

抛荒地不同处理及利用方式对喀斯特地区土壤微生物的影响

刘艳^{1,2,3}, 宋同清^{2,3*}, 蔡德所^{1,4}, 曾馥平^{2,3}, 彭晚霞^{2,3}, 杜虎^{2,3}, 刘炆⁴

(1. 广西大学土木建筑工程学院, 南宁 530004; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 3. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 环江 547100, 4. 广西水利厅, 南宁 530023)

摘要: 土壤微生物特性是土壤养分的储存库, 土壤养分也影响土壤微生物活性, 了解两者的相互作用机制对土地利用与管理提供理论依据, 而喀斯特地区不同土地利用方式相关研究较少。基于喀斯特峰丛洼地火烧、刈割、刈割除根、封育、种植玉米、种植桂牧1号杂交象草6种坡面典型的土地利用方式的动态监测样地建设与调查, 该文分析了不同土地利用方式下土壤微生物特性, 揭示其与土壤养分相互作用机制。结果表明, 不同土地利用方式对土壤养分的影响不同, 土壤有机质(soil organic matter, SOM)、全氮(total nitrogen, TN)、全磷(total phosphorus, TP)、碱解氮(available nitrogen, AN)等沿封育、火烧、刈割、刈割除根、种植桂牧1号、种植玉米等土地利用方式的转变而减少; 不同土地利用方式土壤微生物生物量各不同, 土壤微生物量碳(microbial biomass carbon, MBC): 244.98~1 246.89 mg/kg、土壤微生物量氮(microbial biomass nitrogen, MBN): 35.44~274.69 mg/kg、土壤微生物量磷(microbial biomass phosphorus, MBP): 30.88~64.72 mg/kg, 其中, 种植玉米土壤微生物生物量均最低, 其土壤质量退化现象严重; 不同土地利用方式土壤微生物种群数量及组成影响不同, 种植玉米和桂牧1号杂交象草细菌占绝对优势, 而火烧、刈割、刈割除根及封育均以放线菌占绝对优势, 真菌的比例很少; 不同土地利用方式土壤微生物特性与土壤养分之间相互作用关系不同: 火烧的土壤TP和MBP、全钾(total potassium, TK)与MBC、TN与放线菌作用最强且均呈正相关, 刈割的土壤TN与MBC呈正相关, 刈割除根的速效磷(available phosphorus, AP)与MBN正相关, 封育的pH值与MBC、真菌负相关, 种植玉米的TN、TK与MBP负相关, 种植桂牧1号杂交象草的pH值与真菌负相关、与放线菌正相关; 聚类分析可以将喀斯特峰丛洼地6种土地利用方式划分为4类, 其中封育和火烧最好。

关键词: 土地利用, 土壤, 微生物, 土壤养分, 喀斯特地区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.028

中图分类号: S154.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0202-09

刘艳, 宋同清, 蔡德所, 等. 抛荒地不同处理及利用方式对喀斯特地区土壤微生物的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 202-210.

Liu Yan, Song Tongqing, Cai Desuo, et al. Effects of different treatment and utilization types after land leaving unused on soil microbial properties in Karst region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 202-210. (in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤微生物是地球生物演化进程中的先锋种类^[1], 是土壤中一切肉眼看不见或看不清楚的微小生物的总称, 被公认为土壤生态系统变化的预警及敏感指标^[2]。土壤微生物是土壤有机质周转和养分

循环的主要驱动力, 同时也是土壤养分的储存库和植物生长养分的重要来源^[3]。不少学者对不同土地利用方式^[4-5]、不同耕作方式^[6-7]、不同生态系统^[8]、不同退耕还林还草模式^[9]、坡耕地^[10]、不同森林^[11]土壤微生物特性进行了研究, 探讨了土壤微生物属性与土壤养分间的关系。然而, 在喀斯特地区有关不同土地利用方式下的土壤微生物与土壤养分相互作用机制的研究较少。

喀斯特环境由于其形成的碳酸盐岩基质的特殊性而与常态地貌有着极大的差别^[12], 具有高度的异质性、新生态位易于形成及不稳定性等特点, 土壤微生物遗传多样性^[13]、微生物生物量^[14-15]和微生物种群数量^[16]也具有明显的特异性, 是研究土壤微生物空间分布格局及其与凋落物、植被、地形、土壤、气候变化、人类干扰相互作用的天然实验室。本文采用网格法取样, 分析了喀斯特峰丛洼地坡面

收稿日期: 2013-06-19 修订日期: 2013-10-22

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2XB310); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050205、XDA05070404); 国家科技支撑计划(2011BAC09B02); 国家自然科学基金项目(31370845、31370623、U1033004和31100329); 广西科技项目(桂科攻1123001-9C)和广西特聘专家项目共同资助。

作者简介: 刘艳(1980-), 女, 湖北荆门人, 博士生, 主要从事水土保持及生态恢复研究。南宁 广西水利厅广西水土保持监测总站, 530023。Email: liuyan201206@163.com

*通信作者: 宋同清(1962-), 男, 湖北天门人, 副研究员, 从事林学和生态恢复等研究。长沙 中国科学院亚热带农业生态研究所, 410125。Email: songtongq@isa.ac.cn

火烧、刈割、刈割除根、封育、顺坡垦殖玉米和顺坡垦殖桂牧 1 号杂交象草(简称桂牧 1 号) 6 种土地利用方式下土壤微生物特性, 揭示土壤微生物的生态服务功能; 并用典型相关分析方法分析了土壤养分和微生物 2 个集团因子的相互关系, 筛选出该地区土地利用优化模式, 为该区域土地利用方式的合理选择和生态重建提供了科学依据。

1 研究概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于在广西壮族自治区环江毛南族自治县中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站木莲综合试验示范区(24°43'~24°44'N, 108°18'~108°19'E), 属于中亚热带季风气候区; 全年无霜期 300~330 d; 年均气温 19.9℃, 极端高温 38.7℃, 极端低温-5.2℃, 太阳年平均辐射总量 414.1 kJ/cm²; ≥10℃积温为 5 500~6 530℃。年均降雨量 1 389.1 mm, 降水丰富但季节分布不均, 雨季降雨量占全年降雨量的 70%以上。研究区为典型的喀斯特峰丛洼地, 海拔高度 272.0~647.2 m, 大部分坡地坡度要大于 25°, 洼地、坡地平均基岩裸露率分别为 15%和 30%, 相应的土层深度分别为 20~160 和 10~50 cm。土壤由白云岩发育而成, 地表多覆盖碎石(粒径>2 mm), 表土碎石体积分数可达 10%~40%^[17]; 土壤质地为黏壤土和黏土, 粉粒、黏粒质量分数分别为 25%~50%和 30%~60%; 土壤有机质质量分数为 2.2%~10.1%, 土壤 pH 值为中性至微碱性, 不利于作物生长和耕作管理, 因此在 1985 年研究区所有居民外迁, 耕地全部撂荒。受砍伐、火烧和放牧的影响, 主要的植被类型为荒草地和稀疏灌丛, 但西南部洼地、山坡两侧以及四周坡麓地带有呈斑块状和条带状分布的茂密次生林或灌木林。研究区地带性植被类型为常绿阔叶林, 经过 24 a 的自然抛荒, 植被得到了不同程度的恢复, 常见的植物种主要有小构树(*Broussonetia kazinok*)、圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、八角枫(*Alangium chinensis*)、华南皂荚(*Gleditsia fera*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)、黄荆(*Vitex negundo*)、灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、金樱子(*Rosa laevigata*)、鬼针草(*Bidens parviflora*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、蔓生莠竹(*Microstegium vagans*)、蕨菜(*Pteridium aquilinum*)等^[18]。

1.2 样方设置及调查

2006 年底在中国科学院环江喀斯特生态系统

观测研究站一面相对均一的东南向山坡中下部邻接处建立了火烧、刈割、刈割除根、封育、顺坡垦殖种植玉米、顺坡垦殖种植桂牧 1 号 6 种喀斯特峰丛洼地常见的土地利用方式动态监测样地, 投影面积为 1 400 m² (20 m×70 m)。3 a 后, 2009 年 10 月, 用插值法将样方细分为 14 个 10 m×10 m 小型样方和 64 个 5 m×5 m 的微型样方, 以 5 m×5 m 微型样方为基本单元, 调查每个胸径(DBH)≥1 cm 的个体, 记录树种名称、胸径、树高、冠幅和生长状况等; 按 5 点取样法随机抽取 5 个微型样方, 调查灌木和草本的种类、数量、高度和生长状况等。

1.3 土壤取样及分析

在植被调查的同时, 对各动态监测样地 5 m×5 m 网格表层土壤(0~20 cm)取样和分析, 土样充分混合, 然后将待测样品分成 2 部分, 一部分带回实验室风干测定土壤常规指标, 另一部分带回实验室置于 4℃恒温冰箱中, 测定土壤微生物特性。土壤常规分析参考文献^[19-20]: 土壤 pH 值的测定采用电极电位法, 有机质(SOM)的测定采用重铬酸钾氧化-外加加热法, 全氮(TN)的测定采用半微量开氏法-流动注射仪, 全磷(TP)的测定采用 NaOH 熔融-钼锑抗显色-紫外分光光度法, 全钾(TK)的测定采用 NaOH 熔融-原子吸收法, 碱解氮(AN)的测定采用扩散法, 速效磷(AP)的测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 提取-钼锑抗显色-紫外分光光度法, 速效钾(AK)的测定采用 NH₄Ac 浸提-原子吸收法。土壤微生物特性测定参考文献^[21]: 土壤微生物量碳(MBC)的测定采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法, 土壤微生物量氮(MBN)的测定用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 提取-流动注射氮分析仪法, 土壤微生物量磷(MBP)的测定采用氯仿熏蒸-NaHCO₃ 提取-Pi 测定-外加 Pi 校正法, 细菌、真菌、放线菌的数量测定均采用稀释平板测数法。

1.4 数据处理

将 14 个指标划分为 2 组变量, 其中, 土壤微生物为第 1 类变量, 包括 MBC、MBN、MBP、细菌、真菌、放线菌; 土壤常规养分为第 2 类变量, 包括 pH 值、SOM、TN、TP、TK、AN、AP、AK。所有数据处理、典范相关分析、聚类分析均在 SPSS16.0 软件中完成, 多重比较分析采用单因子, 差异显著性检验采用 LSD 检验(显著性水平设定为 α=0.05, 极显著水平设定为 α=0.01)。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式对土壤养分的影响

由表 1 可知, 白云岩发育的石灰土呈碱性, pH 值较高, 为 7.83~7.98, 土壤有机碳和其他元素含量

均很高,有机碳: 109.02~158.62 g/kg, 全氮: 4.29~6.90 g/kg, 全磷: 1.15~1.47 g/kg, 全钾: 3.59~6.05 g/kg, 碱解氮: 331.49~505.49 mg/kg, 速效磷: 3.92~10.91 mg/kg, 速效钾: 136.28~198.10 mg/kg。不同的土地利用方式对 pH 值、有机质碳和各营养元素含量的影响不同,其大小顺序分别为 pH 值: 刈割除根>刈割、封育、火烧、玉米>桂牧 1 号,有机质: 封育、火烧、刈割>刈割除根、桂牧 1 号>玉米,全氮: 封育>火烧、刈割>刈割除根、桂牧 1 号>玉米,

全磷: 封育>刈割除根、火烧>刈割、桂牧 1 号、玉米,全钾: 玉米>封育、桂牧 1 号、刈割除根、火烧>刈割,碱解氮: 火烧>封育>刈割除根、桂牧 1 号、刈割>玉米,速效磷: 玉米>火烧、封育、刈割除根、桂牧 1 号>刈割,速效钾: 封育>火烧>桂牧 1 号、刈割、玉米、刈割除根,各组间差异达到显著或极显著水平。总体而言,有机质、全氮、全磷、碱解氮等沿封育、火烧、刈割、刈割除根、种植桂牧 1 号、种植玉米的土地利用方式的变更而减少。

表 1 土壤主要养分多重比较

Table 1 Multiple comparisons between soil main nutrients under six land use types

类型 Types	pH 值 pH value	有机质 SOM Soil organic matter/(g·kg ⁻¹)	全氮 TN Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	全磷 TP Total phosphorus /(g·kg ⁻¹)	全钾 TK Total potassium /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 AN Available nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 AP Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 AK Available potassium /(mg·kg ⁻¹)
火烧 Burning	7.89BCbc	115.78Aa	6.23Bb	1.36Ab	4.75Bb	505.49Aa	8.04Bb	182.97Ab
刈割 Cutting	7.93ABab	115.56Aa	5.99Bb	1.24Bc	3.59Cc	365.87Cd	3.92Cd	148.90BCcd
刈割除根 plus with root removal	7.98Aa	98.29Bb	5.40Cc	1.38Ab	4.94Bb	401.88Bc	7.03Bc	136.28Cd
封育 Enclosure	7.89BCbc	116.05Aa	6.95Aa	1.47Aa	5.01Bb	480.65Ab	7.79Bbc	198.10Aa
玉米 Maize plantation	7.87BCbc	76.78Cc	4.29Dd	1.15Bce	6.05Aa	331.49De	10.91Aa	136.83Cd
桂牧 1 号 Pasture plantation	7.83Cc	95.05Bb	5.24Cc	1.23Bcd	5.11Bb	383.79BCcd	6.96Bc	159.20Bc

注: 同一列不同大小写字母的数据间差异分别达到极显著 $p<0.01$ 和显著水平 $p<0.05$ 。下同。

Note: Different capital letters and lowercase letters within a column indicate significant difference at $p<0.01$ level and $p<0.05$ level, respectively. The same as below.

2.2 不同土地利用方式对土壤微生物生物量的影响

不同土地利用方式对土壤微生物生物量的影响不同,由表 2 中可看出,其大小顺序分别为 MBC: 刈割、封育、桂牧 1 号>刈割除根、火烧>玉米,MBN: 刈割>封育、火烧>桂牧 1 号>刈割除根>玉米,MBP: 桂牧 1 号、火烧>封育、刈割>玉米、刈割除根,各组之间差异显著,其中种植玉米土壤微生物生物量最小。种植玉米、

刈割除根 MBC/MBN 最高,火烧最低,只有 1.68;不同土地利用方式土壤 MBC/MBP 很小,除封育达到了 35.43 外,其余的均小于 33.2。不同土地利用方式的大小顺序分别为 MBC/SOC: 桂牧 1 号、封育、刈割>刈割除根、火烧>玉米,MBN/TN: 刈割>火烧>封育>桂牧 1 号>刈割除根、玉米,各组之间差异显著,种植玉米土壤质量退化现象严重。

表 2 土壤微生物生物量多重比较

Table 2 Multiple comparisons between soil microbial biomass under six land use types

类型 Types	土壤微生物量碳 MBC/(mg·kg ⁻¹)	土壤微生物量氮 MBN/(mg·kg ⁻¹)	土壤微生物量磷 MBP/(mg·kg ⁻¹)	MBC/MBN	MBC/MBP	MBC/SOC	MBN/TN
火烧 Burning	389.28Bbc	246.37Bb	53.71ABab	1.68Bc	7.55Bb	3.37Cb	40.39Bb
刈割 Cutting	1071.31Aa	274.69Aa	41.97BCbcd	4.20Bbc	30.78Aa	5.45ABa	45.97Aa
刈割除根 plus with root removal	611.65Bb	59.80Dd	30.88Cd	15.25Aa	26.27ABa	3.65BCb	10.71De
封育 Enclosure	1246.89Aa	253.00ABb	45.13BCbc	5.14Bbc	35.43Aa	6.09Aa	36.30Bc
玉米 Maize plantation	244.98Bc	35.44De	33.38Ccd	15.43Aa	7.78Bb	1.88Cc	8.20De
桂牧 1 号 Pasture plantation	1035.81Aa	124.82Cc	64.72Aa	9.69ABab	24.51ABab	6.44Aa	24.00Cd

2.3 不同土地利用方式对土壤微生物种群数量的影响

不同土地利用方式对微生物种群数量及组成影响不同(表 3),其中细菌数量以种植桂牧 1 号和火烧最高,两者差异不显著,但极显著高于种植玉米,种植玉米极显著高于其他 3 种土地利用方式;真菌以封育、刈割除根和种植桂牧 1 号

最高,三者差异不显著,但均极显著高于火烧和种植玉米,后两者差异不显著,但显著高于刈割;放线菌的数量以刈割最高,极显著高于火烧,火烧显著高于其他 4 种土地利用方式,其他 4 种之间差异不显著;微生物种群数量总量以刈割最高,极显著高于火烧,火烧极显著高于其他 4 种土地

利用方式，种植桂牧 1 号显著高于刈割除根，其他土地利用方式之间差异不显著。从表 3 中还可看出，不同土地利用方式土壤微生物种群的组成

比例不同，种植玉米和桂牧 1 号细菌占绝对优势，而火烧、刈割、刈割除根及封育均以放线菌占绝对优势，真菌的比例很少。

表 3 土壤微生物种群数量多重比较
Table 3 Multiple comparisons between soil microbial populations

类型 Types	细菌 Bacteria / (cfu·g ⁻¹)	真菌 Fungi / (cfu·g ⁻¹)	放线菌 Actinomycetes / (cfu·g ⁻¹)	总数 Sum/(cfu·g ⁻¹)	细菌比例 Percentage of bacteria/%	真菌比例 Percentage of fungi/%	放线菌比例 Percentage of actinomycetes/%
火烧 Burning	1.99×10 ⁵ Aa	1.19×10 ³ Bb	3.67×10 ⁵ Bb	5.29×10 ⁵ Bb	33.48BCcd	0.25Dd	66.27BCbc
刈割 Cutting	3.25×10 ⁴ Cc	7.30×10 ² Cc	1.79×10 ⁶ Aa	1.82×10 ⁶ Aa	1.80De	0.04Dd	98.15Aa
刈割除根 Cutting plus with root removal	7.43×10 ⁴ Cc	1.59×10 ³ Aa	1.05×10 ⁵ BCc	1.81×10 ⁵ Cd	38.40Bc	1.55Aa	60.05Cc
封育 Enclosure	6.09×10 ⁴ Cc	1.83×10 ³ Aa	1.55×10 ⁵ BCc	2.17×10 ⁵ Ced	28.33Cd	1.12Bb	70.55Bb
玉米 Maize plantation	1.43×10 ⁵ Bb	1.12×10 ³ Bb	5.48×10 ⁴ Cc	1.99×10 ⁵ Ccd	68.47Aa	0.76Cc	30.77De
桂牧 1 号 Pasture plantation	2.15×10 ⁵ Aa	1.65×10 ³ Aa	1.19×10 ⁵ BCc	3.36×10 ⁵ Cc	61.10Ab	0.61Cc	38.29Dd

2.4 土壤微生物与土壤养分之间的典型相关分析

喀斯特峰丛洼地火烧、刈割、刈割除根、封育、种植玉米、种植桂牧 1 号等土地利用方式下土壤养分与微生物典型相关分析前 4 个特征值的方差贡献率分别为 70.81%、70.84%、69.29%、59.81%、69.75%、60.30% (表 4)，基本能反映出绝大部分

变量信息，由此而建立了两两之间的 4 对典型变量构成。经统计检验，火烧前 3 对典型变量的相关系数达到了极显著水平，取前 3 对典型变量来分析两类性质之间的相互关系，其余 5 种土地利用方式只有 1 对典型变量相关系数显著，因此只取 1 对典型变量进行分析。

表 4 土壤养分与土壤微生物的典范相关系数的卡方检验
Table 4 Chi-square tests of canonical correlation coefficients between soil nutrients and soil microbe

类型 Types	典型向量 Typical vector	典范相关系数 Canonical correlation coefficient	特征值 Eigenvalue	卡方值 Chi-square value	自由度 Freedom degree	显著水平 Significant level	累积贡献率 Accumulative percentage/%
火烧 Burning	1	0.889	5.146	139.333	48	0.0001	36.76
	2	0.653	2.445	65.024	35	0.0015	54.22
	3	0.584	1.345	38.614	24	0.03	63.83
	4	0.446	0.977	18.836	15	0.2213	70.81
刈割 Cutting	1	0.739	5.697	71.895	48	0.0143	40.69
	2	0.581	1.908	35.203	35	0.4586	54.32
	3	0.458	1.295	16.031	24	0.8869	63.57
	4	0.266	1.019	5.096	15	0.9913	70.84
刈割除根 Cutting plus with root removal	1	0.743	4.917	78.416	48	0.0036	35.12
	2	0.591	2.473	44.287	35	0.1351	52.79
	3	0.489	1.231	26.002	24	0.353	61.58
	4	0.387	1.080	14.415	15	0.4943	69.29
封育 Enclosure	1	0.753	3.642	89.265	48	0.0003	26.01
	2	0.652	1.937	49.574	35	0.0523	39.84
	3	0.456	1.524	23.235	24	0.5059	50.73
	4	0.362	1.272	12.193	15	0.6644	59.81
种植玉米 Maize plantation	1	0.731	4.057	80.724	48	0.0022	28.98
	2	0.609	2.385	44.432	35	0.1319	46.01
	3	0.444	2.047	22.467	24	0.5514	60.63
	4	0.368	1.277	12.033	15	0.6765	69.75
种植桂牧 1 号 Pasture plantation	1	0.722	3.349	73.014	48	0.0115	23.92
	2	0.629	2.219	38.023	35	0.3334	39.77
	3	0.386	1.691	14.134	24	0.9436	51.84
	4	0.278	1.184	6.471	15	0.9707	60.30

火烧土壤养分和土壤微生物第 1、2、3 对典型变量相关系数分别为 0.889、0.653、0.584，相关显著。从第 1 组典型变量系数可以看出土壤因子中 TP

的载荷最高，土壤微生物因子中 MBP 的载荷最大，说明土壤 TP 和 MBP 的相互最大，且呈正相关；第 2 组典型变量系数主要反映了土壤 TK 和土壤 MBC

之间的正相关；第 3 组典型变量反映了土壤 TN 与土壤放线菌之间的正相关（见表 5）。

刈割、刈割除根、封育、种植玉米、种植桂牧 1 号 5 种土地利用方式土壤养分和微生物的第 1 对典型相关系数分别为 0.739、0.743、0.753、0.731、0.722，均达到了极显著水平。从刈割的 1 组典型变量系数可以看出土壤因子中的 TN 载荷最大，土壤

微生物 MBC 的载荷最大，二者的相互影响最大，且呈正相关；刈割除根主要反映了土壤 AP 和土壤 MBN 之间的正相关；封育主要反映了土壤 pH 值与 MBC、真菌之间的负相关；种植玉米主要反映了 TN、TK 与 MBP 之间的负相关；种植桂牧 1 号主要反映了 pH 值与真菌之间的负相关，与放线菌之间的正相关（见表 5）。

表 5 土壤养分与微生物典型变量构成

Table 5 Composition of canonical variables among soil nutrients and soil microorganisms

类型 Types	典型变量 Canonical variables
火烧 Burning	$U_1 = -0.0002X_1 + 0.2579X_2 + 0.3013X_3 - 0.4402X_4 - 0.8228X_5 - 0.0332X_6 - 0.2623X_7 - 0.0108X_8$ $U_2 = -0.0011X_1 - 0.3354X_2 + 0.1643X_3 + 0.4221X_4 - 0.5387X_5 - 0.502X_6 + 0.8958X_7 - 0.225X_8$ $U_3 = 0.8531X_1 - 0.0569X_2 + 1.3585X_3 - 0.772X_4 + 0.5X_5 - 0.3892X_6 + 0.3146X_7 - 0.8104X_8$ $V_1 = -0.4789X_1 + 0.2174X_2 - 0.5812X_3 + 0.0515X_4 + 0.0625X_5 + 0.0274X_6$ $V_2 = 0.7581X_1 + 0.3159X_2 - 0.7502X_3 + 0.1064X_4 - 0.3706X_5 - 0.2981X_6$ $V_3 = -0.0779X_1 - 0.1602X_2 - 0.2043X_3 + 0.451X_4 - 0.6045X_5 + 0.8175X_6$
刈割 Cutting	$U_1 = -0.3872X_1 - 0.4748X_2 + 0.6933X_3 - 0.1695X_4 + 0.3227X_5 + 0.1649X_6 + 0.195X_7 + 0.4632X_8$ $V_1 = 0.6527X_1 + 0.0217X_2 + 0.2732X_3 + 0.2435X_4 + 0.2553X_5 + 0.116X_6$
刈割除根 Cutting plus with root removal	$U_1 = 0.1176X_1 + 0.029X_2 - 0.1055X_3 - 0.1551X_4 + 0.3629X_5 + 0.8026X_6 + 0.083X_7 - 0.131X_8$ $V_1 = 0.4272X_1 + 0.5627X_2 + 0.2134X_3 - 0.0313X_4 + 0.0396X_5 - 0.013X_6$
封育 Enclosure	$U_1 = 1.1628X_1 - 0.1635X_2 + 0.0517X_3 + 0.1157X_4 + 0.0247X_5 + 0.5833X_6 + 0.0602X_7 - 0.0047X_8$ $V_1 = -0.6355X_1 + 0.001X_2 + 0.0871X_3 + 0.0008X_4 - 0.6585X_5 + 0.1373X_6$
玉米 Maize plantation	$U_1 = 0.4808X_1 - 0.8141X_2 + 1.197X_3 - 0.4108X_4 - 0.2467X_5 - 0.0483X_6 + 1.095X_7 - 0.1033X_8$ $V_1 = -0.3493X_1 + 0.5183X_2 - 0.7154X_3 - 0.4315X_4 - 0.2973X_5 + 0.0196X_6$
桂牧 1 号 Pasture plantation	$U_1 = 0.9297X_1 - 0.8492X_2 - 0.0042X_3 - 0.0835X_4 + 0.1142X_5 + 0.4176X_6 - 0.2742X_7 - 0.0755X_8$ $V_1 = 0.2821X_1 - 0.1119X_2 - 0.0096X_3 - 0.267X_4 - 0.7899X_5 + 0.7486X_6$

注：X₁ 为 pH 值；X₂ 为有机质；X₃ 为全氮；X₄ 为全磷；X₅ 为全钾；X₆ 为碱解氮；X₇ 为速效磷；X₈ 为速效钾；Y₁ 为土壤微生物生物量碳；Y₂ 为土壤微生物生物量氮；Y₃ 为土壤微生物生物量磷；Y₄ 为真菌；Y₅ 为细菌；Y₆ 为放线菌。

Note: X₁, pH value; X₂, Soil organic matter (SOM); X₃, Total nitrogen (TN); X₄, Total phosphorus (TP); X₅, Total potassium (TK); X₆, Available nitrogen (AN); X₇, Available phosphorus (AP); X₈, Available potassium (AK); Y₁, Microbial biomass carbon (MBC); Y₂, Microbial biomass nitrogen (MBN); Y₃, Microbial biomass phosphorus (MBP); Y₄, Fungi; Y₅, Bacterium; Y₆, Actinomycetes.

2.5 喀斯特峰丛洼地土地利用方式优化

以喀斯特峰丛洼地 6 种不同土地利用方式土壤 pH 值、SOM、TN、TP、TK、AN、AP、AK 8 个养分指标和 MBC、MBN、MBP、细菌、真菌、放线菌 6 个微生物指标进行规格化处理，采用欧氏距离、离差平方和法进行聚类（图 1）。从中可以看出喀斯特峰丛洼地 6 种土地利用方式从土壤肥力角度出发可划分为 4 类，第 1 类为封育和火烧，对土壤的破坏性小，土壤综合肥力最高；第 2 类为种植桂牧 1 号，桂牧 1 号种植 3a 后对土壤肥力恢复具有一定促进作用；第 3 类为刈割，第 4 类为对土壤破坏比较严重的刈割除根和种植玉米。因此，在喀斯特峰丛洼地进行土地利用方式选择时应根据相应的立地条件和类型，按照土地利用方式优化顺序进行适当的选择。

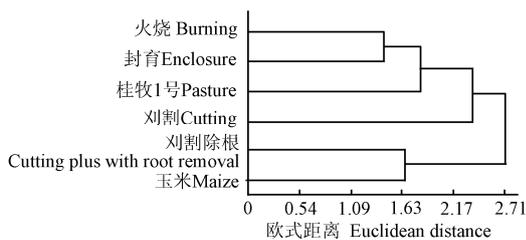


图 1 不同土地利用方式聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of six land use types

3 讨论

西南喀斯特地区是青藏高原隆起在南亚大陆亚热带气候区一个海拔梯度大、地势格局复杂、生态脆弱的独特环境单元^[22]，“南石（石漠化）北沙（沙漠化）”是制约中国西部地区可持续发展的 2 大生态环境问题^[23]。喀斯特峰丛洼地位于中国西南喀斯特的南部斜坡地带，可溶岩成土速率缓慢、土层浅薄且不连续、水文过程变化迅速、旱涝时常发生，水土资源空间分布不均且时空异质性强、环境容量小等而导致生态系统可恢复性低。土壤微生物群落是影响土壤肥力的重要因素，起着维持生态系统结构与功能的重要作用^[24]。在动植物残体分解过程中，细菌、真菌、放线菌分别起到不同的作用。与此同时，细菌、真菌和放线菌对环境的偏好也有不同，例如，微碱性的土壤条件，有利于细菌和放线菌的生长^[25]。土壤微生物生物量和种群数量在不同土壤和不同生态系统不同。刘璐等^[14]通过对喀斯特峰丛洼地不同森林类型土壤微生物研究发现，由石灰岩发育的石灰土土壤微生物生物量分别为 MBC: 323.90 ~ 1 424.36 mg/kg，MBN: 80.45 ~ 373.57 mg/kg，MBP: 9.64 ~ 67.32 mg/kg，细菌、

真菌、放线菌的数量为 $1.71 \times 10^6 \sim 4.52 \times 10^6$ 、 $1.38 \times 10^4 \sim 1.67 \times 10^5$ 、 $2.97 \times 10^6 \sim 8.81 \times 10^6$ cfu/g。本研究发现由白云岩发育的石灰土不同土地利用方式土壤微生物生物量分别为 MBC: 244.98 ~ 1 246.89 mg/kg、MBN: 35.44 ~ 274.69 mg/kg、MBP: 30.88 ~ 64.72 mg/kg, 微生物数量分别为细菌: $3.25 \times 10^4 \sim 2.15 \times 10^5$ cfu/g、真菌: $7.30 \times 10^2 \sim 1.83 \times 10^3$ cfu/g、放线菌: $5.48 \times 10^4 \sim 1.79 \times 10^6$ cfu/g, 其中 MBC、MBP 与刘璐等^[14]研究变化范围相似, 其余土壤微生物指标均远低于由石灰岩发育的石灰土。

不同土地利用方式土壤结构、透气性、水分状况、养分状况不同, 从而影响着土壤微生物活性^[26]。种植玉米土壤微生物生物量最低, 虽然进行了施肥管理, 由于玉米成熟后被收获带走, 依然属于掠夺性生产, 从而使土壤养分特别是有机质下降, 导致土壤微生物生物量下降; 刈割、封育土壤微生物量较高, 封育一直处于自然恢复状态, 而刈割处理后植被没有带走依然参与养分循环, 植被处于自然生长状态, 土壤扰动较小; 本研究中刈割处理土壤微生物量碳、氮均高于封育, 可能是封育时间较短, 土壤微生物环境还未达到理想状态, 也可能是适度的干扰更能够促进土壤微生物活动。不同土地利用方式植物物种组成和发育阶段不同, 其分泌物的种类、数量和性质不同, 从而影响土壤微生物种群数量和种类组成的差异^[27]。种植桂牧 1 号和火烧方式的细菌最高, 可能是由于桂牧 1 号和火烧地植物根系分泌物和凋落物的分解促进了微生物对养分的吸收、利用和转化^[28], 为微生物的生长提供了丰富的碳源和氮源; 放线菌数量以刈割最高, 其次为火烧, 可能是刈割、火烧对土壤扰动较小, 有利于土壤有机碳和氮的积累。种植玉米和桂牧 1 号处理施肥改善了土壤理化性质和微生物区系^[29], 使细菌占绝对优势; 火烧、刈割、刈割除根及封育均以放线菌占绝对优势, 表明在这 4 种土地利用方式中, 放线菌的繁殖力、竞争力以及土壤养分的消耗强于其他类群; 真菌在各土地利用方式中所占比例均很少。

土壤微生物 MBC/MBN 比可反映微生物群落结构信息, 其显著变化预示着微生物群落结构变化^[30]。通常认为, 土壤微生物 MBC/MBN 比是恒定的, 但也有观点认为不同土壤的微生物生物量碳氮比值存在差异。Anderson 等研究表明土壤微生物 MBC/MBN 比平均值为 6.7^[15], 也有研究认为森林土壤微生物 MBC/MBN 比为 6~9^[31]。在本研究中, 种植玉米、刈割除根及种植桂牧 1 号 MBC/MBN 明显高于该范围, 其余的低于此范围,

火烧最低, 只有 1.68。土壤微生物 MBC/MBP 变幅较大, 可介于 5~400^[29]。亚热带雨林土壤微生物 MBC/MBP 比为 33.2~98.5^[32], 本研究的 MBC/MBP 很小, 除封育达到了 35.43 外, 其余的均小于 33.2。MBC/SOC、MBN/TN 可以用来表示土壤过程或土地质量的变化, 也能够表征土壤退化及恢复状况, 预测土壤有机质的长期变化和灵敏地指示土壤微生物生物量, 比养分和微生物生物量的变化更加稳定, 表现出更平滑的变化趋势^[33]。不同土地利用方式的 MBC/SOC: 桂牧 1 号、封育、刈割 > 刈割除根、火烧 > 玉米, MBN/TN: 刈割 > 火烧 > 封育 > 桂牧 1 号 > 刈割除根、玉米, 各组之间差异显著, 种植玉米土壤质量退化现象严重。

4 结 论

1) 研究区 1985 年抛荒后, 2006 年底设置了火烧、刈割、刈割除根、封育、顺坡垦殖种植玉米、顺坡垦殖种植桂牧 1 号 6 种土地利用方式动态监测样地, 连续监测 3 a。2009 年研究发现不同土地利用方式对土壤养分的影响不同, 有机质 SOM、总氮 TN、总磷 TP、碱解氮 AN 等沿封育、火烧、刈割、刈割除根、种植桂牧 1 号、种植玉米等土地利用方式的转变而减少; 不同土地利用方式土壤微生物生物量各不同, 土壤微生物量碳 MBC: 244.98 ~ 1 246.89 mg/kg、土壤微生物量氮 MBN: 35.44 ~ 274.69 mg/kg、土壤微生物量磷 MBP: 30.88 ~ 64.72 mg/kg, 其中, 种植玉米土壤微生物生物量均最低, 其土壤质量退化现象严重; 不同土地利用方式土壤微生物种群数量及组成影响不同, 种植玉米和桂牧 1 号细菌占绝对优势, 而火烧、刈割、刈割除根及封育均以放线菌占绝对优势, 真菌的比例均很少。

2) 喀斯特峰丛洼地 6 种不同土地利用方式土壤微生物 (6 个)、土壤养分 (8 个) 典范相关分析表明不同土地利用方式土壤微生物与土壤养分的相互作用性质与强度不同: 火烧下土壤养分与土壤微生物前 3 对典型变量相关系数显著, 其中 TP 与 MBP、TK 与 MBC、TN 与放线菌的相互影响最大, 均呈正相关; 刈割、刈割除根、封育、种植玉米、种植桂牧 1 号 5 种土地利用方式土壤养分与土壤微生物只有第 1 对典型变量相关系数显著, 其中刈割的土壤 TN 与 MBC 呈正相关, 刈割除根的 AP 与 MBN 正相关, 封育的 pH 值与 MBC、真菌负相关, 种植玉米的 TN、TK 与 MBP 负相关, 种植桂牧 1 号的 pH 值与真菌负相关、与放线菌正相关。喀斯特峰丛洼地 6 种土地利用方式聚类按优化顺序

归纳为4类:第1类为封育和火烧,第2类为种植桂牧1号,第3类为刈割,第4类为刈割除根和种植玉米。

[参 考 文 献]

- [1] 蒋勇军. 典型岩溶流域土地利用变化及其对土壤质量的影响:以云南小江流域为例[D]. 重庆:西南师范大学, 2005: 1—165.
Jiang Yongjun. Land Use Change and Its Effects on Soil Quality in A Typical Karst Watershed: A case study in Xiaojiang watershed of Yunnan Province[D]. Chongqing: Southwest China Normal University, 2005: 1—165. (in Chinese with English abstract)
- [2] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 71—78.
Ren Tianzhi, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(1): 71—78. (in Chinese with English abstract)
- [3] 林先贵, 胡君利. 土壤微生物多样性的科学内涵及其生态服务功能[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 892—900.
Lin Xiangui, Hu Junli. Scientific connotation and ecological service function of soil microbial diversity[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 892—900. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郑华, 欧阳志云, 王效科, 等. 不同森林恢复类型对土壤微生物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2019—2024.
Zheng Hua, Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, et al. Effects of forest restoration patterns on soil microbial communities[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(11): 2019—2024. (in Chinese with English abstract)
- [5] 章家恩, 刘文高, 胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 140—143.
Zhang Jiaen, Liu Wengao, Hu Gang. The relationship between quantity index of soil microorganisms and soil fertility of different land use systems[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(2): 140—143. (in Chinese with English abstract)
- [6] Lal R. Soil management and soil biotic processes[C]// Management of Tropical Agroecosystems and the Beneficial Soil Biota Enfield: Science Publishers, 1999: 67—81.
- [7] Chen X B, Su Y R, He X Y, et al. Soil bacterial community composition and diversity respond to cultivation in Karst ecosystems[J]. World Journal of Microbiology Biotechnology, 2012, 28(1): 205—213.
- [8] 卢成阳, 彭晚霞, 宋同清, 等. 喀斯特峰丛洼地不同生态系统土壤微生物与养分的耦合关系[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 522—528.
Lu Chengyang, Peng Wanxia, Song Tongqing, et al. Coupling relationships between soil microbe and soil nutrient under different ecosystems in depression between Karst hills[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3): 522—528. (in Chinese with English abstract)
- [9] 鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等. 喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2390—2399.
Lu Shiyang, Peng Wanxia, Song Tongqing, et al. Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between Karst hills[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2390—2399. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等. 云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 的空间分布[J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2056—2065.
Zhang Liqing, Pengwanxia, Song Tongqing, et al. Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2056—2065. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘爽, 王传宽. 五种温带森林土壤微生物生物量碳氮的时空格局[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3135—3143.
Liu Shuang, Wang Chuankuan. Spatio-temporal patterns of soil microbial biomass carbon and nitrogen in five temperate forest ecosystems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(12): 3135—3143. (in Chinese with English abstract)
- [12] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题[J]. 世界科技研究与发展, 1997, 19(5): 41—43.
Yuan Daoxian. On the environmental and geologic problems of Karst mountains and rocks in the South-west China[J]. World Sci-Tech Research and Development, 1997, 19(5): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [13] 何寻阳, 王克林, 于一尊, 等. 岩溶区植被和季节对土壤微生物遗传多样性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1763—1769.
He Xunyang, Wang Kelin, Yu Yizun, et al. The responses of soil microbial taxonomic diversity on vegetation communities and seasons in Karst area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1763—1769. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘璐, 宋同清, 彭晚霞, 等. 木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局[J]. 生态学报, 2012, 32(1): 207—214.
Liu Lu, Song Tongqing, Peng Wanxia, et al. Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 207—214. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李新爱, 肖和艾, 吴金水, 等. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和

- 氮的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1827—1831.
- Li Xinai, Xiao Heai, Wu Jinshui, et al. Effects of land use type on soil organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass carbon and nitrogen contents in Karst region of South China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(10): 1827—1831. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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.
- Long Jian, Li Juan, Jiang Xinrong, et al. Soil microbial activities in Maolan karst forest, Guizhou province[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(4): 597—602. (in Chinese with English abstract)
- [17] Chen Hongsong, Liu Jianwei, Wang Kelin, et al. Spatial distribution of rock fragments on steep hillslopes in Karst region of northwest Guangxi, China[J]. Catena, 2011, 84(1/2): 21—28.
- [18] 曾馥平, 彭晚霞, 宋同清, 等. 桂西北喀斯特人为干扰区植被自然恢复 22 年后群落特征[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5110—5119.
- Zeng Fuping, Peng Wanxia, Song Tongqing, et al. Changes in vegetation after 22 years' natural restoration in the Karst disturbed area in Northwest Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5110—5119. (in Chinese with English abstract)
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [21] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [22] Sweeting M M. Karst in China[M]. Its Geomorphology and Environment. Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- [23] 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 573—582.
- Wang Shijie, Li Yangbing. Problems and development trends about researches on Karst rocky desertification[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(6): 573—582. (in Chinese with English abstract)
- [24] 洪伟, 俞新玲, 林勇明, 等. 火灾对森林土壤微生物数量特征的影响[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2010, 39(3): 251—256.
- Hong Wei, Yu Xinling, Lin Yongming, et al. Analysis on the effect of fire on quantitative characteristics of forest soil microorganisms[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2010, 39(3): 251—256. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王少昆, 赵学勇, 左小安, 等. 科尔沁沙质草甸土壤微生物数量的垂直分布及季节动态[J]. 干旱区地理, 2009, 32(4): 610—615.
- Wang Shaokun, Zhao Xueyong, Zou Xiaolan, et al. Vertical distribution and seasonal dynamics of soil microbial number in sandy grassland of Horqin[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(4): 610—615. (in Chinese with English abstract)
- [26] 胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 等. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2662—2668.
- Hu Yalin, Wang Silong, Huang Yu, et al. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2662—2668. (in Chinese with English abstract)
- [27] Noah F, Joshua P S, Patricia A H. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(1): 167—176.
- [28] Tian C M, Liu J J, Liang Y M, et al. Rhizosphere microorganisms and soil bio-chemical properties at Huoditang forest region of the Qinling Mountains[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1999, 19(2): 19—22.
- [29] Albiach R, Canet R, Pomanes F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil[J]. Bioresource Technology, 2000, 75(1): 43—48.
- [30] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 等. 不同施肥制度土壤微生物量碳氮变化及细菌群落 16S rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 分析[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1079—1085.
- Liu Enke, Zhao Bingqiang, Li Xiuying, et al. Microbial C and N biomass and soil community analysis using DGGE of 16S rDNA V3 fragment PCR products under different long-term fertilization systems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 1079—1085. (in Chinese with English abstract)
- [31] 崔纪超, 毛艳玲, 杨智杰, 等. 土壤微生物生物量磷研究进展[J]. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(4): 80—89.
- Cui Jichao, Mao Yanling, Yang Zhijie, et al. Advances in soil microbial biomass phosphorus[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2008, 3(4): 80—89. (in Chinese with English abstract)
- [32] 杨成德, 龙瑞军, 陈秀蓉, 等. 东祁连山高寒草甸土壤微生物量及其与土壤物理因子相关性特征[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 62—68.
- Yang Chengde, Long Ruijun, Chen Xiurong, et al. Study on microbial biomass and its correlation with the soil physical properties under the alpine grassland of the east of Qilian Mountains[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2007, 16(4): 62—68. (in Chinese with English abstract)
- [33] 胡婵娟, 傅伯杰, 靳甜甜, 等. 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态

学报, 2009, 20(1): 45—50.

Hu Chanjuan, Fu Bojie, Jin Tiantian, et al. Effects of vegetation restoration on soil microbial biomass carbon

and nitrogen in hilly areas of Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(1): 45—50. (in Chinese with English abstract)

Effects of different treatment and utilization types after land leaving unused on soil microbial properties in Karst region

Liu Yan^{1,2,3}, Song Tongqing^{2,3*}, Cai Desuo^{1,4}, Zeng Fuping^{2,3}, Peng Wanxia^{2,3}, Du Hu^{2,3}, Liu Yang⁴

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 3. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, 547100, China; 4. Water Resources Bureau of Guangxi, Nanning 530023, China)

Abstract: Soil microbial properties are the reserve for soil nutrients, while soil nutrients would in reverse influence soil microbial activities. Therefore, gaining some knowledge of the interaction between them is urgent to help with land utilization and management. Depression between Karst hills is a typical landscape, which is located in the slope of the Karst region in southwest China, with a small environmental capacity resulting in a low ability in recovery. However, the related research studies under different land use types in the depression between Karst hills are rare. Based on the dynamic monitoring and investigation of six common land use types (i.e., burning, cutting, cutting plus with root removal, enclosure, maize plantation, and pasture of Guimu No. 1 (*Pennisetum purpureum* cv. Guimu-1) plantation) on a slope in a Karst region, this paper analyzed soil microbial properties, as well as the interactions between microbial properties and soil nutrients. The results showed that the status of soil nutrients differed among six land use types, and contents of soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and available nitrogen (AN) reduced along the conversion from enclosure, burning, cutting, cutting plus with root removal, pasture plantation, to maize plantation. Soil microbial biomass varied in the six land use types, microbial biomass carbon (MBC) ranging from 244.98 to 1 246.89 mg/kg, microbial biomass nitrogen (MBN) from 35.44 to 274.69 mg/kg, and microbial biomass phosphorus (MBP) from 30.88 to 64.72 mg/kg. Among them, soil microbial biomass was lowest under maize plantation and when it was indicated that the soil was in a severe degradation status. Soil microbial population and composition varied in the six land use types: bacterium were predominant under planting maize and pasture of Guimu No. 1, which may be due to fertilization making some improvement in soil physical properties and microbial zone; actinomycetes were predominant under burning, cutting, cutting plus with root removal, and enclosure, which suggests that under these four land use types, actinomycetes had stronger fertility, competition, and consumption over soil nutrients other than microbial populations; while fungi accounted for a small proportion in all the six land use types. The interaction between soil microorganisms and soil nutrients diversified in the different land use types. The interactions between soil TP and MBP, total potassium (TK) and MBC, TN and actinomycetes under burning, TN and MBC under cutting, available phosphorus (AP) and MBN under cutting plus with root removal, pH values and actinomycetes under pasture plantation were positively strongest. While the interaction between pH values and MBC and fungus under enclosure, TN, TK, and MBP under maize plantation, pH values and fungi under planting pasture of Guimu No.1 were negatively strongest. The six land use types in the Karst region could be clustered into four categories, and enclosure and burning were best. This would provide some basis for land utilization and management in the depression between Karst hills and even for the whole Karst region in the southwest of China.

Key words: land use, soils, microorganism, soil nutrient, karst region

(责任编辑: 刘丽英)