

张亚杰,钱慧慧,李伏生,等. 不同土地管理和利用方式喀斯特坡地养分和碳库管理指数的差异[J]. 中国岩溶, 2016, 35(1): 27–35.
DOI: 10. 11932/karst20160105

不同土地管理和利用方式喀斯特坡地养分和碳库管理指数的差异

张亚杰^{1,2}, 钱慧慧^{1,2}, 李伏生^{1,2,3}, 苏以荣⁴

(1. 广西大学农学院, 广西南宁 530005; 2. 广西喀斯特地区节水农业新技术院士工作站, 广西南宁 530005;
3. 广西高校作物栽培学与耕作学重点实验室, 广西南宁 530005; 4. 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站, 广西环江 547100)

摘要:文章选择环江喀斯特农业生态试验站坡地,设计封育、种植玉米、种植牧草、火烧、刈割和刈割除根6种处理方式,测定了不同处理下坡地土壤养分含量、有机碳、易氧化碳含量和碳库管理指数。结果表明,不同处理下土壤养分含量、有机碳含量和碳库管理指数均存在明显差异。土壤全氮、全磷、碱解氮、速效钾、有机碳和易氧化碳含量随土壤人为干扰的增大而减小,种植玉米、种植牧草和刈割除根处理由于人为干扰较大,上述指标显著低于封育和火烧处理。土壤全钾和速效磷含量均以种植玉米处理最高,而刈割处理最低。土壤缓效钾含量以封育最高,种植玉米和种植牧草处理次之,而刈割处理最低。与封育相比,各处理土壤碳库管理指数均显著降低,其中种植玉米和火烧处理最低,并显著低于其他各处理。此外,土壤全氮、全磷、全钾、碱解氮和有机碳含量随坡位的升高而降低。在喀斯特生态脆弱地区,自然封育有利于土壤养分和碳库管理指数的保持和提高。随着土壤人为干扰的增大,土壤养分含量和碳库管理指数下降。

关键词:喀斯特地区;土地管理和利用方式;养分;碳库管理指数

中图分类号:X144 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-4810(2016)01-0027-09

0 引言

土地管理和利用作为人类干预土壤质量直接、重要的方式,可在很大程度上影响土壤质量的变化过程^[1]。合理的土地管理和利用方式可以提高土壤质量,而不合理的土地管理和利用方式会造成水土流失,以及土壤质量的下降和退化^[2-4]。我国西南喀斯特区主要分布在贵州、云南和广西,总面积 5.4×10^5 km²。其中桂西北喀斯特区自然环境复杂、生态系统脆弱,不合理的耕作和不科学的施肥造成了土壤自然恢复能力的降低,从而使土地质量下降并最终导致石漠化加剧^[5-8]。因此,研究不同土地管理和利用方式下喀斯特区坡地土壤养分状况和碳库管理指数,对该

区域土地资源合理利用和土壤质量提高有重要意义。国内外关于土地管理和利用方式对土壤养分和碳库管理指数的影响方面已做了大量的研究。土地管理和利用方式通过影响植物凋落物和残余量,进而影响土壤微生物活动,破坏土壤团聚体结构,从而导致土壤养分的变化^[9-11]。Pamela等^[12]通过对多米尼加共和国东北部土地利用和土壤养分转化研究发现,再生林土壤水分、有机质和阳离子交换量显著高于农用地。郑华等^[13]通过密集采样研究土地利用方式对喀斯特峰林谷地土壤养分的影响,结果表明,水田土壤全氮含量(2.64 g/kg)显著高于林地(2.45 g/kg),二者又均显著高于旱地(1.68 g/kg)。马群等^[14]研究表明,不同土地利用方式下土壤养分含量存在明显变

基金项目: 国家科技支撑计划项目课题(2012BAD05B03); 国家自然科学基金(51469003); 中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA05070403); 国家高技术研究发展计划(863计划)(2011AA100504)
第一作者简介: 张亚杰(1990—),男,硕士研究生,主要从事水土资源利用与环境研究。E-mail: 961976095@qq.com。
通讯作者: 李伏生(1963—),男,博士,教授。E-mail: zhenz@gxu.edu.cn; lpfu6@163.com。
收稿日期: 2015-07-06

化规律,全氮、碱解氮、速效钾、速效磷均值的分布特征均是菜地>果园>水浇地>盐碱地>旱地。滇池流域 6 种土地利用方式下(废弃大棚区、林地、坡耕地、台地、平坝菜地和设施大棚菜地),土壤 pH 值、有机质含量、总氮含量、总磷含量和 C/N 均存在显著差异^[15]。土壤碳库管理指数最早由 Lefroy 等提出,可作为土壤有机质总量及其质量变化的较为系统和敏感的监测指标,用以评价土壤管理和利用引起土壤有机质的变化^[16-17]。唐国勇等^[18]对于热河谷新银合欢林地、苏门答腊金合欢林地、大叶相思林地、印楝林地、荒地和旱耕地土壤碳库管理指数的研究发现,以荒地作为参照,4 类管理状况较好的人工林土壤碳库管理指数变化范围为 1.77~2.36,而处于不良管理状况的旱耕地为 0.99。徐鹏等^[19]对缙云山向阳坡同一海拔高度处的亚热带常绿阔叶林地、坡耕地、果园和撂荒地土壤碳库管理指数的研究发现,撂荒地最高,林地次之,果园和坡耕地最低,土壤碳库管理指数随开垦强度的增大而降低。

桂西北喀斯特区土壤贫瘠且不连续,水土流失严重,生态环境脆弱^[20-22]。人口高增长和土地产出低下导致土地利用方式逐渐由原始的林地向农业用地转变,原来的自然生态系统转变为人工生态系统,人为施肥成为土壤养分的一个主要来源。同时,土地利用方式对喀斯特区土壤养分含量及肥力状况的研究很多,但关于土地管理和利用方式对坡地土壤养分含量和碳库管理指数的影响研究相对较少。本文选择环江喀斯特农业生态试验站坡地,设计封育、种植玉米、种植牧草、火烧、刈割和刈割除根 6 种处理方式,通过测定不同土地管理和利用方式下坡地土壤养分、有机碳、易氧化碳含量和碳库管理指数,分析不同处理下土壤养分和碳库管理指数的差异,以期为该区域在不同坡地条件下确定合理的土地管理与利用方式,以及提高土地质量提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于中国科学院环江喀斯特农业生态试验站(图 1),属中亚热带季风气候区,是典型的喀斯特峰丛洼地景观单元,坐标为 108°18'~108°19'E, 24°43'~24°44'N,海拔高度为 288.5~337.8 m,地势中间低,四周高,坡度较陡,≥20°的坡面占 57%。土壤为白云岩发育而成的深色或棕色石灰土,阳离子交

换量高,土体与基岩面过渡清晰,地表多碎石,表土碎石体积含量可达 10%~40%。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 cm 和 10~50 cm。土壤质地为黏壤土和黏土,粉粒和黏粒质量分数分别为 25%~50%和 30%~60%,土壤呈中性至微碱性,pH 值为 7.12~7.98。全年无霜期 300~330 d,年均气温 19.9℃,7 月平均气温 27.9℃,1 月平均气温 10.1℃,极端高温 38.7℃,极端低温-5.2℃,年平均辐射总量 414.1 kJ·cm⁻²,≥10℃积温 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(4-9 月)降雨量占全年降雨量的 70%以上。

由于当地交通不便,耕作管理困难较大,研究区所有居民在 1985 年全部外迁,耕地全部撂荒。受砍伐、火烧和放牧的影响,研究区的主要植被类型为荒草地和稀疏灌丛,但西南部洼地溪流水、山坡两侧以及四周坡麓地带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,常见的植物主要有小构树、圆叶乌桕、八角枫、华南皂荚、红背山麻杆、盐肤木、竹叶花椒、黄荆、灰毛浆果楝、火棘、金樱子等。经过 20 年的恢复,洼地西南部及部分低洼地段土壤大部分时间处于积水或饱和状态,坡脚有若干间隙泉,雨季出流泉水。

2 研究方法

2.1 试验设计与采样

2006 年底在环江喀斯特农业生态试验站一山坡中下部建立了一径流场,设计封育、种植玉米、种植牧草、火烧、刈割和刈割除根 6 种处理方式,每个径流小区面积为 3 300 m²(30 m×110 m),不同处理详细情况见表 1。其中种植玉米处理 N、P₂O₅和 K₂O 施用量分别为 160 kg/hm²、90 kg/hm²和 90 kg/hm²,其中 100%的磷肥、70%的氮肥和钾肥作基肥,30%的氮肥和钾肥作追肥。种植牧草处理 N、P₂O₅和 K₂O 施用量均为 100 kg/hm²,每年刈割 4~5 次,刈割后带出试验区。2014 年 2 月分别在坡地上部、中部和下部采集土样,每个坡位采集 3 个样品,每个小区采集 9 个样品,共 54 个样品。每个样品采集时,用 5 点法取 0~20 cm 土壤混匀,带回实验室风干、过筛后,用于土壤养分、有机碳和易氧化碳含量的测定。

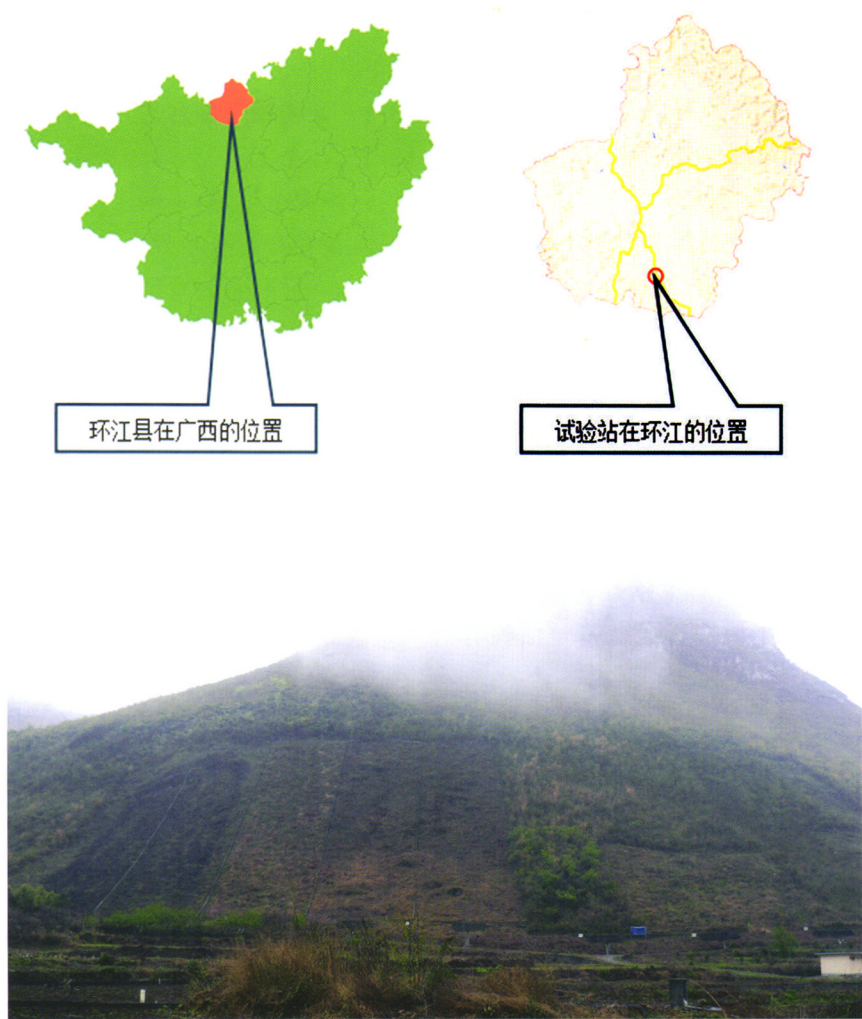


图 1 研究区地理位置示意图

Fig. 1 Geographic location of the study area

表 1 坡地不同处理情况

Table 1 Different treatments of the slope studied

处理	土地管理和利用方式	坡形	平均坡度/°	具体方法	土壤扰动情况
E	封育	直形	33	保留原始植被,作为对照	无
M	种植玉米	微凹形	26.4	去除原始植被,挖根,每年顺坡种植 1 季玉米 (瑞单 8 号)	大
P	种植牧草	微凹形	24.4	去除原始植被,挖根,然后种植桂牧 1 号牧草	大
B	火烧	直形	33.7	当地牧民为了第二年长出新草嫩芽,每年 1 月火烧 1 次	小
C	刈割	直形	34.5	每年 1 月对地上部植物砍伐、搬移,当地居民当作柴火,形成轻度退化	小
CR	刈割除根	直形	33.5	每年 1 月对地上部植物砍伐、搬移,并去除部分灌木根系,形成中度退化	大

2.2 土壤养分测定和碳库管理指数计算

土壤全氮含量采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 法消煮,用流动注射仪测定,全磷含量测定采用 NaOH 熔融-钼

锑抗显色-紫外分光光度法,全钾含量测定采用 NaOH 熔融-火焰光度法,碱解氮含量测定采用扩散法,速效磷含量测定采用 0.5 mol/LNaHCO_3 提取

一铝锑抗显色—紫外分光光度法,速效钾含量测定采用 1 mol/L NH₄Ac 浸提—火焰光度法,缓效钾含量测定采用 1 mol/LHNO₃ 消煮—火焰光度法,有机碳含量测定采用重铬酸钾容量法—外加热法测定,易氧化碳含量采用 KMnO₄ 氧化法测定^[23]。

土壤碳库管理指数以封育林作为参考土壤,计算方法如下式:

碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数 × 碳库活度指数 × 100

其中:

碳库指数 = 样本土壤有机碳含量/参考土壤有机碳含量

碳库活度指数 = 样本碳库活度/参考碳库活度

碳库活度 = 活性有机碳含量/非活性有机碳含量

非活性有机碳含量 = 土壤有机碳含量 - 活性有机碳含量

2.3 统计分析方法

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS19.0 进行统计分析,不同处理各指标平均值的多重比较采用 Duncan 法。

3 结果与分析

3.1 土地管理和利用方式对坡地土壤氮素的影响

3.1.1 全氮

由表 2 可知,不同土地管理和利用方式下土壤全氮含量存在明显差异。各处理坡地上部土壤全氮含量大小顺序为:封育>火烧>刈割>种植牧草>刈割除根>种植玉米,除牧草和刈割除根差异不显著外,其余处理之间差异显著。各处理坡地中部土壤全氮含量大小顺序为:封育>火烧>刈割>种植牧草>刈割除根>种植玉米,除火烧和刈割、牧草和刈割除根之间的差异不显著外,其余处理之间差异显著。各处理坡地下部土壤全氮含量大小顺序为:封育>火烧>刈割>刈割除根>种植牧草>种植玉米,各处理间差异显著。全氮含量最高的是封育,人为干扰较大的全氮含量较低,说明土壤全氮含量随人为干扰的增大而减小。

相同土地管理和利用方式下不同坡位土壤全氮含量均表现为坡地下部>坡地中部>坡地上部,说明土壤全氮含量随坡位的升高而降低。

表 2 不同土地管理和利用方式下土壤氮素含量

Table 2 Soil nitrogen content under different land management and utilization modes

处理	全氮/g/kg			碱解氮/mg/kg		
	坡地上部	坡地中部	坡地下部	坡地上部	坡地中部	坡地下部
E	6.93±0.03 a	6.97±0.08 a	7.01±0.05 a	481.6±5.4 b	488.9±4.2 a	490.2±1.9 a
M	4.13±0.06 e	4.28±0.11 d	4.59±0.07 f	336.7±6.2 e	335.9±3.7 d	340.1±2.4 d
P	5.21±0.08 d	5.28±0.09 c	5.36±0.08 e	383.1±4.3 c	382.2±3.6 bc	391.7±3.6 b
B	6.00±0.09 b	6.13±0.12 b	6.25±0.07 b	498.0±6.3 a	498.3±3.6 a	505.0±7.9 a
C	5.72±0.08 c	5.93±0.08 b	6.02±0.08 c	363.5±5.6 d	369.3±4.6 c	369.0±3.4 c
CR	5.13±0.06 d	5.26±0.07 c	5.57±0.05 d	397.3±2.9 c	397.9±8.4 b	404.0±6.6 b

注:同列数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。

3.1.2 碱解氮

如表 2 所示,不同土地管理和利用方式下土壤碱解氮含量在 340.11~504.95 mg/kg 之间,各处理间差异显著。各处理坡地上部土壤碱解氮含量大小顺序为:火烧>封育>刈割除根>种植牧草>刈割>种植玉米,各处理坡地中部土壤碱解氮含量大小顺序为:火烧>封育>刈割除根>种植牧草>刈割>种植玉米,各处理坡地下部土壤碱解氮含量大小顺序为:火烧>封育>刈割除根>种植牧草>刈割>种植玉米。对比不同土地管理和利用方式下土壤全氮含量

可发现,原始植被经火烧处理后可提高土壤碱解氮含量。人为干扰较大的土壤碱解氮含量较低,说明土壤全氮含量随人为干扰的增大而减小。

火烧、刈割除根和封育处理下土壤碱解氮含量均表现为坡地下部>坡地中部>坡地上部。刈割处理下坡地下部和中部均高于坡地上部,但坡地中部比坡地下部稍高,仅高出 0.10%。种植玉米和种植牧草处理下坡地上部比坡地中部分别仅高出 0.23%和 0.15%,坡地下部比坡地中部分别高出 1.24%和 2.49%。同一种土地管理和利用方式下,土壤碱解氮

含量整体上表现出随坡位的增加而降低的趋势。

3.2 土地管理和利用方式对坡地土壤磷素的影响

3.2.1 全磷

由表 3 可知,不同土地管理和利用方式下土壤全磷含量存在明显差异。各处理坡地上部土壤全磷含量大小顺序为:封育>刈割除根>火烧>刈割=种植牧草>种植玉米。各处理坡地中部土壤全磷含量大小顺序为:封育>刈割除根>火烧>种植牧草>刈割>种植玉米,封育最高,各处理坡地下部土壤全磷含量大小顺序为:封育>刈割除根>火烧>种植牧草>

刈割>种植玉米。土壤全磷含量最高的是封育处理,人为干扰较大的土壤全磷含量较低,说明土壤全磷含量随人为干扰的增大而减小。

火烧、刈割除根和种植牧草处理下土壤全磷含量表现为坡地下部>坡地中部>坡地上部;刈割、封育和种植玉米处理下土壤全磷含量表现为坡地下部>坡地上部>坡地中部,坡地上部全磷含量比坡地中部全钾含量分别高出 1.67%、2.01%和 1.82%。相同土地管理和利用方式下,土壤全磷含量表现出随坡位的升高而降低的趋势。

表 3 不同土地管理和利用方式下土壤磷素含量
Table 3 Soil phosphorus content under different land management and utilization modes

处理	全磷/g/kg			速效磷/mg/kg		
	坡地上部	坡地中部	坡地下部	坡地上部	坡地中部	坡地下部
E	1.48±0.03 a	1.45±0.03 a	1.52±0.02 a	7.75±0.06 c	7.77±0.06 c	7.83±0.06 c
M	1.12±0.05 c	1.10±0.04 d	1.15±0.01 d	10.90±0.04 a	10.93±0.03 a	10.92±0.03 a
P	1.22±0.04 bc	1.24±0.03 bc	1.25±0.05 c	6.92±0.04 d	6.92±0.04 e	7.01±0.05 d
B	1.32±0.03 b	1.34±0.05 ab	1.39±0.01 b	8.02±0.04 b	8.04±0.04 b	8.04±0.03 b
C	1.22±0.04 bc	1.20±0.02 cd	1.23±0.03 cd	3.91±0.04 e	3.91±0.04 f	3.94±0.03 e
CR	1.34±0.04 b	1.38±0.01 a	1.40±0.03 b	7.02±0.03 d	7.06±0.03 d	7.05±0.06 d

3.2.2 速效磷

由表 3 可知,不同土地管理和利用方式下土壤速效磷含量变化范围从 3.91~10.93 mg/kg,各处理间差异显著。各处理坡地上部土壤速效磷含量大小顺序为:种植玉米>火烧>封育>刈割除根>种植牧草>刈割,除刈割除根和种植牧草外,各处理间差异均显著。各处理坡地中部土壤速效磷含量大小顺序为:种植玉米>火烧>封育>刈割除根>种植牧草>刈割,处理间差异显著。各处理坡地下部土壤速效磷含量大小顺序为:种植玉米>火烧>封育>刈割除根>种植牧草>刈割,除刈割除根和种植牧草外,各处理间差异显著。种植玉米的土壤速效磷含量最高,并显著高于其他各处理,刈割处理的土壤速效磷含量最低,显著低于其他处理,说明土壤速效磷含量与人为干扰程度没有比较明显的规律性,原因是土壤速效磷含量主要受土壤矿物和施肥方式等养分来源的制约。

土地管理和利用方式相同时,土壤速效磷含量并不随坡位的变化有较强的规律性。只有种植牧草坡地下部比坡地中部高出 1.30%,其他各处理坡地上部、中部和下部间土壤速效磷含量差异不显著。

3.3 土地管理和利用方式对坡地土壤钾素的影响

3.3.1 全钾

由表 4 可知,不同土地管理和利用方式下土壤全钾含量存在明显差异。各处理坡地上部土壤全钾含

量大小顺序为:种植玉米>种植牧草>封育>刈割除根>火烧>刈割;坡地中部土壤全钾含量大小顺序为:种植玉米>种植牧草>封育>刈割除根>火烧>刈割;坡地下部土壤全钾含量大小顺序为:种植玉米>种植牧草>封育>刈割除根>火烧>刈割。坡地上部、中部和下部土壤全钾含量均以玉米最高,并显著高于其他各处理,刈割最低,并显著低于其他处理,说明土壤全钾含量与人为干扰的强烈程度没有明显的相关性,这是因为土壤中钾素主要来源于土壤矿物和施肥。

火烧、刈割和种植玉米处理下土壤全钾含量均表现为坡地下部>坡地中部>坡地上部;封育处理下土壤全钾含量大小顺序为坡地下部>坡地中部=坡地上部;刈割除根和种植牧草处理下土壤全钾含量大小顺序为坡地下部>坡地上部>坡地中部,坡坡地上部土壤全钾含量比坡地中部土壤全钾含量分别高出 0.41%和 0.20%。同一种土地管理和利用方式下,土壤全钾含量整体上表现出随坡位的升高而降低的趋势。

3.3.2 速效钾

由表 4 可知,不同土地管理和利用方式下土壤速效钾含量变化范围从 128.65~201.13 mg/kg,各处理间差异显著。各处理坡地上部土壤速效钾含量大小顺序为:封育>火烧>种植牧草>刈割>种植玉米

＞刈割除根,封育最高,并显著高于除火烧外的其他处理。各处理坡地中部土壤速效钾含量大小顺序为:封育＞火烧＞种植牧草＞刈割＞种植玉米＞刈割除根,封育最高,并显著高于其他各处理,刈割除根最低,并显著低于封育、火烧和种植牧草。各处理坡地下部土壤速效钾含量大小顺序为:封育＞火烧＞刈割＞种植牧草＞种植玉米＞刈割除根,封育最高,并显著高于除火烧外的其他处理,刈割除根最低,并显著低于除种植玉米外的其他处理。速效钾含量最高的是封育,人为干扰较大的速效钾含量较低,说明土壤速效钾含量随人为干扰的增大而减小。

火烧、刈割、刈割除根、封育、种植玉米和种植牧草处理下没有一种处理表现出坡地下部＞坡地中部＞坡地上部的趋势,说明土壤速效钾含量空间联系性差,与坡位之间没有明显的规律性。

3.3.3 缓效钾

由表 4 可知,不同土地管理和利用方式下土壤缓效钾含量存在明显差异。各处理坡地上部土壤缓效钾含量大小顺序为:封育＞种植玉米＞种植牧草＞刈割除根＞火烧＞刈割,除火烧与刈割外,其他处理间差异显著。各处理坡地中部土壤缓效钾含量大小顺序为:封育＞种植玉米＞种植牧草＞刈割除根＞火烧＞刈割,除火烧与刈割外,其他处理间差异显著。各处理坡地下部土壤缓效钾含量大小顺序为:封育＞种植玉米＞种植牧草＞刈割除根＞火烧＞刈割,除火烧和刈割除根外,其他处理间差异显著。

相同土地管理和利用方式下,各处理没有一种表现出坡地下部＞坡地中部＞坡地上部的变化趋势,说明土壤缓效钾含量与坡位之间没有明显的规律性。

表 4 不同土地管理和利用方式下土壤钾素含量
Table 4 Soil potassium content under different land management and utilization modes

处理	全钾/g/kg			速效钾/mg/kg			缓效钾/mg/kg		
	坡地上部	坡地中部	坡地下部	坡地上部	坡地中部	坡地下部	坡地上部	坡地中部	坡地下部
E	5.01±0.03 bc	5.01±0.06 bc	5.06±0.04 bc	193.49±5.34 a	196.33±4.71 a	192.13±3.38 a	736.21±9.43 a	707.49±11.86 a	703.78±5.00 a
M	6.04±0.04 a	6.08±0.04 a	6.09±0.03 a	137.42±3.62 c	138.79±4.14 cd	132.83±2.25 c	662.17±10.32 b	669.31±8.46 b	666.15±4.21 b
P	5.11±0.03 b	5.10±0.03 b	5.14±0.02 b	155.08±5.85 b	152.34±5.05 c	148.20±3.08 b	596.88±5.03 c	615.17±2.67 c	605.12±4.12 c
B	4.72±0.05 d	4.73±0.06 d	4.78±0.02 d	182.12±4.19 a	175.96±2.53 b	184.45±4.06 a	532.19±7.69 e	529.74±6.36 e	543.91±9.11 d
C	3.57±0.05 e	3.59±0.08 e	3.62±0.03 e	145.15±6.29 bc	142.31±3.68 cd	148.33±2.43 b	508.20±11.13 e	510.51±13.17 e	495.86±10.15 e
CR	4.93±0.03 c	4.91±0.02 c	4.97±0.02 c	132.98±5.22 c	134.75±4.88 d	128.65±2.51 c	567.85±8.75 d	578.18±7.25 d	563.61±2.95 d

3.4 土地管理和利用方式对坡地土壤有机碳和碳库管理指数的影响

由表 5 可知,白云岩发育的石灰性土壤有机碳含量很高。坡地上部封育和刈割处理土壤有机碳含量显著高于火烧、刈割除根、种植玉米和种植牧草处理

土壤;坡地中部封育和刈割处理土壤有机碳含量显著高于刈割除根、种植玉米和种植牧草处理土壤,种植玉米处理土壤有机碳含量显著低于其他处理;坡地下部封育和刈割处理土壤有机碳含量显著高于火烧、刈割除根、种植玉米和种植牧草处理土壤,种植玉米处

表 5 不同土地管理和利用方式下土壤有机碳含量、易氧化碳和碳库管理指数
Table 5 Soil organic carbon content , soil readily oxidized carbon and carbon pool management index under different land management and utilization modes

处理	有机碳/g/kg			易氧化碳/g/kg			碳库管理指数		
	坡地上部	坡地中部	坡地下部	坡地上部	坡地中部	坡地下部	坡地上部	坡地中部	坡地下部
E	61.52±3.69 a	61.74±4.14 a	66.10±3.24 a	3.25±0.05 a	3.42±0.06 a	3.56±0.11 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a
M	43.26±3.85 b	40.10±2.76 c	41.62±2.45 c	2.13±0.06 de	2.04±0.04 d	2.09±0.07 d	65.18 d	59.26 d	58.64 d
P	47.98±2.18 b	52.86±2.43 b	54.22±2.53 b	2.31±0.05 cd	2.38±0.06 c	2.42±0.07 bc	70.60 c	68.91 c	67.30 c
B	49.09±1.56 b	56.52±1.80 ab	58.48±1.68 b	2.06±0.07 e	2.08±0.05 d	2.03±0.07 d	62.51 d	59.71 d	55.84 d
C	63.00±2.07 a	62.74±1.51 a	65.69±1.72 a	2.53±0.08 b	2.61±0.05 b	2.63±0.05 b	76.67 b	75.29 b	72.93 b
CR	47.34±1.47 b	49.70±1.93 b	55.89±1.85 b	2.33±0.03 c	2.32±0.03 c	2.40±0.03 c	71.32 c	67.25 c	66.90 c

理土壤有机碳含量显著低于其他处理。人为干扰较大的有机碳含量较低,说明土壤有机碳含量随人为干扰的增大而减小。

不同土地管理和利用方式下土壤易氧化碳含量存在明显差异。与封育相比,种植玉米、种植牧草、火烧、刈割和刈割除根处理土壤易氧化碳含量显著降低。坡地中部火烧处理土壤有机碳含量与封育相比并无显著差异,但土壤易氧化碳含量显著降低,仅为封育的 60.82%,说明火烧处理显著降低土壤碳库活性。刈割除根处理土壤易氧化碳含量显著低于刈割,种植玉米和种植牧草处理显著低于封育,说明土壤易氧化碳含量随人为干扰的减小而增大。

与封育相比,各土地管理和利用方式下土壤碳库管理指数均显著降低。坡地上部、中部和下部均表现为封育>刈割>刈割除根和种植牧草>火烧和种植玉米。种植玉米和牧草时仅施用化肥没有施用有机肥,土壤碳库指数显著降低,说明碳库管理不科学,这两种土地利用方式不利于土壤碳库的提高。与刈割处理相比,刈割除根处理土壤碳库管理指数显著降低。土壤碳库管理指数最高的是封育,人为干扰较大的土壤碳库管理指数较低,说明土壤碳库管理指数随人为干扰的增大而减小。

4 讨 论

本研究中不同土地管理和利用方式下土壤养分含量、有机碳含量、易氧化碳含量和土壤碳库管理指数存在明显差异。种植玉米、种植牧草、火烧、刈割、刈割除根处理下土壤碳库管理指数相比封育林均显著降低,整体上呈现为:封育林>刈割>种植牧草、刈割除根>种植玉米、火烧。这种趋势可能与植被表层凋落物和根系对养分的吸收有关,封育林表层大量的植被凋落物在喀斯特区温润的气候条件下容易分解转化,故而碳库管理指数较高。相对于自然封育而言,其他 5 种土地管理和利用方式人为干扰较大,耕作制度不科学,地表植被破坏严重,坡地土壤水土流失加剧,碳库管理不科学,故而碳库管理指数较低。邱莉萍等^[24]对子午岭不同土地利用方式下土壤碳库管理指数的研究发现,不同利用方式间的土壤碳库管理指数随有机质活性的增强而增大,且影响深度也逐渐加深,整体呈现为林地>撂荒翻耕地>农用地,说明活性有机质可以指示土地利用方式对土壤碳库管理指数的影响。徐鹏等^[19]对缙云山向阳坡同一海拔

高度处的亚热带常绿阔叶林地、坡耕地、果园和撂荒地土壤碳库管理指数的研究发现,撂荒地最高,林地次之,果园和坡耕地最低,与本文结果存在一定的差异,原因可能是本研究中封育林退耕还林时间不长,生态系统正处于年轻的上升期,植被生长旺盛,生产量高,土壤的碳积累能力较强。

大量研究结果表明,土壤养分和有机碳含量受土地利用方式影响强烈^[25-29]。本研究中,种植玉米、种植牧草、火烧、刈割和刈割除根处理下坡地土壤全氮、全磷、碱解氮、速效钾、有机碳和易氧化碳含量相比封育林有比较明显的降低,具体表现为人为干扰越大,含量越低,原因是人为干扰导致地表植被凋落物和根系分泌物减少,微生物活动减弱,同时相比封育林郁闭的冠层会减少降雨对土壤的冲刷,人为干扰还会加剧坡地的水土流失,造成土壤中大量的养分随着侵蚀物质和径流被转移走^[30]。傅伯杰等^[31]以河北省遵化县为例研究土地利用方式与土壤养分的变化,结果表明,当旱地转为林地时,土壤全氮、碱解氮、速效钾分别提高了 10%、65%和 17%,旱地转为草地时,分别提高了 37%、71%和 28%,说明土壤全氮、碱解氮和速效钾含量随人为干扰的减小而增大,与本文结果相似。杨敏等^[32]探讨了坡改梯地区不同土地利用方式对土壤养分的影响,结果呈现为土壤全钾含量由高到低依次为农耕地、林草地、经果林、撂荒地,与本文结果存在差异,原因是本研究中坡地土壤管理措施不科学,耕地虽有施肥但种类单一,相比郁闭的封育林水土流失严重,大量养分随径流而损失。

本研究中不同处理下土壤全钾和速效磷含量均以玉米最高,刈割最低,二者之间呈极显著正相关,原因是研究区土层较浅,种植玉米和牧草时施加了钾肥和磷肥,相比氮素易发生淋溶损失,磷、钾素在土壤中容易被固定和吸附。作者认为土壤全钾和速效磷含量随土壤矿物和施肥投入量影响较大,受土地管理和利用方式影响较小。文苑玉等^[33]对红壤稻田进行有机肥和化肥配施处理,发现土壤钾素含量平均每年提高 154.5 kg/hm²。盛海君等^[34]在水稻生长季节设置不同施肥施磷水平田间小区试验,研究发现施磷量与土壤速效磷含量呈极显著正相关。宋希娟等^[35]分析了喀斯特峰丛洼地次生林、灌草丛、牧草地、玉米地共 4 种典型土地利用方式下土壤的养分特征,结果呈现为不同土地利用方式下土壤全磷含量差异显著,速效磷含量以玉米地最高,牧草丛次之,次生林最低,其

原因是受施肥和耕作的影响较大,与本文研究结果类似。

5 结论与建议

整体来看,在喀斯特生态脆弱区,减少人为干扰、自然封育有利于土壤养分和碳库管理指数的保持和提高。因此,在确定或者规划喀斯特地区土地管理和利用方式时,应加强土地管理,形成合理的耕作措施和种植制度,采取自然封育、化肥配施有机肥等措施,以促进土壤有机碳的积累、提高土壤肥力,进而恢复地力和生态功能。

参考文献

- [1] Turner B L II, Meyer W B. Global land-use and land-cover change: An overview [C] // William B M, B L Turner II. Changes in land use and land cover: A Global Perspective. Cambridge, 1994.
- [2] 孔祥斌,张凤荣,齐伟,等.集约化农区土地利用变化对土壤养分的影响:以河北省曲阳县为例[J].地理学报,2003,58(3):333-342.
- [3] 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].生态学杂志,2003,22(4):9-11.
- [4] 刘文,张强,贾亚男.夏季不同土地利用方式下的溶蚀作用研究:以重庆青木关岩溶槽谷区为例[J].中国岩溶,2012,31(1):1-6.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 严宁珍,白仲才,徐卫红,等.喀斯特山地土地利用方式对土壤团粒的影响:以重庆黔江为例[J].中国岩溶,2011,30(1):72-77.
- [8] 彭晚霞,王克林,宋同清,等.喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J].生态学报,2008,28(2):811-820.
- [9] Powers J S. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land use transitions in northeastern Costa Rica[J]. Ecosystems, 2004,7(2):134-146.
- [10] 严宁珍,杨剑虹,屈明,等.渝东南岩溶山地土地利用方式对土壤有机碳时空分布特征的影响[J].中国岩溶,2012,31(1):36-39.
- [11] Gemma D, Giovanni P, Maria G. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain [J]. Catena, 2003,52(4):23-37.
- [12] Pamela H, Peter M, Alex S, et al. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic [J]. USA Soil Biology and Biochemistry, 2004,37(2):215-225.
- [13] 郑华,苏以荣,何寻阳,等.土地利用方式对喀斯特峰林谷地土壤养分的影响:以广西环江县大才村为例[J].中国岩溶,2008,27(2):177-181.
- [14] 马群,赵庚星.集约农区不同土地利用方式对土壤养分状况的影响[J].自然资源学报,2010,25(11):1834-1844.
- [15] 陈春瑜,和树庄,胡斌,等.土地利用方式对滇池流域土壤养分时空分布的影响[J].应用生态学报,2012,23(10):2677-2684.
- [16] Lefroy R D, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ^{13}C natural isotope abundance[J]. Plant & Soil, 1993,155(1):399-402.
- [17] 徐明岗,于荣,孙小凤,等.长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J].植物营养与肥科学报,2006,12(4):459-465.
- [18] 唐国勇,李昆,孙永玉,等.土地利用方式对土壤有机碳和碳库管理指数的影响[J].林业科学研究,2011,24(6):754-759.
- [19] 徐鹏,江长胜,郝庆菊,等.缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响[J].环境科学,2013,34(10):4009-4016.
- [20] 兰安军,张百平,熊康宁.黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局分析[J].地理研究,2003,22(6):733-742.
- [21] 贾红杰,傅瓦利,甄晓君,等.岩溶山区不同利用方式下土地蓄水能力研究:以重庆市中梁山为例[J].中国岩溶,2007,26(4):305-309.
- [22] 王月容,卢琦,周金星,等.喀斯特山区不同石漠化等级下土壤养分贮量与价值评估:以乌管、偏岩等岩溶小流域为例[J].中国岩溶,2012,31(1):40-45.
- [23] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [24] 邱莉萍,张兴昌,程积民.土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响[J].中国环境科学,2009,29(1):84-89.
- [25] 徐波,朱雪梅,刘倩,等.川中丘陵区不同土地利用方式下土壤养分特征研究:以中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站小流域为例[J].西南农业学报,2011,24(2):663-668.
- [26] 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.
- [27] 张静,高云华,张池,等.不同土地利用方式下赤红壤生物学性状及其与土壤肥力的关系[J].应用生态学报,2013,24(12):3423-3430.
- [28] 蓝家程,傅瓦利,袁波,等.岩溶山区土地利用方式对土壤活性有机碳及其分布的影响[J].中国岩溶,2011,30(2):175-180.
- [29] 杨慧,张连凯,曹建华,等.桂林毛村岩溶区不同土地利用方式土壤有机碳矿化及土壤碳结构比较[J].中国岩溶,2011,30(4):410-416.
- [30] 吴士章,朱文孝,苏维词,等.喀斯特地区土壤侵蚀及养分流失定位试验研究:以贵阳市修文县久长镇为例[J].中国岩溶,2005,24(3):202-205.
- [31] 傅伯杰,郭旭东,陈利顶,等.土地利用变化与土壤养分的变化:以河北省遵化县为例[J].生态学报,2001,21(6):926-931.
- [32] 杨敏,陈国建,韦杰,等.坡改梯地区不同土地利用方式对土壤养分的影响:以重庆市巫山县为例[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2012,29(6):43-46.
- [33] 文苑玉,王凯荣,谢小立.红壤稻田不同施肥制度对土壤钾平衡和水稻产量的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(3):41-44.
- [34] 盛海君,夏小燕,杨丽琴,等.施磷对土壤速效磷含量及径流磷组成的影响[J].生态学报,2004,24(12):2837-2840.
- [35] 宋希娟,王克林,刘淑娟,等.桂西北喀斯特地区不同土地利用方式土壤的有机碳含量及养分特征[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(6):655-659.

Differences in soil nutrient and carbon pool management index under different land management and utilization modes in karst slope region

ZHANG Ya-jie^{1,2}, QIAN Hui-hui^{1,2}, LI Fu-sheng^{1,2,3}, SU Yi-rong⁴

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005, China;

2. Guangxi Academician Work Station of The New Technology of Water-saving Agriculture in Karst Region, Nanning, Guangxi 530005, China;

3. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Crop Cultivation and Tillage, Nanning, Guangxi 530005, China;

4. Huanjiang Station of Karst Eco-system, the Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, Guangxi 547100, China)

Abstract The study area, located at Huanjiang karst eco-system station of Chinese Academy of Sciences, falls into typical karst peak cluster depression landscape unit. In order to provide scientific basis for determining reasonable method of land management and utilization and further improving land quality under different slope land use conditions in karst region, the differences in soil nutrient and carbon pool management indexes in different land management and utilization conditions were investigated in this study. Six types of land use were implemented on the karst slope, via the measures of natural afforestation, maize planting, pasture planting, vegetation burning, tree/grass mowing and mowing plus root removal. Afterwards, the soil samples in 0 to 20 cm depth were collected at 5 localities respectively in the upper, middle and lower slope of each land treatment, from which the soil nutrient content, organic carbon, active organic carbon and carbon pool management indexes were measure, respectively. The results showed that the contents of soil nutrient and organic carbon and carbon pool management indexes were significantly different at different treated lands. The contents of total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen, available potassium, organic carbon and active organic carbon in soils decreased with the increase of human interference on soils, and the above mentioned indexes under maize planting, pasture planting and mowing plus root removal treatments were significantly lower than those of natural afforestation and burning treatments, because of much more human interference on the soils. The lowest contents of total nitrogen, total phosphorus, and available nitrogen occurred on maize planting lands, while the lowest content of available potassium on both maize planting and mowing plus root removal ones. The contents of total potassium and available phosphorus in the soils reached the highest on the land after maize planting treatment, but their lowest values occurred along with the tree/grass mowing treatment. The highest content of slowly available potassium in the soils occurred on the land with afforestation treatment, followed by that of maize and pasture planting treatments, while the lowest was on tree/grass mowing treatment. The lowest contents of soil organic carbon and active organic carbon were on those associated with maize planting treatment, decreased by 37.04% and 41.14%, respectively, comparing with the contents related to afforestation treatment. Except for the afforestation, the lands with the other treatments had a significant decrease in the carbon pool management index, of which the lowest occurred on those with maize planting and burning treatments. In addition, the contents of total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available nitrogen and organic carbon in soils decreased along with the slope altitude. From this study, it is understood that in ecological vulnerable karst region, natural afforestation is the most beneficial to the maintenance and improvement of soil nutrient and carbon pool management index. On contrary, by the increase of human interference on soils, the soil nutrient content and the carbon pool management index can be significantly reduced.

Key words karst region, land management and utilization modes, nutrient, carbon pool management index

(编辑 黄晨晖)