

朱梓弘, 杨程, 谢银财, 等. 重度石漠化区不同土地利用方式下土壤养分特征[J]. 中国岩溶, 2018, 37(6): 842-849.
DOI: 10. 11932/karst20180605

重度石漠化区不同土地利用方式下土壤养分特征

朱梓弘¹, 杨程², 谢银财³, 王群⁴, 朱同彬³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 江苏省地质调查研究院, 南京 210018;
3. 中国地质科学院岩溶地质所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;
4. 水利部海河水利委员会海河流域水土保持监测中心站, 天津 300170)

摘要: 本文以云南省蒙自市西北勒乡碧色寨村石漠化土地为研究对象, 基于主成分分析法(PCA)研究岩溶石漠化区不同土地利用方式下的土壤养分特征。结果表明: (1) 研究区土壤各养分指标变异系数介于 0.14~1.76, 不同土地利用方式下, 土壤养分状况有较大差异; (2) 研究区土壤 12 项养分指标可归结为 3 个主成分, 所提供的信息占全部信息的 90.69%, 其中 PC1 主要包含了全磷、有效磷、速效钾和有效锰, PC2 主要综合了有机碳、全氮、全钙和有效锌, 有效铁对 PC3 具有较大的贡献。 (3) 对不同用地类型土壤养分的主成分得分进行排序, 由大到小依次为火龙果地>林地>封育草地>玉米地, 表明植树造林及火龙果种植等方式能有效改善石漠化区的土壤养分状况。建议对样区的石漠化治理应以封山育土为前提, 以生态恢复为目的, 通过种植火龙果与修复林地改善样区土壤状况, 逐步形成生态环境与社会经济协调发展的石漠化综合治理体系。

关键词: 岩溶区; 土地利用; 土壤养分; 主成分分析

中图分类号: S158

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2018)06-0842-08

0 引言

岩溶石漠化是制约我国西南山区生态建设和经济发展的重大环境问题^[1]。据统计, 我国石漠化严重区域面积达 4.63 万 km², 主要分布于我国西南部, 具有面积大、危害重等特点^[2]。岩溶区石灰性岩石造壤能力低, 营养元素匮乏, 成土速率慢, 形成的土壤浅薄, 土被不连续, 植被生长缓慢, 生态环境脆弱, 抗干扰能力较低, 受到不合理的人为活动影响, 地表水土流失严重, 基岩大面积裸露, 土地严重退化, 形成大面积的石漠化土地^[3]。石漠化的形成, 一方面加快了生态环境的恶化, 主要体现在水土流失、自然灾害频繁及生态系统退化; 另一方面严重威胁人类最基本的生存条件, 耕地面积减少, 土地生产力枯竭, 加剧了岩溶区的贫困问题^[4]。

蒙自市位于云南省东部, 是岩溶断陷盆地最为典型、石漠化最为严重的区域。至 2015 年蒙自市石漠化面积达 20 万 hm², 占蒙自市岩溶区面积的 88%^[5], 严重制约了蒙自市生态环境与社会经济的可持续发展。当前, 针对岩溶区断陷盆地石漠化演变及其治理技术的研究已被提上日程^[6], 但主要的研究工作还停留在对岩溶塌陷盆地石漠化分布及演变规律的探讨^[7], 并在一定程度上忽视了岩溶断陷区不同土地利用方式对石漠化土地土壤微观环境影响的研究。因此, 本研究以云南省蒙自市岩溶区断陷盆地为例, 基于主成分分析方法(PCA), 综合多项土壤养分指标, 分析岩溶断陷盆地石漠化地区不同土地利用方式下土壤养分特征差异, 并对土壤养分状况进行综合评价, 为岩溶石漠化区土地资源的合理开发、土壤修复以及岩溶石漠化区农业的可持续发展提供理论依据。

基金项目: 国家重点研发计划专题“断陷盆地土壤障碍消减与质量提升技术”(2016YFC0502503); 中国地质科学院基本科研业务费专项经费“岩溶区土壤氮关键转化过程研究”(YYWF201637); 国家自然科学基金(41471447)

第一作者简介: 朱梓弘(1993-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 土壤氮素循环。E-mail: 2020170011@cugb.edu.cn。

通信作者: 朱同彬(1983-), 男, 副研究员, 主要研究方向: 土壤氮素循环及环境效应研究。E-mail: zhutongbin@gmail.com。

收稿日期: 2018-04-24

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省蒙自市西北勒乡碧色寨村,地理坐标为(23°27'58"N,103°24'35"E),海拔为 1 800~2 400 m,年平均气温 13.6 °C,年均降水量 900~1 000 mm,属于典型的南亚热带岩溶环境。上世纪 50 年代,该区域经历大规模的砍伐开垦,石漠化问题较为严重,属重度石漠化地区。近年来,在石漠化山地进行了生态修复、农作物种植、经济林种植等土地整治活动,并由此发展出具有多种土地利用方式的山

地。本研究选择当地 4 种典型土地类型(草地、林地、玉米地和火龙果地)作为研究对象。研究区草地为石漠化地区封育自然演替至草丛阶段的样地,面积约 7 hm²,玉米地、火龙果地与林地分别临近草地。林地面积约 10 hm²,种植桉树,种植过程不施加肥料;玉米地面积约 2 000 m²,种植年限为 2 年,N、P₂O₅和 K₂O 的年施肥量均为 90 kg·hm⁻²;火龙果地面积约 4 000 m²,树龄为 5 年,每年施加 25 000 kg·hm⁻² 腐熟牛粪,其中含全氮 3.2 g·kg⁻¹,全磷 2.5 g·kg⁻¹,全钾 1.6 g·kg⁻¹,同时追加复合肥,N、P₂O₅与 K₂O 分别计 150、300 与 75 kg·hm⁻²。四种土地的土壤类型均为石灰性土壤。

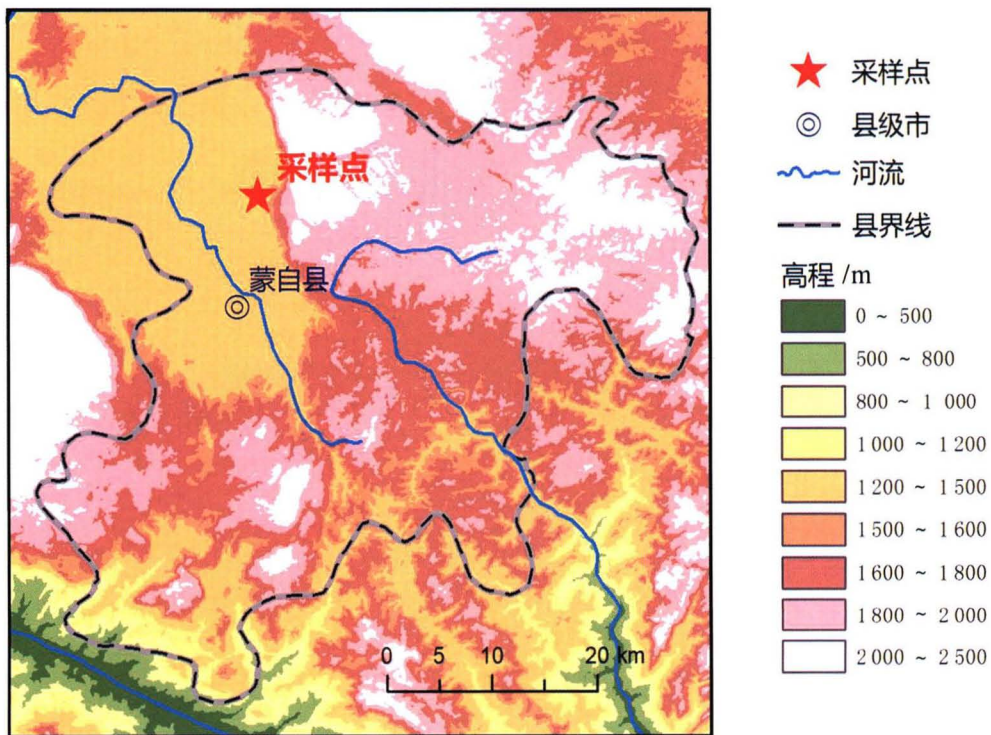


图 1 研究区概况及样地类型

Fig. 1 Outline of the study region and land use types

1.2 土壤样品采集

于2016年9月采集土壤样品,在林地、封育草地、玉米地及火龙果地中分别布置3个代表性样地作为空间重复,同一类型土地的3个空间重复间距均超过150 m,共采集土壤样本12个。在每个样地间隔20 m处随机选取5个1 m²的样方,采用直径5 cm的土钻采集0~15 cm的表层土壤,剔除石块和植物根系,将新鲜土壤均匀混合组成一个土壤样品,过2 mm筛,并将其置于4 °C冰箱内保存。同时取出部分土样在室温下风干,过2 mm与0.25 mm筛,用于土壤养分含量的测定,每项养分指标的测定作3个平行样,以保证测定结果的精确性。

1.3 土壤养分测定

土壤样品理化指标采用常规分析方法分析^[8],其中:pH采用电位法(水土比2.5:1)测定;有机碳采用重铬酸钾-硫酸消化法测定;土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定;土壤全磷采用HClO₄-H₂SO₄消煮,钼锑抗比色法测定;有效磷采用钼蓝比色法测定;全钾采用NaOH消煮,火焰光度法测定;速效钾采用1 mol·L⁻¹NH₄OAc溶液(pH=7)浸提,火焰光度计测定;土壤全钙、全镁含量采用EDTA滴定法测定;土壤铜、铁、锰和锌的有效态含量采用DTPA浸提,原子吸收光谱法测定。

1.4 数据处理

采用Microsoft Office Excel 2007软件进行12

项土壤养分数据整理,应用SPSS(Statistic Programs for Social)22进行原始数据的标准化处理、主成分分析及方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤养分特征

常规分析结果表明(表1),土壤有机碳含量介于18.45~51.02;土壤全氮、全磷及全钾含量为0.92~4.47、0.59~1.76及7.75~9.86;土壤有效磷与速效钾含量的变化范围分别为0.53~56.20与143.85~1114.83;土壤全钙及全镁含量分别为3.63~10.69及3.99~6.68;土壤有效铜、有效铁、有效锰及有效锌含量的变化范围分别为1.01~2.99、5.26~13.49、41.17~96.11、0.92~5.09。

采样区土壤养分的变异系数(C_v)为0.14~1.76,变异系数的大小反映特性参数的离散程度,一般可分为三个等级:弱强度变异(C_v<0.10),中等强度变异(0.10≤C_v≤1.00)及高强度变异(C_v>1.00)。从表1数据中可以看出,土壤有效磷与速效钾的变异系数分别为1.76与1.02,均高于1.00,属于高强度变异;其余10种土壤养分的变异系数均在0.10~1.00,属于中等强度变异,说明采样区不同土地利用条件下,土壤养分水平有较大差异。

表1 石漠化区4种土地利用下土壤基本理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties under four kinds of land use in karst regions

	火龙果地	玉米地	林地	封育草地	变异系数/C _v
pH	5.91±0.46bc	5.49±0.44c	6.33±0.27b	7.22±0.23a	0.12
TOC/g·kg ⁻¹	18.48±0.70c	10.46±3.92c	39.17±3.97b	51.02±6.95a	0.58
TN/g·kg ⁻¹	1.90±0.10c	0.92±0.54d	3.39±0.32b	4.47±0.49a	0.55
TP/g·kg ⁻¹	1.76±0.43a	0.59±0.01b	0.59±0.12b	0.82±0.10b	0.57
TK/g·kg ⁻¹	8.71±0.79a	8.30±0.52a	7.75±0.17a	9.87±2.00a	0.14
有效磷/mg·kg ⁻¹	56.20±25.29a	0.53±0.23b	1.90±0.61b	2.60±1.15b	1.76
速效钾/mg·kg ⁻¹	1114.83±30a	147.95±10b	143±26.03b	310.37±46.61b	1.02
Ca/g·kg ⁻¹	5.23±0.57b	3.63±0.69b	6.45±0.54b	10.69±2.84a	0.46
Mg/g·kg ⁻¹	3.99±0.17c	4.32±0.20c	5.30±0.89b	6.68±0.31a	0.23
Cu/mg·kg ⁻¹	2.99±0.60a	1.01±0.57c	1.95±0.38b	1.99±0.21b	0.42
Fe/mg·kg ⁻¹	11.66±1.68a	5.26±1.82b	13.49±2.57a	6.70±0.53b	0.42
Mn/mg·kg ⁻¹	96.11±35.93a	57.73±14.86ab	88.72±25.64a	41.17±11.65b	0.44
Zn/mg·kg ⁻¹	5.04±1.30a	0.92±0.36d	3.25±0.74c	5.09±0.86a	0.54

注:表中同一行不同字母表示不同用地类型土壤的各项养分指标差异性显著(P<0.05)。

2.2 土壤养分的主成分分析

反映土壤养分状况的指标很多,各指标间存在一定的相关性,导致部分土壤养分指标之间出现信息重叠,可应用主成分分析法将复杂的土壤养分体系组合成若干彼此不相关的综合性指标。综合性指标之间彼此独立,并且能够反映原始指标的大部分信息^[9]。

因此本文选取土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、全钙、全镁、有效铜、有效铁、有效锰及有效锌共 12 项土壤养分指标进行主成分分析。为消除指标量纲与数量级的影响,保证计算结果的客观性与科学性,需对数据进行标准化处理,同时计算各养分指标之间的相关矩阵(表 2)。

表 2 土壤养分指标相关系数矩阵

Table 2 Soil nutrient correlation coefficient matrix

	TOC	TN	TP	TK	有效磷	速效钾	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
TOC	1	0.99**	-0.22	0.44	-0.33	-0.26	0.91**	0.86**	0.17	0.14	-0.27	0.54
TN		1	-0.14	0.43	-0.26	-0.18	0.90**	0.84**	0.23	0.17	-0.19	0.59*
TP			1	0.28	0.87**	0.99**	-0.03	-0.35	0.81**	0.34	0.52	0.62*
TK				1	0.10	0.21	0.76**	0.33	0.19	-0.27	-0.36	0.44
有效 P					1	0.84**	-0.18	-0.47	0.77**	0.36	0.37	0.52
速效 K						1	-0.07	-0.41	0.78**	0.34	0.53	0.58*
Ca							1	0.77**	0.19	-0.07	-0.39	0.59*
Mg								1	0.01	-0.15	-0.33	0.33
Cu									1	0.61*	0.52	0.79**
Fe										1	0.70*	0.35
Mn											1	0.11
Zn												1

注: * 表示显著相关($P < 0.05$), ** 表示极显著相关($P < 0.01$)。

求出相关矩阵的特征值与特征向量,并计算特征值的贡献率与累积贡献率(表 3)。提取特征值大于 1 的 3 个主成分 PC1、PC2、PC3,各主成分的方差贡献

率分别为 40.16%、37.26% 以及 13.27%,累积贡献率达 90.69%,表明主成分 PC1、PC2、PC3 已包含土壤养分 90.69% 的信息。

表 3 各主成分的特征值和贡献率

Table 3 Eigen values and variance contribution rates of principal components

主成分 PC	特征值			提取主成分的特征值		
	总计	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	总计	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	4.82	40.16	40.16	4.82	40.16	40.16
2	4.47	37.26	77.42	4.47	37.26	77.42
3	1.59	13.27	90.69	1.59	13.27	90.69
4	0.45	3.77	94.45			
5	0.36	3.00	97.45			
6	0.16	1.34	98.79			
7	0.07	0.54	99.33			
8	0.04	0.37	99.70			
9	0.03	0.24	99.93			
10	0.01	0.07	100.00			

因子载荷系数反映了因子对主成分的贡献大小(表4),系数大于0表示变量与主成分作用方向相同,即二者呈正相关关系;系数小于0则说明变量与主成分的作用方向相反,即二者呈负相关关系。从表4可以看出,第1主成分PC1主要综合了全磷、有效磷、速效钾、有效锰的信息,对应的因子载荷系数分别

为0.86、0.86、0.87和0.70;第2主成分PC2主要综合了有机碳、全氮、全钙和有效锌的信息,对应的因子载荷系数分别为0.79、0.82、0.85和0.90;在第3主成分PC3中,因子载荷量较大的仅为有效铁,对应的因子载荷系数分别为0.72。

表4 土壤养分因子载荷矩阵

Table 4 Factor loading matrix of soil nutrients

	TOC	TN	TP	TK	有效P	速效K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
PC1	-0.56	-0.49	0.86	-0.18	0.86	0.87	-0.48	-0.68	0.68	0.51	0.70	0.29
PC2	0.79	0.82	0.42	0.63	0.26	0.36	0.85	0.60	0.67	0.29	0.01	0.90
PC3	0.24	0.26	-0.26	-0.62	-0.24	-0.24	-0.14	0.18	0.13	0.72	0.56	-0.05

注:表中因子载荷值>0.7用粗体表示。

表5 各主成分特征向量系数

Table 5 Eigen vector coefficients of principal components

	TOC	TN	TP	TK	有效P	速效K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
PC1	-0.26	-0.22	0.39	-0.08	0.39	0.40	-0.22	-0.31	0.31	0.23	0.32	0.13
PC2	0.37	0.39	0.20	0.30	0.12	0.17	0.40	0.28	0.32	0.14	0.00	0.42
PC3	0.19	0.20	-0.20	-0.50	-0.19	-0.19	-0.11	0.14	0.11	0.57	0.44	-0.04

土壤养分的主成分由12项土壤养分指标,以特征向量系数为权数线性组合而成,是土壤养分状况的综合反映。各主成分的因子载荷系数除以相应的主成分特征值的平方根,可以确定各主成分所对应的特征向量系数(表5)。根据主成分计算公式,可以得到3个主成分与原12项土壤养分指标的线性组合如下:

$$PC1 = -0.26X_1 - 0.22X_2 + 0.39X_3 - 0.08X_4 \cdots$$

$$+ 0.31X_9 + 0.23X_{10} + 0.32X_{11} + 0.13X_{12}$$

$$PC2 = 0.37X_1 + 0.39X_2 + 0.20X_3 + 0.30X_4 \cdots$$

$$+ 0.32X_9 + 0.14X_{10} + 0.42X_{12}$$

$$PC3 = 0.19X_1 + 0.20X_2 - 0.20X_3 - 0.50X_4 \cdots$$

$$+ 0.11X_9 + 0.57X_{10} + 0.44X_{11} - 0.04X_{12}$$

将经过标准化的土壤养分数据代入PC1-PC3计算公式中,可以得到4种用地类型在3个主成分上的得分,再根据 $PC = \sum b_n \times PC_n$,其中 b_n 为第 n 个主成分的方差贡献率,得到 $PC = 0.40161PC_1 + 0.37258PC_2 + 0.13268PC_3$,计算不同土地利用下的主成分的综合得分。

基于单因素方差分析研究4种不同用地类型下

主成分的差异(表6)。从表6可以看出,在4种土地利用方式下,PC1的值为-2.13~3.35,具体表现为火龙果地>林地和玉米地>封育土地;PC2的值为-2.93~2.26,其大小顺序表现为封育土地>火龙果地>林地>玉米地;PC3的值介于-0.82~1.82,其中林地PC3的值最大,为1.82,火龙果地、封育土地及玉米地PC3的值差异不大,分别为-0.42、-0.60及-0.82。单因素方差分析结果表明,不同土地利用方式对PC1、PC2、PC3的影响极为显著,其中土地利用方式对PC1的影响程度最大($F=37.37, P<0.01$),其次为PC2($F=16.72, P=0.001<0.01$),PC3受土地利用方式影响最小($F=8.70, P=0.007<0.01$)。

如表6所示,土壤主成分的综合得分PC介于-1.46~1.54,不同土地利用方式对PC影响极为显著($F=17.25, P=0.00<0.01$),综合得分PC由大到小排序为火龙果地(1.54)>林地(0.02)>封育草地(-0.09)>玉米地(-1.46),说明火龙果地土壤具有较好的肥力状况,林地与封育草地土壤次之,玉米地土壤肥力状况较差。

表 6 各用地类型土壤养分的主成分得分及其方差分析

Table 6 Principal component scores and their variances of soil nutrients in each land type

	PC1	PC2	PC3	PC
火龙果地	3.35±1.18a	0.68±1.19ab	-0.42±0.46b	1.54±0.91a
玉米地	-0.66±0.15b	-2.93±0.74d	-0.82±0.49b	-1.46±0.35c
林地	-0.55±0.27b	-0.01±0.61c	1.82±0.69a	0.02±0.30b
封育草地	-2.13±0.53c	2.26±1.03a	-0.60±1.10b	-0.09±0.08b
F	37.37	16.72	8.70	17.26
显著性 P	0.000**	0.001**	0.007**	0.001**

注: 表中同一列不同字母表示不同用地类型土壤养分的各项主成分差异性显著 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 不同用地方式土壤养分状况差异

土地利用是自然环境与人类活动相互作用的综合过程, 土壤养分状况与土地利用方式密切相关。本研究中, 采样区土壤养分的变异系数介于 0.14 ~ 1.76, 不同土地利用方式下土壤养分存在较大的空间差异。土地利用方式对土壤养分状况的影响机制十分复杂, 不同土地利用方式下, 因其地表覆被、植被生长状况、凋落物数量及其化学组成和人为干扰程度的不同, 直接影响着土壤养分物质的输入与输出, 从而引起土壤养分状况发生改变^[10]。在自然状态下, 植被可以通过改变土壤水热环境直接影响土壤的发育条件, 还可以通过凋落物及根系的回归为土壤输送养分^[11], 因此在植被覆盖程度高的土地利用方式下, 土壤具有较好的肥力状况^[12]。在农业生产活动中, 人为的翻耕、松土能促进土壤有机质迅速矿化, 导致碳、氮、磷等养分元素无法在土壤中大量积累, 而农民对作物的收割又会导致土壤养分的严重损失^[13], 加之有机肥施用不足, 造成表层土壤养分含量大幅度下降。另外, 土壤各养分指标之间存在一定的相关性 (表 2), 土壤中一种养分指标的变化可能会引起一种甚至多种土壤养分指标发生改变。可见, 土壤养分含量的变化是多因素综合作用的结果, 因此要想进一步了解土地利用方式对土壤养分状况的作用机制还需要进行更为深入的研究。

土壤养分特征是多项土壤指标的综合体现, 为避免因多项指标之间的相关性引起的信息重叠, 本文基于主成分分析方法, 提取累积方差贡献率为 90.69% 的 3 个主成分 PC1、PC2、PC3 取代原有 12 项土壤养分指标, 比较不同用地土壤养分状况差异。在本文研

究中, 四种用地类型土壤养分的主成分综合得分 (PC) 排名为火龙果地 > 林地 > 封育草地 > 玉米地。谢谨等^[14]研究发现, 林地土壤肥力质量明显高于玉米地; 孙泉忠^[15]也在研究中指出, 草地土壤相比于耕地具有较好的养分状况。一般认为, 耕地因频繁耕作等干扰措施的影响, 使得土壤营养元素随收获而迁出, 造成土壤质量下降^[16]。比较玉米地土壤的 3 个主成分得分可以看出, 玉米地土壤 PC1、PC2 及 PC3 均为负数, 由表 2 可以看出, 四种土地利用类型中, 玉米地各土壤养分含量处于较低的水平, 使得玉米地具有较差的土壤养分状况, 这与上述学者的研究结论基本一致。林地与封育草地在种植过程中既没有肥料的投入, 也没有作物产品的输出, 植被残体是其土壤最主要的养分来源, 另外植被残体在土壤表面堆积具有防止水土流失, 保持并改善土壤肥力的功能^[17], 一定程度上减少了林地与封育草地土壤养分元素向外流失, 使得林地与封育草地的土壤养分含量能够保持着较为适中的状态。火龙果地土壤相比于其他用地土壤却具有最佳的养分状况, 从火龙果地土壤的 3 个主成分得分可以看出, 火龙果地土壤 PC1 明显高于其他用地类型。对比表 2 数据, 火龙果地土壤的有效磷与速效钾含量较高, 这可能是由于在火龙果种植过程中施加了大量有机肥 (熟腐牛粪) 的结果。史吉明等^[18]研究发现土壤有机质含量的增加能降低土壤对磷、钾的吸附, 从而提高土壤有效磷与速效钾的含量, 因此在作物种植过程中施加适量有机肥有助于保持土壤肥力, 避免土壤在农业生产过程中发生退化。

3.2 岩溶石漠化区的土壤养分修复

目前, 石漠化治理主要采取封山育林、作物种植等方式^[19]。本文研究中, 火龙果地与林地土壤相比于封育草地土壤具有更好的肥力状况, 表明植树造林

与火龙果种植对石漠化区土壤养分状况的提升具有积极的影响。但在石漠化问题较为严重的岩溶区,由于其环境条件极度恶劣,当地生态系统难以进行自我修复^[20],采取简单的造林及作物种植并不能有效提高土壤养分状况,因此我们建议:(1)石漠化治理应以封山为主,植被种植为辅,形成农业、林业、工程、管理及区域经济发展有机结合的石漠化综合治理体系;(2)在石漠化治理过程中,可以先引入适宜的先鋒植物,以改善治理区的土壤养分状况,并逐步将当地生态系统导向多样化、复杂化的发展方向。另外,在植被种植过程中,应当注重土壤肥力的保持,科学施肥,合理施肥,保证土壤的养分平衡,以提高土壤的供肥能力。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)研究区土壤中各养分指标的变异系数介于0.14~1.76,属中等强度及高强度变异,表明不同土地利用方式下,土壤养分状况有较大的差异。耕作方式、施肥措施、覆被类型的不同是造成样区土壤养分状况差异的主要原因。

(2)从主成分分析来看,12个养分指标归结为3个主成分,方差贡献率为90.69%,可以有效概括研究区的土壤养分特征。其中第一主成分(PC1)主要综合了全磷、有效磷、速效钾和有效锰的信息;第二主成分(PC2)主要综合了有机碳、全氮、全钙和有效锌;第三主成分(PC3)中有效铁的贡献较大。

(3)土壤指标的主成分综合得分表现为:火龙果地>林地>封育草地>玉米地,表明植树造林及火龙果种植等方式能有效改善石漠化区的土壤养分状况。针对样区的石漠化治理,应当尽可能的减少不合理人为活动的干扰,并以火龙果先鋒植物或采取林地修复的相关措施,改善治理区的土壤养分状况,逐步将样区石漠化生态系统导向多样化、复杂化的发展方向。

4.2 讨论

本文基于主成分分析,综合12项土壤养分指标,比较重度石漠化地区不同土地利用方式下的土壤养分状况差异,克服了以往利用单一的养分指标对比土壤养分状况的片面性。但在本文的研究中也存在着一些不足。首先,在样品的采集工作中,我们缺少了对玉米地与火龙果地收获物产量及带走养分情况的调查研究,因此文章不能充分讨论因肥料投入与产品输出的平衡关系所造成的土壤养分状况变化,这也是

我们在今后的采样与研究中应该重视的问题。其次,岩溶石漠化区土壤空间异质性较强,本文仅选取较有代表性的样地进行采样分析,并未包含整个碧色寨地区,因此要想充分了解碧色寨地区土壤养分元素的分布状况,还应当设置数量更多、密度更大的样点进行采样研究。

参考文献

- [1] 苏维词,杨华,李晴,等.我国西南喀斯特山区土地石漠化成因及防治[J].土壤通报,2006,37(3):447-451.
- [2] 喻魁.中国石漠化分布现状与特点[J].中南林业调查规划,2003,22(2):53-55.
- [3] 袁道先.我国西南岩溶石山的环境地质问题[J].大自然探索,1996,19(4):21-23.
- [4] 王世杰.喀斯特石漠化—中国西南最严重的生态地质环境问题[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(2):120-126.
- [5] 李强,蒲俊兵,黄妮,等.断陷盆地生态环境地质分异及石漠化演变机理的研究途径[J].地球科学进展,2017,32(9):899-907.
- [6] 曹建华,邓艳,杨慧,等.喀斯特断陷盆地石漠化演变及治理技术与示范[J].生态学报,2016,36(22):7103-7108.
- [7] 夏日元,莫源富,唐健生.云南蒙自盆地岩溶石漠化动态演变特征研究[C].中国岩溶地下水与石漠化研究.南宁.广西科学技术出版社,2003:20-25.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 何晓群.多元统计分析[M].北京:中国人民大学出版社,2008.
- [10] 肖焯,张于光,张小全,等.土地利用变化对土壤肥力影响研究进展[J].世界林业研究,2007,20(1):6-9.
- [11] 张静,常庆瑞.渭北黄土高原不同林型植被对土壤肥力的影响[J].水土保持通报,2006,26(3):26-28.
- [12] 蒋艳华,胡宝清,安钧鉴.喀斯特小流域生态治理下土壤养分特征分析:以广西都安县澄江小流域为例[J].环境科学与管理,2012,37(1):125-128.
- [13] 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):89-96.
- [14] 谢瑾,李永梅,候天才.纳板河流域不同土地利用类型下土壤综合肥力分析[J].云南农业大学学报(自然科学),2012,27(3):401-407.
- [15] 孙泉忠.贵州省石漠化综合治理人工种草土壤肥力综合评价[J].贵州农业科学,2015,43(9):94-97.
- [16] 李生,张守攻,姚小华,等.黔中石漠化地区不同土地利用方式对土壤环境的影响[J].长江流域资源与环境,2008,17(3):384-389.
- [17] 黄承标,杨钙仁,魏国余,等.桉树林地枯枝落叶层的水文特性及养分贮量[J].福建林学院学报,2011,31(4):289-294.
- [18] 史吉平,张夫道,林葆.长期施用氮磷钾化肥和有机肥对土壤氮磷钾养分的影响[J].中国土壤与肥料,1998(1):7-10.
- [19] 蔡道雄,卢立华.浅谈石漠化治理的对策及造林技术措施[J].世界林业研究,2002,15(2):76-80.
- [20] 梁亮,刘志霄,张代贵,等.喀斯特地区石漠化治理的理论模式探讨[J].应用生态学报,2007,18(3):595-600.

Characteristics of soil nutrient in karst rocky regions with heavy desertification under different land-use patterns

ZHU Zihong¹, YANG Cheng², XIE Yincui³, WANG Qun⁴, ZHU Tongbin³

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China;*

3. *Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences / Karst Dynamics Laboratory, MNR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;*

4. *Haihe Basin Soil and Water Conservation Monitoring Center, Haihe River Water Conservancy Commission, MWR, Tianjin 300170, China)*

Abstract This study used the principal component analysis(PCA) method to analyze the variation characteristics of soil nutrient under different land uses in the karst rocky desertification regions of Bizezhai village, Mengzi City, Yunnan Province. The results show that, (1) the variation coefficient of nutrient content in soil is between 0.14 and 1.76, indicating the relatively great differences in soil nutrients among different land uses; (2) Twelve soil nutrient indexes could be reduced to three principal components, which provide information accounting for 90.69% of the total. Among them, PC1 contains total P, effective P, rapidly effective K and available Mn. PC2 includes total organic carbon, total N, total Ca and available Zn. The contribution of available Fe to PC3 is the greatest; (3) The comprehensive score of principal components of soil nutrients in different land uses are ranked as follows, Pitaya > Plantation > undisturbed grass > Corn. The ranking result shows that forestation and Pitaya plantation can effectively improve soil nutrient status in rocky desertification areas. Collectively, the rocky desertification control in the study area should be on the premise of forestation to ecological restoration. We suggest that planting pitaya or eucalypts is conducted to improve the soil conditions in the sampled area, thus gradually forming the integrated management system of rocky desertification, which is beneficial to the coordinated development of the ecological environment and social economy.

Key words karst area, land use, soil nutrient, principal components analysis

(编辑 吴华英)