	40.51±4.14	53.11±3.71	41.66±3.44
	2015	1.36±0.12	45.07±6.32	40.22±4.26	53.16±4.02	41.55±4.01
	平均值	1.35	44.81	40.47	53.14	41.83

2.2 土壤化学性质

由表 3 可知,不同石漠化程度土壤有机质、全磷和有效磷含量表现为强度<中度<轻度<潜在,与潜在石漠化程度相比,轻度、中度和强度石漠化程度的土壤有机质含量分别降低了 4.1%,11%,18.4%,差异极显著($p<0.01$);全磷含量分别降低了 25.5%,35.4%,47.4%,差异显著($p<0.05$);有效磷含量分别降低 11.3%,21.2%,39.2%,差异显著($p<0.05$)。土壤全氮、水解氮、全钾和速效钾含量表现为强度>中度>轻度>潜在,与潜在石漠化程度相比,轻度、中度和强度石漠化程度的土壤全氮含量分别增加 5.6%,20.9%,26.6%,差异不显著($p>0.05$);水解氮含量分别增加 3.5%,18.3%,36.2%,差异显著($p<0.05$);全钾含量分别增加 15.8%,30%,46.3%,差异极显著($p<0.01$);速效钾含量分别增加 3.9%,11.3%,16.5%,差异极显著($p<0.01$)。说明土壤有机质、全磷、有效磷、全氮、水解氮、全钾和速效钾含量受 4 种石漠化程度的影响明显,并且随石漠化程度加深土壤有机质、全磷和速效钾含量的变化规律与土壤全氮、水解氮、全钾和速效钾含量变化规律相反,其含量变化也较大。

由图 1 可知,强度石漠化程度下,雨季中和雨季

后的土壤较雨季前的土壤有机质含量分别增加了 1.3%,5.4%;全氮含量分别增加了 1.4%,8.6%;全磷含量分别增加 1.7%,8.5%;水解氮含量分别增加 0.8%,2.9%;有效磷含量增加 17.7%,66%。中度石漠化程度下,雨季中和雨季后的土壤较雨季前的土壤有机质含量分别增加了 0.6%,4.6%;全氮含量分别增加了 2.6%,8.9%;全磷含量分别增加 1.8%,11.3%;水解氮含量分别增加 1.2%,5.2%;有效磷含量分别增加 9.5%,23.8%。轻度石漠化程度下,雨季中和雨季后的土壤较雨季前的土壤有机质含量分别增加了 0.7%,4.7%;全氮含量分别增加了 1.4%,8.4%;全磷含量分别增加 1.4%,7.7%;水解氮含量分别增加 2%,6.9%;有效磷含量增加 6.6%,17.5%。潜在石漠化程度下,雨季中和雨季后的土壤较雨季前的土壤有机质含量分别增加了 1.2%,6.3%;全氮含量分别增加了 0.7%,7.3%;全磷含量分别增加 1%,6.5%;水解氮含量分别增加 0.9%,4.6%;有效磷含量增加 1.6%,9.2%。说明在同一石漠化程度下,土壤有机质、全氮、全磷、水解氮、有效磷含量表现为雨季中(7 月)>雨季后(11 月)>雨季前(4 月),且上述化学指标受到温度和降水的影响较大。

表 3 土壤化学性质

石漠化等级	年份 (年)	有机质含量/ (mg·kg ⁻¹)	全氮含量/ (g·kg ⁻¹)	全磷含量/ (g·kg ⁻¹)	全钾含量/ (g·kg ⁻¹)	水解氮含量/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷含量/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/ (mg·kg ⁻¹)
潜在	2012	59.53±4.13	1.42±1.21	4.64±0.04	4.39±0.326	330.51±12.91	5.32±0.32	95.07±5.88
	2013	59.87±6.22	1.43±1.36	4.67±0.05	4.42±0.314	330.74±13.15	5.31±0.29	94.66±6.01
	2014	59.63±7.12	1.42±1.28	4.66±0.04	4.43±0.325	331.52±12.51	5.34±0.34	93.87±6.03
	2015	59.42±6.71	1.43±1.21	4.65±0.04	4.46±0.317	331.42±12.44	5.33±0.32	93.91±5.95
	平均值	59.61	1.43	4.66	4.43	331.05	5.33	94.38
轻度	2012	56.98±7.42	1.49±0.99	3.47±0.04	5.08±0.29	342.52±14.65	4.71±0.29	99.62±5.99
	2013	56.79±5.46	1.53±1.02	3.48±0.04	5.13±0.29	343.15±13.77	4.74±0.36	97.42±6.54
	2014	58.07±3.24	1.51±0.87	3.47±0.06	5.16±0.31	342.69±17.32	4.73±0.17	98.21±6.02
	2015	56.81±4.35	1.52±0.90	3.47±0.05	5.14±0.32	342.71±16.98	4.72±0.21	96.86±5.72
	平均值	57.16	1.51	3.47	5.13	342.77	4.73	98.03
中度	2012	53.08±5.15	1.72±1.31	2.94±0.05	5.88±0.36	392.12±16.16	4.19±0.25	105.52±6.01
	2013	52.92±6.44	1.73±1.23	3.01±0.04	5.68±0.34	390.96±15.42	4.21±0.31	104.42±6.15
	2014	52.89±6.21	1.73±1.13	2.97±0.06	5.77±0.47	392.14±15.54	4.22±0.12	103.83±5.31
	2015	53.24±6.52	1.72±1.11	3.13±0.07	5.69±0.48	391.64±14.83	4.19±0.13	106.41±6.12
	平均值	53.03	1.73	3.01	5.76	391.72	4.20	105.05
强度	2012	49.24±6.54	1.81±1.22	2.46±0.05	6.43±0.33	451.12±17.85	3.24±0.12	109.77±5.83
	2013	48.13±7.12	1.82±1.21	2.44±0.62	6.53±0.46	450.54±17.41	3.22±0.21	110.56±6.33
	2014	48.14±7.15	1.79±1.11	2.45±0.06	6.54±0.41	450.61±18.07	3.26±0.13	108.89±5.38
	2015	49.12±5.97	1.81±1.23	2.46±0.06	6.41±0.31	451.08±17.86	3.25±0.19	110.52±5.57
	平均值	48.66	1.81	2.45	6.48	450.84	3.24	109.94

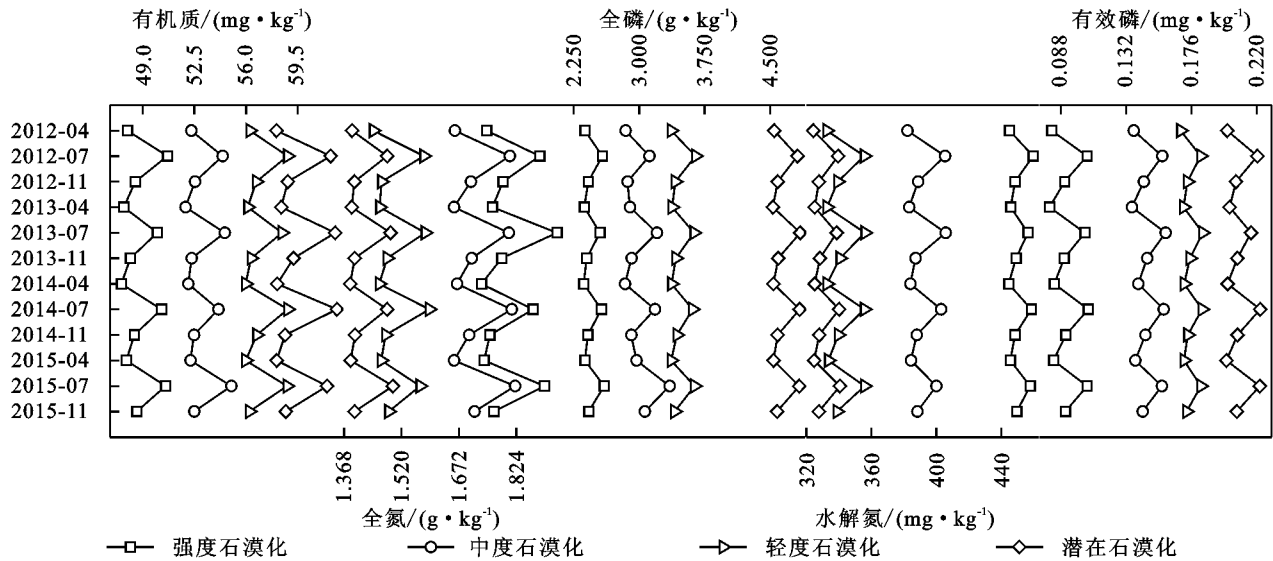


图 1 雨季前、中、后土壤部分化学指标变化

2.3 不同石漠化程度土壤理化性质相关性分析

不同石漠化程度土壤理化性质相关性分析表明(表 4),土壤有机质含量与全氮含量、速效钾含量、总孔隙度呈极显著正相关($p<0.01$),与土壤水解氮含量、容重呈极显著负相关($p<0.01$),与全磷含量、全钾含量、有效磷含量呈显著正相关($p<0.05$),与田间持水量和毛管持水量呈显著负相关($p<0.05$)。土壤全氮含量与水解氮含量、速效钾含量、总孔隙度呈极显著正相关($p<0.01$),与全磷含量、有效磷含量、田间持水量、毛管持水量呈显著正相关($p<0.05$)。全磷含量与有效磷含量呈极显著正相关($p<0.01$),与水解氮含量呈显著正相关($p<0.05$)。全钾含量与速效钾含量呈极显著正相关($p<0.01$),

与毛管孔隙度呈显著正相关($p<0.05$)。土壤水解氮含量与田间持水量、毛管持水量呈显著正相关($p<0.05$)。土壤有效磷含量与速效钾含量呈显著正相关($p<0.05$)。土壤速效钾含量与毛管孔隙度呈显著正相关($p<0.05$)。土壤容重与田间持水量、毛管持水量、总孔隙度、毛管孔隙度呈极显著负相关($p<0.01$)。田间持水量与毛管持水量、总孔隙度、毛管孔隙度呈极显著正相关($p<0.01$)。毛管持水量与总孔隙度、毛管孔隙度呈极显著正相关($p<0.01$)。总孔隙度与毛管孔隙度呈极显著正相关($p<0.01$)。综上所述,土壤有机质含量、全氮含量、容重、毛管持水量和毛管空隙度与绝大多数土壤理化性质指标具有相关性。

表 4 土壤理化性质相关性分析

参数	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X1	1											
X2	0.818 **	1										
X3	0.257 *	0.631 *	1									
X4	0.357 *	-0.129	0.244	1								
X5	-0.826 **	0.805 **	0.254 *	0.127	1							
X6	0.209 *	0.209 *	0.568 **	0.016	0.115	1						
X7	0.381 **	0.269 **	0.265	0.562 **	0.194	0.277 *	1					
X8	-0.143 **	-0.241 **	0.201	-0.193	-0.208	0.024	0.112	1				
X9	-0.220 *	0.576 *	0.124	0.171	0.322 *	0.090	-0.059	-0.562 **	1			
X10	-0.218 *	0.529 *	0.159	0.152	0.269 *	0.026	-0.077	-0.559 **	0.940 **	1		
X11	0.043 **	0.351 **	0.201	0.093	0.207	0.124	-0.112	-0.998 **	0.565 **	0.562 **	1	
X12	0.242	0.207	0.158	0.281 *	-0.007	0.008	0.402 *	-0.420 **	0.897 **	0.982 **	0.423 **	1

注:“+”表示正相关;“-”表示负相关;* 和 ** 分别表示在 $\alpha=0.05$ 和 0.01 水平上的显著性;X1 为土壤有机质含量;X2 为土壤全氮含量;X3 为土壤全磷含量;X4 为土壤全钾含量;X5 为土壤水解氮含量;X6 为土壤有效磷含量;X7 为土壤速效钾含量;X8 为土壤容重;X9 为土壤田间持水量;X10 为土壤毛管持水量;X11 为土壤总孔隙度;X12 为土壤毛管孔隙度。

3 讨论

3.1 水土流失作用对不同石漠化程度土壤有机质、全磷、有效磷含量的影响

张信宝等^[9]指出由于石漠化地区不合理的人类活动、盲目的土地开垦和植被破坏,使土壤表层植被根系遭到破坏,土壤失去了植物根系的网固作用,在强烈降水冲刷下,土壤及其养分随雨水经地表径流和岩石裂隙流失,土壤养分元素含量逐渐降低,土壤板结,土壤结构被破坏^[10]。本研究区潜在和轻度石漠化程度区域存在上述水土流失情况,且研究结果显示随石漠化程度加深土壤容重升高,土壤呈现退化趋势,这与龙健等和景宜然等的研究结果一致^[11-12]。此外,本研究发现该区的土壤理化性质随石漠化程度加深,土壤有机质、全磷和有效磷含量下降,差异极显著($p<0.01$),且区内土壤全磷、速效磷含量偏低(表 3)。原因在于土壤中磷元素和有机质的含量主要取决于空气温度、湿度、上覆植被类型和土壤表层枯落物厚度^[13-14],但研究区内随石漠化程度加深上覆植被减少,进而枯落物、土壤动物和微生物量减少,至此可分解的有机酸和腐殖质含量也就相应减少^[15-16]。

在温度和湿度影响下,同一石漠化程度下的土壤有机质、全磷、有效磷、全氮、水解氮含量雨季中高于雨季前和后且雨季后高于雨季前(图 1)。根据研究结果推测,研究区雨季中空气温湿度较高,微生物和土壤动物活跃,加速了枯落物的分解^[17],致使同一石漠化程度土壤中有机质、全磷、有效磷、全氮和水解氮含量升高;雨季后期气温和降水逐渐降低,枯落物和腐殖质分解速率减缓^[18],土壤中有机质、全磷、有效磷、全氮和水解氮含量减少;雨季前受之前旱季的影响,湿度较雨季后期有明显下降,枯落物和腐殖质分解速率慢^[19],加之春季回暖地表植物为适应生长加速对养分的汲取,所以出现以上变化规律。

3.2 岩石集聚、大气沉降过程对不同石漠化程度土壤全氮、水解氮、全钾和速效钾含量的影响

本研究结果显示土壤全钾、速效钾、全氮、水解氮的含量随石漠化程度加深而升高。贵州喀斯特地区基岩是海相碳酸盐岩,而钾盐矿床均发育于与大洋有关的碳酸盐岩型环境^[20],所以研究区内基岩的钾元素含量较高。再者,物理风化和化学作用使研究区碳酸盐岩裂隙增多和扩大,地下水通过裂隙对碳酸盐岩进行溶蚀,地表径流侵蚀裸露岩石,致使碳酸盐岩中的钾元素进入土壤,所以土壤中的钾元素主要来自于基岩,盛茂银等^[21]的研究证实了这点。本研究区石漠化程度越严重岩石裸露率越高(表 1),同时造成溶沟、石芽发育,岩石集聚效应越强烈,因此土壤全钾、速效钾含量随石漠化程度加深而增加(图 2)。大气中的氮元素通过生物固氮和氮沉降^[22]两种方式进入土壤,由于石漠化程度严重的研究区植被覆盖率低,岩石大面积裸露,枯落物、土壤微生物少,有机质不易积累,导致生物固氮过程减弱^[23-24],但大气氮沉降过程并未受此影响,并且石漠化严重区域植被稀少,大气沉降中氮元素直接由土壤吸收,减少了地表植被吸收后释放到土壤的环节^[25],氮元素损失量减少。学者研究发现氮沉降所带来的 N 总量是生物固氮过程释放的 N 总量的 2 倍以上^[26-28];我国是世界第三大氮沉降区,每年氮沉降量达 $1.8\times10^7\text{ t}$ ^[29],故而推断研究区土壤中的氮元素大部分来自于大气氮沉降,因此石漠化程度越严重土壤全氮和水解氮含量越高(表 2)。在石漠化演替的 4 个阶段中,随石漠化程度的加深水土流失作用减弱^[10],加之强烈的岩石集聚效应和大气氮沉降过程,使得石漠化严重地区土壤的部分理化指标得以改善,尤其是残留在溶沟石芽凹槽内的土壤的理化性质更能体现本研究结果(表 1,表 2)。因此本研究区不同石漠化程度土壤 N、K 元素的含量差异以及土壤部分物理性质的改良可能是石漠化环境下岩石集聚效应、大气氮沉降过程和水土流失减弱三方面原因造成。

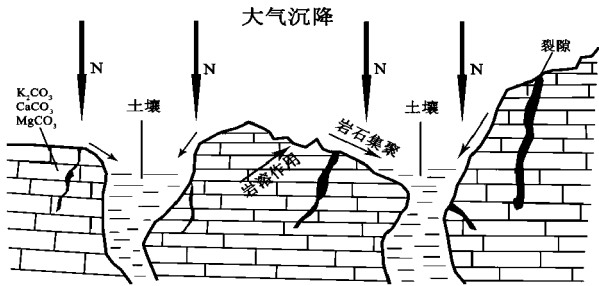


图 2 石漠化地区岩石裸露对土壤养分集聚作用示意

4 结论

(1)喀斯特地区由于植被覆盖少、土层较薄和岩石裂隙强烈发育,水土流失严重,造成土壤容重值较小,土壤有机质、全磷、有效磷含量随石漠化程度加深而降低。

(2)土壤动物和微生物对枯落物、腐殖质的分解速率受到温度和湿度的影响,使得同一石漠化程度的土壤有机质、全磷、有效磷、全氮和水解氮含量,呈现出雨季中>雨季后>雨季前的季节变化特征。

(3)随石漠化程度加深,岩石裸露程度越严重,大气沉降和岩石集聚效应越明显,土壤全氮、水解氮、全钾、速效钾含量增加;土壤田间持水量、毛管持水量、土壤总孔隙度和毛管空隙度出现强度>中度>轻度>潜在的变化趋势。

参考文献:

- [1] 熊康宁,陈永毕,陈浒. 点石成金:贵州石漠化治理技术与模式[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2011:125-139.
- [2] 李裕瑞,曹智,郑小玉. 我国实施精准扶贫的区域模式与可持续途径[J]. 中国科学院院刊,2016,31(3):279-288.
- [3] 熊康宁,池永宽. 中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J]. 生态经济,2015,31(1):23-30.
- [4] 鲍乾,梁建发,王棋,等. 花江喀斯特石漠化区经济型植物的土壤蓄水特征[J]. 水土保持研究,2017,24(1):18-24.
- [5] 李胜平,王克林. 桂西北喀斯特山地草地土壤养分季节变化规律及其对植被多样性的响应[J]. 水土保持学报,2016,30(4):199-203.
- [6] 李菲,李娟,龙健,等. 典型喀斯特山区植被类型对土壤有机碳、氮的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(12):3374-3381.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:18-96.
- [8] 吕殿青,邵明安,潘云. 容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3):209-212.
- [9] 张信宝,王世杰,贺秀斌. 碳酸盐岩风化壳中的土壤蠕滑与岩溶坡地的土壤地下漏失[J]. 地球与环境,2007,35(3):202-206.
- [10] 熊康宁,李晋,龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. 地理学报,2012,67(7):878-888.
- [11] 龙健,李娟,邓启琼,等. 贵州喀斯特山区石漠化土壤理化性质及分形特征研究[J]. 土壤通报,2006,37(4):635-639.

- [12] 景宜然,邓湘雯,邓东华,等. 湘西南不同石漠化程度土壤理化性质及相关性分析[J]. 水土保持学报,2016,30(1):190-195.
- [13] 袁敏,文石林,徐明岗,等. 湘南红壤丘陵区不同生态种植模式下土壤磷素流失特征[J]. 应用生态学报,2013,24(11):3162-3168.
- [14] 杨小燕,范瑞英,王恩姮,等. 典型黑土区不同水土保持林表层土壤磷素形态及有效性[J]. 应用生态学报,2014,25(6):1555-1559.
- [15] 李强,周道玮,陈笑莹. 地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用[J]. 生态学报,2014,34(14):3807-3819.
- [16] Wardle D A, Yeates G W, Barker G M, et al. The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006,38(5):1052-1062.
- [17] 陈婷,郝敏,孔范龙,等. 枯落物分解及其影响因素[J]. 生态学杂志,2016,35(7):1927-1935.
- [18] 高俊琴,欧阳华,吕宪国,等. 三江平原小叶章湿地枯落物分解及其影响因子研究[J]. 水土保持学报,2004,18(4):121-124.
- [19] Zhou X H, Talley M, Luo Y Q. Biomass, litter, and soil respiration along a precipitation gradient in southern great plains, USA[J]. Ecosystems, 2009, 12(8):1369-1380.
- [20] 王淑丽,郑棉平,张震. 四川盆地寒武系含盐盆地演化及其找钾意义:来自碳同位素证据[J]. 地学前缘,2016,23(5):202-220.
- [21] 盛茂银,刘洋,熊康宁. 中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应[J]. 生态学报,2013,33(19):6303-6313.
- [22] 常运华,刘学军,李凯辉,等. 大气氮沉降研究进展[J]. 干旱区研究,2012,29(6):972-979.
- [23] 张春华,王宗明,居为民. 松嫩平原玉米带土壤碳氮比的时空变异特征[J]. 环境科学,2011,32(5):1407-1414.
- [24] 罗由林,李启权,王昌全,等. 川中丘陵县域土壤氮素空间分布特征及其影响因素[J]. 环境科学,2015,36(2):652-660.
- [25] 宋欢欢,姜春明,宇万太. 大气氮沉降的基本特征与监测方法[J]. 应用生态学报,2014,25(2):599-610.
- [26] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China [J]. Nature, 2013, 494(7438):459-462.
- [27] Gruber N, Galloway J N. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle [J]. Nature, 2000, 405(7176):293-296.
- [28] Galloway J N, Townsend A R, Erisman J W, et al. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions [J]. Science, 2008, 320(5878):889-892.
- [29] 李德军,莫江明,方运霆,等. 氮沉降对森林植物的影响[J]. 生态学报,2006,23(9):1891-1900.