

何 秀,文小琴,舒英格,等.喀斯特石漠化区土地利用方式对土壤质量性状的影响[J].江苏农业科学,2017,45(9):234-238.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.063

喀斯特石漠化区土地利用方式对土壤质量性状的影响

何 秀,文小琴,舒英格,何腾兵

(贵州大学农学院,贵州贵阳 550025)

摘要:以贵州省晴隆县喀斯特石漠化生态系统不同土地利用方式土壤为研究对象,采用空间代替时间的方法,以林地(封育)条件下石漠化生境土壤为对照,对比分析灌丛草地、草地和耕地 3 种土地利用方式对土壤物理、化学性状的影响。结果表明:喀斯特石漠化区不同土地利用方式下土壤物理、化学性状差异明显。不同土地利用方式下土壤物理性黏粒含量表现为林地 > 耕地 > 灌丛草地 > 草地,草地土壤有机质含量(143.36 g/kg)、全氮含量(7.82 g/kg)和碱解氮含量(362.77 mg/kg)明显高于其他土地利用方式。耕地土壤有机质含量(56.22 g/kg)、全氮含量(3.10 g/kg)、碱解氮含量(125.22 mg/kg)明显低于其他土地利用方式。林地土壤速效钾含量最高,为 192.15 mg/kg,耕地最低,为 112.55 mg/kg,耕地土壤缓效钾含量最高,为 277.25 mg/kg;除土壤物理性黏粒、细粉粒和 pH 值呈弱-中等变异外,其他指标均呈中等变异;土壤物理性黏粒、有机质、碱解氮和速效磷的相关强度较大,在改善土壤物理性质和促进养分循环中起着重要作用,是土壤质量的关键因子;以林地(封育)为对照,草地、灌丛草地和耕地的土壤退化指数(soil degradation index,简称 SDI)分别为 -1.18%、128.80%、-153.59%,耕地土壤退化指数最低,退化程度最高。研究表明,土地利用变化对喀斯特石漠化区土壤物理和化学性状差异明显,相对林地而言,在提高和维护土壤质量性状方面,草地和灌丛草地具有较好的效果,草地土壤质量相对提高,耕地则相对较差,土壤质量发生了严重的退化。

关键词:喀斯特石漠化区;土地利用方式;土壤性状;土壤退化指数(SDI)

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0234-05

在喀斯特地区,由于地表破碎,成土过程缓慢,生态系统稳定性差,石漠化的形成受很多因素的影响,土地利用变化

收稿日期:2016-09-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:31460133)。

作者简介:何 秀(1992—),女,贵州贵阳人,硕士研究生,研究方向为土壤化学与环境。E-mail:541049776@qq.com。

通信作者:舒英格,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为农业资源与环境。E-mail:maogen958@163.com。

79.92%、63.94%。

参考文献:

- [1] 陈文华,李 刚,许方程,等.染料废水污染现状及处理方法研究进展[J].浙江农业科学,2014(2):264-269.
- [2] 梁志荣.染料废水物理化学处理技术的现状与进展[J].四川环境,2003,22(6):25-29.
- [3] 陈再明,陈宝梁,周丹丹.水稻秸秆生物炭的结构特征及其对有机污染物的吸附性能[J].环境科学学报,2013,33(1):9-19.
- [4] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota—a review[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43(9):1812-1836.
- [5] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5):1719-1730.
- [6] Comelissen G, Kukulska Z, Kaiaitidis S, et al. Relations between environmental black carbon sorption and geochemical sorbent characteristics[J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38(13):3632-3640.
- [7] 陈宝梁,周丹丹,朱利中,等.生物碳质吸附剂对水中有机污染物

(强度)直接影响喀斯特石漠化程度的大小^[1-2]。合理的土地利用方式可以改善土壤团粒结构和有机质土壤抵抗外界干扰的能力,提高土壤质量^[3-4]。而土地利用强度越大,对土壤团粒结构、表层沙化、保水能力、有机质、次生植被、种子库等有明显影响,不仅造成地表植被覆盖度低,土壤细颗粒流失、减少,粗颗粒富集、岩石裸露,而且不合理的土地利用方式还会导致土壤侵蚀加剧,土壤质量下降和退化,进而导致石漠化^[3-4]。目前从土地利用、高程和喀斯特环境方面的研究认

的吸附作用及机理[J].中国科学(化学),2008,38(6):530-537.

- [8] 张 鹏.生物炭对西唯因与阿特拉津环境行为的影响[D].天津:南开大学,2013.
- [9] Ho Y S, McKay G. Pseudo-second order model for sorption processes[J]. Process Biochemistry, 1999, 34(5):451-465.
- [10] Yeddou N, Bensmaili A. Kinetic model for the sorption of dye from aqueous solution by clay-wood sawdust mixture[J]. Desalination, 2005, 185:499-508.
- [11] Li G T, Zhu W Y, Zhu L F, et al. Effect of pyrolytic temperature on the adsorptive removal of p-benzoquinone, tetracycline, and polyvinyl alcohol by the biochars from sugarcane bagasse[J]. Korean J Chem Eng, 2016, 33(7):2215-2221.
- [12] 黄 华,王雅雄,唐景春,等.不同烧制温度下玉米秸秆生物炭的性质及对苯的吸附性能[J].环境科学,2014,35(5):1884-1890.
- [13] Zou W H, Han R P, Chen Z Z, et al. Kinetic study of adsorption of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions using manganese oxide coated zeolite in batch mode[J]. Colloids and Surfaces A (Physicochem Eng Aspects), 2006, 279(1):238-246.

为,高原峡谷环境石漠化发生率最高,贵州省望谟县、晴隆县等地是土壤侵蚀发生主要地区且较为严重,林地、耕地和草地是土壤侵蚀较为严重的区域,尤其是草灌草丛地易退化成裸地,极可能发生石漠化^[5-7]。

西南喀斯特石漠化地区正由于脆弱的生态经济系统遭受长期破坏,普遍存在大量的陡坡开荒和耕种等一些不合理的土地利用方式^[8-9]。在人地矛盾日益突出的情况下,采取合理的土地利用方式是改善、恢复和重建该区土壤生境和生态功能的重要举措。本研究以贵州省晴隆县典型喀斯特石漠化高原峡谷地区为例,分析不同土地利用方式对土壤质量性状的影响,采用土壤退化指数定量分析土壤退化程度,为喀斯特石漠化生态脆弱区的土地利用、生态恢复和科学管理提供借鉴资料。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

晴隆县属高原峡谷区,是典型的喀斯特地形地貌,地理坐标介于 25°33′~26°11′N、105°01′~105°25′E 之间,海拔为 543~2 025 m,是贵州岩溶发育强烈、石漠化类型复杂及面积分布较大的地域之一。全县面积为 1 331.1 km²,石漠化面积 496 km²,占全县总面积的 37.26%,岩溶面积 817 km²,占土

地总面积的 61.38%。该县属高原亚热带湿润季风气候,年降水量在 1 500~1 700 mm 之间,多集中在 5~9 月,约占全年降水量的 75%;冬春水量较少,尤其是境内海拔较低的地方,气候干燥,水量稀少。由于历史、地理等原因,晴隆农业基础十分薄弱,经济发展较为滞后^[10]。

1.2 研究方法

1.2.1 研究样地设置 研究样地位于贵州省晴隆县莲城镇和光照镇 2 个典型的喀斯特石漠化范围内,莲城镇和光照镇无石漠化面积分别为 16.59、33.27 km²,石漠化面积分别为 56.60、129.98 km²^[11]。采用空间代替时间的研究方法,以林地(封育)条件下石漠化生境土壤为对照,选取石漠化生境 3 种不同土地利用方式的灌丛草地、草地和耕地土壤为研究对象,样地类型除土地利用方式不同外,其他因子大都一致,土壤母质均为石灰岩(表 1)。

1.2.2 土壤样品采集 在研究区详细踏查的基础上,依据不同土地利用方式下石漠化区样地类型上选定并设立具有代表性区域面积为 20 m×20 m 样地 1 个,共选取 21 个土壤定点取样样地,其中 2016 年 2 月选取 16 个样地,4 月选取在 2 月的基础上增加了 5 个样地。在样地中心按蛇形方式选 5 个采样点,各点间距 3 m 左右,采集 0~15 cm 混合土壤,装袋运回实验室。

表 1 不同土地利用方式下石漠化区表层土壤基础信息

土地利用类型	地理位置	海拔(m)	地貌	土壤类型	坡度(°)	坡位	采样数(个)
林地	25°51′08″N,105°16′19″E	1475.8~1488.5	喀斯特、高原峡谷	石灰土	0~20	中	10
灌丛草地	25°50′35″N,105°15′54″E	1279.6~1551.8	喀斯特、高原峡谷	石灰土	5~25	中	9
草地	25°51′44″N,105°12′22″E	1278.7~1551.4	喀斯特、高原峡谷	石灰土	5~25	中	8
耕地	25°50′54″N,105°11′46″E	1252.0~1545.7	喀斯特、高原峡谷	石灰土	0~15		10

1.2.3 土壤样品处理与分析方法 对土壤样品进行风干、碾磨和过筛后,储存在玻璃瓶中,于 2016 年 5 月到 7 月期间完成样品测定。土壤机械组成采用比重法测定;土壤 pH 值采用电位法测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定;土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定;土壤全磷含量采用硫酸-高氯酸法测定;土壤有效磷含量采用碳酸氢钠浸提钼蓝比色法测定;土壤速效钾含量采用中性乙酸铵浸提火焰光度法测定;土壤缓效钾含量采用热硝酸浸提火焰光度法测定,分析方法详见《土壤农业化学分析方法》^[12]。采用 SPSS 20.0 软件进行方差分析、t 检验、多重比较(Duncan’s 检验)、相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下的土壤物理性质

2.1.1 土壤颗粒组成 由表 2 可知,在不同土地利用方式下,晴隆县石漠化区域由石灰岩发育形成的土壤较黏重,林地、灌丛草地、草地和耕地的土壤物理性黏粒分别为 61.42%、54.25%、54.04%、56.18%,除林地为轻黏土外,其他质地均为重壤土。

变异系数(coefficient of variation,简称 CV)是土壤性质的内在反映,它的大小表示土壤特性空间变异性的 大小,对抵抗外界条件变化具有很强的敏感性, CV≤10% 为弱变异, 10% < CV < 100% 为中等变异, CV≥100% 为强变异^[13-14]。

研究表明,林地与灌丛草地、草地、耕地之间土壤细粉粒和物理性黏粒存在明显差异;林地与草地之间土壤细沙粒存在显著差异;在各样地,土壤粗沙及中沙粒、粗粉粒、中粉粒和黏粒间无显著差异;土壤粗沙及中沙粒 CV 为 72.58%~82.19%,均属中等变异,不同土地利用方式下土壤粗沙及中沙粒的变异范围较小,但程度最大;细沙粒、中粉粒、粗粉粒和黏粒 CV 均在 11.63%~39.27% 范围,属中等变异,变异范围和程度适中;土壤物理性黏粒和细粉粒 CV 为 6.41%~19.65%,属弱-中等变异,变异程度最小。土壤颗粒组成主要受土壤侵蚀等外营力的作用,导致了土壤中细粒组成发生相对改变。当土壤侵蚀越严重,细粒部分发生细粒随地表径流和运移的量越大,从而导致土壤粗大颗粒增加,石漠化趋势加重。

土壤石漠化的核心是土壤颗粒粗化,喀斯特环境中土壤颗粒组成主要受母质影响^[4]。本研究区域属高原亚热带季风气候,石灰岩为海相沉积岩,在风化过程中,化学风化和生物风化作用很强烈且迅速,故研究区内土壤质地为重壤土,与何腾兵等研究石灰岩发育形成的土壤质地为重壤土-轻黏土,认为土壤颗粒组成的差异性主要受母岩(质)的影响结果^[15]相一致。不同的土地利用方式和植被覆盖变化对土壤颗粒组成也有较大的作用,如长期的超垦、耕作和土壤侵蚀作用也会对表层土壤的颗粒组成产生影响^[1,3],由不同土地利用类型的石灰岩发育形成的土壤沙粒(粗沙及中沙粒+细沙粒)和粉粒(中粉粒+细粉粒)含量均偏低,含量分别在

表 2 不同土地利用方式下晴隆县石漠化区土壤颗粒组成

%

样地类型	统计值	粗沙及中沙粒 (1~0.25 mm) 含量	细沙粒 (0.25~ 0.05 mm) 含量	粗粉粒 (0.05~ 0.01 mm) 含量	中粉粒 (0.01~ 0.005 mm) 含量	细粉粒 (0.005~ 0.001 mm) 含量	黏粒 (<0.001 mm) 含量	物理性黏粒 (<0.01 mm) 含量	质地 (卡钦制)
林地	平均值	2.35a	9.88b	26.67a	14.45a	21.58a	25.09a	61.42a	轻黏土
	变异系数	73.45	39.27	23.76	34.45	10.22	23.92	8.10	
灌丛草地	平均值	3.65a	14.08ab	28.02a	11.36a	20.81a	22.08a	54.25b	重壤土
	变异系数	72.58	37.34	23.72	31.37	7.43	14.33	6.41	
草地	平均值	4.80a	15.37a	25.80a	15.62a	17.73b	20.68a	54.04b	重壤土
	变异系数	82.19	32.41	23.83	28.82	18.10	33.07	11.99	
耕地	平均值	2.58a	13.87ab	27.37a	13.04a	20.75a	22.39a	56.18b	重壤土
	变异系数	76.40	36.02	11.63	27.36	19.65	20.19	10.25	

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

12.22%~20.17%和 59.15%~62.70%,黏粒含量偏低,在 20.68%~25.09%之间。其中,林地土壤粉粒和黏粒含量最高,沙粒含量最低,而草地土壤沙粒含量最高,黏粒含量最低。与林地(封育)条件下相比,灌丛草地、草地和耕地土壤沙粒含量增加,粉粒和黏粒含量减少,即土壤中石英含量相对增加,土壤受到轻微侵蚀,而林地土壤受到高大乔木和草本植物的叶片、根系枯枝落叶覆盖在地表的保护,减少了水土流失,降低了土壤侵蚀。壤质土具有沙土和黏土的优点,是较为理想的耕作土,灌丛草地、草地和耕地均为壤质土,但草地和灌丛草地相对耕地具有更高的抗侵蚀能力,故其土壤颗粒组成更加趋近于土地合理利用条件。

2.2 不同土地利用方式下土壤化学性质状况

2.2.1 土壤有机质、pH 值 由表 3 可见,不同土地利用方式下石漠化区土壤有机质含量由高到低为草地>灌丛草地>林地>耕地,CV 为 20.03%~56.22%,属中等变异。草地土壤有机质含量最高,为 143.36 g/kg;耕地土壤有机质含量最低,为 56.22 g/kg,草地和耕地之间有机质含量相差 2 倍多,导致这种情况的原因有二,一是草地受人为干扰程度较小,土壤的植被明显高于耕地,有机物来源较广且较容易累积;二是耕地受人为干扰程度大,裸露的土壤有机质易受雨水的冲刷而随细粒物流失。草地与耕地之间土壤有机质有显著差异,草地与林地、灌丛草地无显著差异,表明在喀斯特石漠化区土壤有机质在不同土地利用方式下差异明显,这与李阳兵等的研究结果^[3,9,16]一致。

由表 3 可知,在不同土地利用方式下土壤 pH 值差异不显著,土壤 pH 值 CV 为 5.22%~12.06%,属弱~中等变异;草地土壤 pH 值含量最高,为 7.19,林地土壤 pH 值含量最低,

为 6.70。研究区土壤 pH 值接近且偏高,这是由于石灰岩风化残留的黏土矿物质地较细,风化成土停留在脱钙阶段,且发育的土壤富含 CaCO₃,延缓了土壤的盐基淋失和酸化进程,pH 值较高^[5]。

2.2.2 土壤氮素 由表 3 可知,草地与耕地之间土壤全氮和碱解氮都有显著差异,但草地与林地、灌丛草地无显著差异。草地的全氮和碱解氮含量最高,分别为 7.82 g/kg、362.77 mg/kg;其次是林地和灌丛草地,全氮含量分别为 5.45、5.10 g/kg,碱解氮含量分别为 242.92、235.18 mg/kg;耕地土壤全氮和碱解氮含量最低,分别为 3.10 g/kg、125.22 mg/kg。几种土地利用方式下石漠化区土壤全氮和碱解氮的 CV 为 23.55%~72.11%,均属中等变异。

2.2.3 土壤磷素 由表 3 可知,在不同土地利用方式下土壤全磷和速效磷变化不明显,没有达到显著水平,表明石漠化生境土壤受土地利用类型的影响较小。研究区土壤全磷和速效磷含量变化不大,林地、灌丛草地、草地和耕地土壤全磷含量分别为 1.38、1.22、1.28、0.99 g/kg,土壤速效磷含量分别为 4.20、4.25、3.89、3.91 mg/kg。几种土地利用方式下石漠化区土壤全磷和速效磷的 CV 为 17.19%~61.02%,均属中等变异,且变幅范围较大。

2.2.4 土壤钾素 由表 3 可知,不同土地利用方式下石漠化区土壤速效钾含量由高到低为林地>灌丛草地>草地>耕地,缓效钾含量由高到低为耕地>灌丛草地>林地>草地。土壤速效钾和缓效钾 CV 在 37.63%~83.61%,属中等变异。不同土地利用方式下土壤速效钾和缓效钾没有达到显著水平,表明土壤速效钾和缓效钾在喀斯特石漠化区不同土地利用方式下差异不明显。

表 3 不同土地利用方式下石漠化区土壤化学性质

样地类型	统计值	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	全磷含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	缓效钾含量 (mg/kg)
林地	平均值	6.70a	100.60ab	5.45ab	242.92ab	1.38a	4.20a	192.15a	221.45a
	变异系数(%)	12.06	45.35	45.92	53.69	50.44	20.53	57.24	42.74
灌丛草地	平均值	6.78a	104.23ab	5.10ab	235.18ab	1.22a	4.25a	135.94a	273.08a
	变异系数(%)	5.22	39.95	39.15	40.60	56.25	17.19	47.30	37.63
草地	平均值	7.19a	143.36a	7.82a	362.77a	1.28a	3.89a	113.25a	182.25a
	变异系数(%)	8.62	56.22	59.26	72.11	61.02	21.78	75.15	39.00
耕地	平均值	6.91a	56.22b	3.10b	125.22b	0.99a	3.91a	112.55a	277.25a
	变异系数(%)	7.40	20.03	26.14	23.55	31.74	19.43	83.61	40.30

2.3 石漠化生境土壤物理和化学性质相关分析

由表 4 可知,石漠化区不同土地利用方式下土壤理化性质的物理性黏粒含量、有机质含量、碱解氮含量和速效磷含量等指标表现出较大的相关强度。有机质含量与全氮含量、碱解氮含量、全磷含量、速效磷含量呈极显著正相关;全氮含量与碱解氮含量、全磷含量、速效磷含量呈极显著正相关;碱解氮含量与全磷含量、速效磷含量呈极显著正相关;全磷含量和速效磷含量呈极显著正相关;pH 值与缓效钾含量呈显著负相关;物理性黏粒含量与细沙粒含量、粗粉粒含量呈极显著负相关;物理性黏粒含量与黏粒含量呈极显著正相关;物理性黏粒

含量与粗沙含量及中沙粒含量呈显著负相关;物理性黏粒含量与细粉粒含量呈显著正相关;黏粒含量与细沙粒含量、粗粉粒含量、中粉粒含量呈显著负相关;细沙粒含量与粗粉粒含量、细粉粒含量呈极显著负相关;粗粉粒含量与中粉粒含量呈显著负相关。由此可见,土壤理化性质之间的相关性质和强度的变化,反映出不同土地利用方式对石漠化生境土壤的影响特点。石漠化生境中土壤物理性黏粒、有机质、碱解氮、速效磷在改善土壤物理性质和促进养分循环中起着重要作用,是土壤质量的关键因子。

表 4 石漠化生境土壤物理和化学性质相关性

指标	相关系数														
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
X ₁	1														
X ₂	0.046	1													
X ₃	-0.460 **	-0.173	1												
X ₄	0.244	-0.203	-0.379 *	1											
X ₅	-0.540 **	-0.229	0.21	-0.303	1										
X ₆	-0.373 *	-0.07	-0.332 *	-0.369 *	0.062	1									
X ₇	-0.442 **	-0.347 *	-0.474 **	0.243	0.373 *	0.670 **	1								
X ₈	0.116	0.27	0.002	0.034	0.017	-0.288	-0.21	1							
X ₉	-0.110	0.160	0.030	0.083	0.161	-0.171	-0.011	0.056	1						
X ₁₀	-0.084	0.145	0.021	0.093	0.16	-0.187	-0.018	0.085	0.951 **	1					
X ₁₁	-0.126	0.078	0.165	-0.033	0.087	-0.117	-0.075	0.056	0.841 **	0.868 **	1				
X ₁₂	-0.013	-0.131	0.051	0.247	0.053	-0.208	0.012	-0.128	0.639 **	0.712 **	0.655 **	1			
X ₁₃	0.06	-0.062	-0.009	0.138	-0.051	-0.098	-0.005	-0.278	0.521 **	0.481 **	0.466 **	0.585 **	1		
X ₁₄	0.183	-0.159	-0.306	0.028	-0.011	0.21	0.243	-0.084	-0.028	-0.038	0.148	-0.105	0.104	1	
X ₁₅	-0.052	-0.054	0.004	-0.142	0.134	0.109	0.043	-0.325 *	-0.154	-0.239	-0.301	-0.233	0.101	0.162	1

注:X₁ 为细沙粒含量;X₂ 为粗沙及中沙粒含量;X₃ 为粗粉粒含量;X₄ 为中粉粒含量;X₅ 为细粉粒含量;X₆ 为黏粒含量;X₇ 为物理性黏粒含量;X₈ 为 pH 值;X₉ 为有机质含量;X₁₀ 为全氮含量;X₁₁ 为碱解氮含量;X₁₂ 为全磷含量;X₁₃ 为速效磷含量;X₁₄ 为速效钾含量;X₁₅ 为缓效钾含量。“*”表示在 0.05 水平上差异显著,“**”表示在 0.01 水平上差异极显著。

2.4 石漠化生境土壤理化性质季节波动特征

对不同时间林地(5 个)、灌丛草地(4 个)、草地(4 个)和耕地(3 个)定点采回的 16 个样地土样,8 个土壤化学性质指标进行 *t* 检验,结果(表 5)表明:8 个土壤理化性质指标有 4 个指标存在显著差异(*P* < 0.05),其他 4 个指标无明显变化。

在不同季节,土壤碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量和缓效钾含量有显著差异,冬季(2 月)的土壤碱解氮含量、速效磷含量和速效钾含量显著的大于春季(4 月),而冬季的土壤缓效钾含量小于春季。

表 5 不同季节石漠化生境土壤理化性质变化特征

土壤化学指标	冬季(2 月)			春季(4 月)			<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
	<i>N</i>	均值	标准误	<i>N</i>	均值	标准误		
pH 值	16	6.88	0.18	16	6.87	0.15	0.087	0.932
有机质(g/kg)	16	111.22	17.10	16	98.08	11.79	1.137	0.273
全氮(g/kg)	16	5.88	0.98	16	5.17	0.62	1.401	0.182
碱解氮(mg/kg)	16	303.37	53.63	16	198.78	22.77	2.707	0.016
全磷(g/kg)	16	1.30	0.18	16	1.22	0.16	1.505	0.153
速效磷(mg/kg)	16	4.24	0.22	16	3.95	0.18	2.215	0.043
速效钾(mg/kg)	16	165.75	23.04	16	111.25	20.00	3.122	0.007
缓效钾(mg/kg)	16	219.25	18.79	16	247.83	24.39	-3.008	0.009

2.5 不同土地利用方式下土壤退化特征

为了定量描述不同土地利用方式对喀斯特石漠化区土壤退化程度,采用 Adejuwon 等提出的土壤退化指数(soil degradation index,简称 SDI)定量分析^[17],公式:SDI = [(X₁ -

X₁')/X₁' + (X₂ - X₂')/X₂' + ... + (X_{*n*} - X_{*n*}')/X_{*n*}']/*n* × 100%,式中:SDI 为土壤退化指数;X₁',X₂',...,X_{*n*}'为基准样地(参照地)类型下土壤属性 1 到属性 *n* 的值;X₁,X₂,...,X_{*n*}为其他土地利用类型下土壤各属性值;SDI < 0,代表土壤退化

程度低于参照值,值越小,退化越严重; $SDI > 0$,则反之。本研究以林地作为基准样地类型。选择的土壤属性包括土壤物理性黏粒含量、黏粒含量、细沙粒含量、细粉粒含量、有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、全磷含量、速效磷含量。土壤属性没有包括粗沙及中沙粒含量、粗粉粒含量、中粉粒含量、pH 值、速效钾含量和缓效钾含量,是因为它们在不同土地利用类型样地之间没有显著变化,且相关性也不强。 SDI 值是 9 个土壤指标的综合计算结果,可较全面反映不同土地利用方式对喀斯特石漠化区土壤退化情况。

根据上述 SDI 计算公式及本研究选取的 9 个土壤理化指标,灌丛草地、草地和耕地的土壤退化指数分别为 -1.18% 、 128.80% 、 -153.59% 。与林地土壤退化指数相比,草地的土壤质量不但没有退化,反而提高最多,与龙健等的研究结果^[9,18]存在一定差异,是由于选取的基准样地土壤质量特征存在较大差异,土壤质量赋值的高低直接影响土壤退化指数的定量结果,说明土壤对照样地的选取是制约 SDI 定量分析的关键。耕地土壤退化指数很明显低于林地(参照地),表明石漠化耕地土壤质量最差,土壤退化程度最为严重,耕作引起的土壤退化速率最快,耕地与林地的土壤质量相对位置的确定可作为防治喀斯特石漠化区土壤质量退化的参考。

结果表明,在喀斯特石漠化区土壤质量存在区域差异性,这与成土过程中的微环境及植物群落构成有关,草地植被群落的根系和枯枝落叶更有利于土壤质量的提高,更有利于形成更为稳定的土壤团聚体;而灌丛草地植被群落的根系穿插较草地浅、少且窄,土壤质量的提升速率较土壤退化速率低,所形成的有机质、土壤团聚体较差;耕地由于植被缺乏、土壤裸露,抗蚀能力差,土壤退化指数最低。

3 结论

喀斯特石漠化区不同土地利用方式下土壤物理、化学性状差异明显,其中土壤物理性黏粒含量、细沙粒含量、细粉粒含量、有机质含量、全氮含量和碱解氮含量指标存在明显差异;不同土地利用类型下土壤粗沙及中沙粒含量的变异范围较小,程度最大;细沙粒含量、中粉粒含量、粗粉粒含量和黏粒含量变异范围和程度适中;土壤物理性黏粒含量、细粉粒含量和 pH 值变异程度最小。

不同土地利用方式下石漠化生境土壤物理性黏粒、有机质、碱解氮和速效磷的相关强度较大,在改善土壤物理性质和促进养分循环中起着重要作用,是土壤质量的关键因子。

不同土地利用方式下石漠化生境土壤的退化特征不同,以林地(封育)为对照,灌丛草地、草地和耕地土壤退化指数分别为 -1.18% 、 128.80% 、 -153.59% ,灌丛草地土壤退化不明显,基本保持不变,草地土壤没有退化,反而提高,土壤质量最好,而耕地土壤质量退化程度最高。

土地利用变化方式对喀斯特石漠化区土壤物理和化学质量性状差异明显。相对林地而言,草地和灌丛草地 2 种土地利用方式在提高和维护土壤物理和化学质量性状方面具有较好的效果,土壤颗粒组成更加趋近于土地合理利用条件,土壤

物理性状向好的方向发展,土壤有机质、全氮和碱解氮等含量优于或接近林地,土壤质量相对提高或变化不大。耕地土地利用强度较大,表现出相对较差的土壤理化质量性状,土壤颗粒组成更接近于林地值,土壤抗侵蚀能力相对草地和灌丛草地较低,土壤化学质量性状劣于林地,更劣于草地,土壤质量发生了严重的退化。

参考文献:

- [1] 龙 健,江新荣,邓启琼,等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [2] 龙 健,李 娟,汪境仁,等. 典型喀斯特地区石漠化演变过程对土壤质量性状的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(2):77-81.
- [3] 李阳兵,谢德体,魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报,2004,41(2):196-202.
- [4] 沙丽清,邱学忠,甘建民,等. 云南保山西庄山地流域土地利用方式与土壤肥力关系研究[J]. 2003,22(2):9-11.
- [5] 高渐飞,熊康宁. 不同地貌环境下喀斯特石漠化与土地利用的关系[J]. 水土保持通报,2014,34(3):97-101.
- [6] 孙德亮,赵卫权,李 威,等. 基于 GIS 与 RUSLE 模型的喀斯特地区土壤侵蚀研究——以贵州省为例[J]. 水土保持通报,2016,36(3):271-276.
- [7] 徐艳芳,王克林,祁向坤,等. 基于 TM 影像的白云岩与石灰岩上喀斯特植被时空变化差异研究[J]. 生态学报,2016,36(1):180-189.
- [8] 胡衡生,吴 欢,黄 励. 广西石漠化的成因及可持续发展对策[J]. 广西师范学院学报(自然科学版),2001,18(4):1-4.
- [9] 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.
- [10] 刘胜伟. “晴隆模式”在晴隆县马场乡的综合运用[J]. 现代园艺,2015(8):213.
- [11] 张 浩,熊康宁,苏孝良,等. 贵州晴隆县种草养畜治理石漠化的效果、存在问题及对策[J]. 中国草地学报,2012,34(5):107-113.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [13] 苏 伟,聂宜民,胡晓洁,等. 利用 Kriging 插值方法研究山东龙口北马镇农田土壤养分的空间变异[J]. 安徽农业大学学报,2004,31(1):76-81.
- [14] 许明祥,刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥科学报,2004,10(1):40-46.
- [15] 何腾兵,董玲玲,刘元生,等. 贵阳市乌当区不同母质发育的土壤理化性质和重金属含量差异研究[J]. 水土保持学报,2006,20(6):157-162.
- [16] 赵锦梅,张德罡,刘长仲,等. 祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响[J]. 生态学报,2012,32(2):548-556.
- [17] Adejuwon J O, Ekanade O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian Cocoa Belt[J]. Catena,1988,15(3/4):319-331.
- [18] 李阳兵,高 明,魏朝富,等. 土地利用对岩溶山地土壤质量性状的影响[J]. 山地学报,2003,21(1):41-49.