

文章编号: 1001-1498(2006)02-0248-05

喀斯特退化生态系统不同恢复阶段土壤质量研究

朱海燕, 刘忠德, 钟章成*

(西南师范大学生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 北碚 400715)

关键词: 喀斯特; 退化生态系统; 恢复阶段; 土壤质量

中图分类号: S714 文献标识码: A

Effect of Different Succession Stages on Soil Quality in Karst Degraded Mountain

ZHU Hai-yan, LIU Zhong-de, ZHONG Zhang-cheng*

(Faculty of Life Sciences, Southwest China Normal University; Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Beibei 400715, Chongqing, China)

Abstract: Karst is one of the weakest kinds of ecological environments and one of the main factors that restricts economic development in south-west China. And restoring vegetation and improving soil quality is among urgent affairs of the region. It is very important to explore the effects of different succession stages on soil quality for the restoration and management of karst degraded mountain.

In this study, three succession stages in karst degraded mountain were selected at the Bainiao Mountain in Beibei of Chongqing. The three succession stages are grass stage, brush stage and forest stage. The paper reported the responses of 15 indicators including the Shannon-Wiener index, soil physical and chemical properties to the three succession stages. In addition, the index of soil quality was analyzed.

Results showed that different succession stages led to significant differences in the Shannon-Wiener index and soil physico-chemical properties. The soil quality of the three succession stages was ranked as follows: brush stage > forest stage > grass stage, and the same rule to the Shannon-Wiener index. In brush stage, soil bulk density, soil water, water holding capacity, capillary porosity, soil porosity and air porosity were significantly lower than those of two others, and soil organic matter, nitrogen and phosphorus as well.

Key words: karst degraded ecosystem; restoring succession stage; soil quality

喀斯特环境由于其成土过程缓慢,土层浅薄,土被不连续,岩石裸露率高,渗漏性强,土壤持水量低,临时性干旱不时出现,水土易流失,因此缺土、缺水,生态系统极为脆弱^[1~4]。随着人为活动对资源需求的加剧,喀斯特生态系统更加恶化,不同程度地造成了水土流失、系统功能降低、生态平衡失调,严重影响

社会、经济的可持续发展。因此恢复和重建喀斯特退化生态环境,对实现这些地区的脱贫致富和可持续发展至关重要。众多学者围绕喀斯特生态系统进行了大量的研究^[1,4,11,12,16,18],但利用多个土壤指标对退化生态系统不同恢复阶段土壤质量进行综合评价的研究则相对较少。本研究以重庆市喀斯特退

收稿日期: 2005-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370279)

作者简介: 朱海燕(1977—),女,湖北咸宁人,博士生。

*通讯作者

化生态系统为对象,对不同恢复阶段的土壤做深入细致的研究,以期了解喀斯特生态系统的演变规律,为资源的合理开发和保护提供理论依据。

1 样地概况

研究地位于重庆市北部约 40 km 的北碚区境内白庙子背后石灰岩山上,属典型亚热带季风性气候,年平均降水量 1 105.4 mm,土壤为石灰岩上发育的碱性石灰土。

以空间代替时间的方法,在山上沿西南至东北方向设置草本、灌丛和乔木 3 个演替恢复阶段的样带,立地条件基本一致。草本阶段主要物种有:艾蒿 (*Artemisia argyi* L. et Vant)、碎米莎草 (*Cyperus iria* Linn.)、三叶鬼针草 (*Bidens pilosa* L.)、白酒草 (*Conyza japonica* Less.)、匿芒苣草 (*Arthraxon hispidus* var. *cryptatherus* Honda)、芒 (*Miscanthus sinensis* Anderss.)、地瓜藤 (*Ficus tikoua* Bur.)、蜈蚣草 (*Pteris vittata* L.) 等。灌丛阶段主要物种有:金银花 (*Lonicera japonica* Thunb.)、西南悬钩子 (*Rubus assamensis* Focke)、野蔷薇 (*Rosa multiflora* Thunb.)、香花崖豆藤 (*Millettia dielsiana* Hams)、铁仔 (*Myrsine africana* L.)、光枝勾儿茶 (*Berchemia polyphylla* var. *leioclada* Hand. Mazz.)、化香 (*Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.)、刺竹叶花椒 (*Zanthoxylum armatum* DC.)、女贞 (*Ligustrum lucidum* Ait.)、盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.)、山麻杆 (*Alchomea davidii* Franch.)、栓皮栎 (*Quercus variabilis* Bl.)、棕榈 (*Trachycarpus fortunei* H. Wendl.)、石岩枫 (*Mallotus repandus* (Willd.) Muell.-Arg.) 等。乔木阶段主要物种有:柏木 (*Cupressus funebris* Endl.)、棕榈、女贞、悬钩子、勾儿茶、短序荚蒾 (*Viburnum brachybotryum* Hemsl.)、朴树 (*Celtis sinensis* Pers.)、火棘 (*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) L.)、胡颓子 (*Elaeagnus henryi* W. Arb.)、马桑 (*Cordia nepalensis* Wall.) 等。

2 研究方法

2.1 Shannon-Wiener 多样性指数

在每一演替阶段设置标准地,样方数依次为 12、12、6。草本阶段样方面积 5 m × 5 m,灌丛阶段

样方面积 5 m × 5 m,乔木阶段标准地面积 20 m × 10 m。采用样方法对样地进行群落学调查,计算群落 Shannon-Wiener 多样性指数^[8]。

$$I = - \sum (P_i \times \ln P_i), P_i \text{ 为种 } i \text{ 的相对重要值。}$$

2.2 样品采集

在各标准地中以“之”形路线布点,取 15 ~ 20 个点的 0 ~ 20 cm 土层的混合土样,将取好的土壤样品装入塑料袋,带回实验室,分出杂物,风干,用于土壤化学性质的测定。将环刀所取原状土和铝盒所取新鲜土壤,带回实验室,进行土壤物理性质的分析。每个阶段选取 3 个重复标准地。所有取样均为每一标准地 3 次重复。

2.3 土壤物理性质^[5]

土壤密度:环刀法;土壤自然含水量:烘箱法;田间持水量:威尔科克斯法;毛管孔隙度:环刀法。

2.4 土壤化学性质^[6,7]

有机质:重铬酸钾容量法;碱解 N:碱解扩散法;全 N: HCl₄-H₂SO₄ 消煮, BUCHIB-324 型凯氏定氮仪测定;有效 P: 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 提取,钼锑抗比色法;速效 K: 醋酸铵浸提,火焰光度法;全 P: Na₂CO₃ 熔融,钼锑抗比色法;全 K: NaOH 熔融,火焰光度法;pH 值:水浸提,梅特勒托利多 SevenMulti 型多功能测量仪测定。比色采用 UV2550 岛津紫外分光光度计测定。

2.5 土壤质量指数

土壤质量指数 (SQI) = $\sum W \times \mu(x)$, 其中, x 为土壤指标值, $\mu(x)$ 为采用模糊数学模型^[9] 求得的土壤指标的隶属函数,权重 (W) 采用改进的主成分分析法^[10] 确定, $W = \frac{1}{L^2} \times \lambda$, 为主成分的特征根, L 为主成分的特征向量。

统计分析采用 SPSS10.0 在计算机上完成。

3 结果与分析

3.1 不同恢复阶段植物群落生物多样性指数

通过对不同群落进行实地调查和数学分析表明,不同类型的植物群落的生物多样性指数存在明显差异(图 1)。灌丛阶段生物多样性指数最大,其次是乔木阶段,草本阶段最小,差异达显著水平。

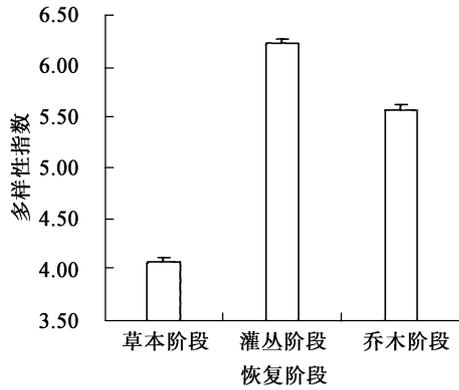


图 1 不同恢复阶段群落生物多样性指数变化

3.2 土壤物理性质

3个恢复阶段中(表 1),灌丛阶段土壤密度最小,草本阶段和乔木阶段差异不显著。土壤自然含水量、田间持水量变化趋势一致,灌丛阶段土壤最大,草本阶段最小,但草本阶段和乔木阶段差异不显著。灌丛阶段毛管孔隙度最大,并显著区别于草本阶段。灌丛阶段总孔隙度最大,并显著区别于其它两个阶段。灌丛阶段非毛管孔隙度显著区别于乔木阶段。

表 1 不同恢复阶段 0~20 cm 土层土壤物理性质变化

指标	土壤密度 / (g · cm ⁻³)	自然含水量 / %	田间持水量 / %	毛管孔隙度 / %	总孔隙度 / %	非毛管孔隙度 / %
草本阶段	1.43	26.04	25.77	40.23	45.54	5.31
	1.46	27.54	29.30	39.53	46.83	7.30
	1.44	26.03	25.13	37.53	46.74	9.21
平均值	1.44(0.01) a	26.54(0.27) b	26.74(0.77) b	39.10(0.51) bc	46.37(0.75) b	7.28(0.86) ab
灌丛阶段	1.26	30.68	34.26	42.31	51.79	9.49
	1.31	31.04	34.37	43.73	50.37	6.64
	1.32	28.46	28.95	39.16	50.81	11.65
平均值	1.29(0.02) b	30.06(0.47) a	32.53(0.92) a	41.73(0.75) a	50.99(0.53) a	9.26(1.17) a
乔木阶段	1.47	27.01	25.26	40.54	45.72	5.18
	1.45	26.41	26.90	39.95	44.69	4.74
	1.46	27.77	28.82	40.37	44.95	4.58
平均值	1.46(0.01) a	27.06(0.46) b	27.00(0.80) b	40.29(0.36) ab	45.12(0.41) b	4.84(0.51) bc

注:括号内数值为标准误。a、b、c字母代表差异性。

3.3 土壤化学性质

3个研究阶段的土壤 pH 值、速效 K 和全 K 差异不显著。土壤有机质、N、P 养分的变化趋势一致,

以灌丛阶段土壤最高,并显著区别于乔木阶段和草本阶段,草本阶段最小(表 2)。

表 2 不同恢复阶段 0~20 cm 土层土壤化学性质变化

指标	有机质 / (g · kg ⁻¹)	全 N / (g · kg ⁻¹)	碱解 N / (mg · kg ⁻¹)	全 P / (g · kg ⁻¹)	有效 P / (mg · kg ⁻¹)	速效 K / (mg · kg ⁻¹)	全 K / (g · kg ⁻¹)	pH 值
草本阶段	31.240	1.354	125.840	0.488	2.689	146.39	15.792	6.85
	46.240	2.158	112.610	0.548	0.358	148.52	17.272	6.98
	42.650	1.866	118.100	0.592	1.434	137.01	17.750	6.55
平均值	40.04(2.26) c	1.79(0.12) c	118.85(8.29) c	0.54(0.03) a	1.49(0.34) c	143.97(2.00) a	16.94(0.29) a	6.79(0.06) a
灌丛阶段	88.670	3.329	305.460	0.333	2.882	138.78	18.002	6.81
	89.960	4.236	351.190	0.435	2.241	111.60	17.432	7.41
	81.610	2.597	186.570	0.362	3.839	180.10	17.208	6.29
平均值	86.75(1.30) a	3.39(0.24) a	281.07(24.53) a	0.37(0.01) b	2.99(0.47) a	143.49(9.95) a	17.55(0.12) a	6.84(0.16) a
乔木阶段	71.380	2.597	159.130	0.509	2.692	133.50	18.110	7.35
	64.640	2.158	154.560	0.620	2.330	183.80	15.892	6.90
	76.820	3.095	195.710	0.425	1.500	134.40	16.616	6.74
平均值	70.95(1.77) b	2.62(0.14) b	169.80(6.51) b	0.52(0.03) a	2.17(0.10) b	150.57(8.30) a	16.87(0.33) a	7.00(0.10) a

3.4 土壤质量指数

综合上述 13 个指标的土壤质量指数能反映不同恢复阶段植被下土壤理化性质的变化程度

(表 3)。灌丛阶段土壤质量最好,草本阶段土壤质量最差,乔木阶段居于中间。

表 3 不同恢复阶段土壤指标临界值、权重及土壤质量指数

项目	草本阶段				灌丛阶段				乔木阶段				临界值
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	权重	主成分 1	主成分 2	权重	主成分 1	主成分 2	主成分 3	权重		
	50.15%	81.65%	94.26%		67.88%	91.09%		43.92%	67.76%	83.21%			
	7.021	4.411	1.765		9.503	3.250		6.149	3.336	2.163			
pH 值	-0.294	0.936	0.098	0.063	0.982	-0.130	0.093	-0.343	0.915	0.035	0.066	7 ^[14]	
有机质	0.946	0.271	0.128	0.093	0.960	0.265	0.090	0.978	0.164	0.072	0.113	100 ^[11]	
碱解 N	0.991	-0.038	0.070	0.097	0.986	0.147	0.093	0.947	-0.299	0.026	0.110	350 ^[11]	
有效 P	-0.848	-0.496	-0.137	0.086	-0.865	-0.485	0.079	0.968	-0.226	0.032	0.112	10 ^[11]	
速效 K	-0.360	0.913	0.092	0.064	-0.995	-0.022	0.095	-0.789	-0.587	-0.082	0.094	120 ^[11]	
全 N	0.900	0.399	0.128	0.090	0.979	-0.147	0.092	0.991	0.071	0.056	0.114	5 ^[14]	
全 P	0.920	-0.372	0.019	0.092	0.591	-0.745	0.051	-0.967	-0.154	-0.124	0.111	2 ^[14]	
全 K	0.978	-0.174	0.050	0.096	0.382	0.880	0.039	0.208	0.949	0.077	0.062	50 ^[14]	
土壤密度	0.012	-0.039	-0.928	0.021	-0.379	-0.898	0.040	-0.375	0.018	0.809	0.043	1.20 ^[14]	
田间持水量	0.304	0.889	-0.173	0.059	0.885	0.401	0.080	0.421	-0.547	0.551	0.052	26.25 ^[14]	
毛管孔隙度	-0.661	0.496	0.440	0.063	0.916	0.079	0.080	0.114	0.292	0.551	0.019	35 ^[14]	
总孔隙度	0.392	-0.066	0.783	0.031	-0.158	0.778	0.022	0.115	0.707	-0.153	0.034	55 ^[14]	
非毛管孔隙度	0.805	-0.478	0.284	0.080	-0.868	0.291	0.075	-0.025	0.302	-0.627	0.022	10 ^[14]	
土壤质量指数	0.509				0.685				0.595				

4 讨论

4.1 影响生物多样性指数的因素

草本阶段,喀斯特生境干旱,变化剧烈,物种较少,多样性指数低。群落恢复到灌丛阶段,早期严酷的生境状况得到改善,大量物种入侵并得以生存,群落多样性指数迅速上升,达到一个峰值。之后至乔木阶段,因乔木层郁闭度增大,促进了群落的自然稀疏,因而物种多样性下降。

4.2 影响土壤物理性质的因素

土壤紧实度影响土壤密度,土壤愈紧实,则孔度小而密度大,导水率下降,土壤侵蚀的敏感性提高,造成水土流失^[13]。3个阶段物种多样性指数依次为灌丛阶段大于乔木阶段大于草本阶段,物种依次减少,植物根系对土壤的疏松强度依次减弱,土壤的导水性能下降,易于形成地表径流;随着物种减少,对雨水的缓冲能力也减弱,雨水对土壤的冲击能力相对加强,增加了土壤的紧实程度,且草本阶段受人为干扰较大,人为践踏增加了土壤的紧实度,总孔隙度减小。

土壤有机物质影响土壤孔性^[14]。由于有机物质本身疏松多孔,能促进土壤结构的形成,所以富含有机质的土壤孔度较高。灌丛阶段土壤有机质含量高,利于土壤团粒结构的形成,土壤团聚程度越高,大小孔隙搭配越好,保水透气能力越强。

4.3 影响土壤化学性质的因素

石灰岩地区土壤剖面通常缺乏 C 层,致使表土层和岩基面的亲和力与粘着力差^[15],再加上湿热气候条件下强烈的化学淋溶作用,使风化物中较高的粘粒发生垂直下移,形成上松下粘的土层,这样在植被覆盖率低的地方极易产生水土流失。其结果是土壤不断变薄、养分流失、养分含量失调,养分循环被破坏^[16]。

森林生态系统中凋落物是土壤有机质和养分的主要补给者^[17]。灌丛阶段,除凋落物外,地面还有多种草灌植物,尤其是草类,它们通过生草过程在土壤中积累有机质。乔木阶段林木郁闭度提高,在演替过程中,地面草类减少,乔木层凋落物就几乎成为表土有机质的唯一来源,且凋落物多由柏树针叶组成,分解速度缓慢,养分在凋落物中存留期延长,土壤养分含量下降。

土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的成分,担负着分解动植物的重要使命,推动着生态系统的能量流动和物质循环^[18]。微生物活动需要一定的湿度和通气条件。灌丛阶段土壤总孔隙度、毛管孔隙与非毛管孔隙的比例都较大,其蓄水、通气性能良好。这种孔隙状况有利于微生物的活动,大孔隙周围,微生物活动旺盛,有利于有机质的分解和转化,而微生物不能进入小孔隙,从而有机质得以保存,协调了土壤有机质的供给与积累。土壤中的 N、P 含量与有机质变化趋势一致,这种变化主要与土壤有

机质的积累有关,土壤中 N、P 养分与有机质呈正相关。草本阶段中,土壤非毛管孔隙度较大,自然含水量较小,有利于好气微生物的活动,加速了有机质和养分的分解,但由于草本阶段植被覆盖率低,有效养分易于流失,因此相对于乔木阶段而言,草本阶段土壤养分状况较差。

参考文献:

- [1] 龙健,李娟,黄昌勇. 我国西南地区的喀斯特环境与土壤退化及其恢复 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 5~8
- [2] 周德全,王世杰,张殿发. 关于喀斯特石漠化研究问题的探讨 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 127~132
- [3] 唐健生,夏日元. 南方岩溶山区资源环境特征与生态环境治理对策探讨 [J]. 中国岩溶, 2001, 20(2): 140~143, 148
- [4] 李先琨,何成新,蒋忠诚. 岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法 [J]. 中国岩溶, 2003, 22(1): 12~17
- [5] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法 [M]. 北京: 科学出版社, 1978: 11~119
- [6] 南京农业大学. 土壤农化分析 (第二版) [M]. 北京: 农业出版社, 1981: 33~128
- [7] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 166
- [8] 张金屯. 植被数量生态学方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 62
- [9] 王建国,杨林章,单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究 [J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 176~183
- [10] 宋之杰,高晓红. 一种多指标综合评价中确定指标权重的方法 [J]. 燕山大学学报, 2002, 26(1): 20~22, 26
- [11] 刘方,王世杰,刘元生,等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价 [J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639~644
- [12] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究 [J]. 林业科学, 2002, 38(1): 1~7
- [13] 郑华,欧阳志云,王效科,等. 不同森林恢复类型对南方红壤侵蚀区土壤质量的影响 [J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1994~2002
- [14] 朱祖祥. 土壤学 [M]. 北京: 农业出版社, 1983: 86
- [15] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 29~32, 79
- [16] 姚长宏,杨桂芳,蒋忠诚,等. 岩溶地区生态系统养分平衡研究 [J]. 中国岩溶, 2001, 20(1): 41~46
- [17] 胡泓,刘世全,陈庆恒,等. 川西亚高山针叶林人工恢复过程的土壤性质变化 [J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(4): 308~314
- [18] 龙健,李娟,江新荣,等. 贵州茂兰喀斯特森林土壤微生物活性的研究 [J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 597~602