

放牧干扰对岷江上游山地森林/干旱河谷交错带土壤有机碳及其碳库管理指数的影响^①

刘珊珊¹, 张兴华¹, 宫渊波^{1*}, 王 芬¹, 王 燕¹, 尹艳杰¹,
李 渊¹, 马金松¹, 郭 挺¹

(四川农业大学长江上游林业生态工程四川省重点实验室, 四川雅安 625014)

摘 要: 研究了岷江上游理县山地森林-干旱河谷交错带地区人工刺槐林、人工杨柳林、草地和锥花小檗灌丛 4 种植被类型土壤有机碳和碳库管理指数对放牧干扰的响应, 以距牧道距离远近的不同设置了 3 种放牧干扰强度, 分别对各植被类型 3 种放牧干扰强度的土壤进行分析。结果表明: 在各植被类型下, 随放牧干扰强度增加土壤总有机碳(TOC)和易氧化碳(LOC)降低。在人工刺槐林和人工杨柳林, 随放牧强度增加, TOC 和 LOC 大致为梯度降低; 草地和灌丛表现为随放牧强度增加先降低再升高, 这取决于各植被下牲畜的可进入性和植被对牲畜的可利用性。植被类型下表层土壤碳库管理指数(CPMI)值随放牧强度增加先下降后升高, 轻度干扰值最高, 下层土壤 CPMI 值随放牧强度增加梯度下降, 下降幅度介于 6.2%~70.41% 之间。

关键词: 生态交错带; 放牧干扰; 碳库管理指数

中图分类号: S714.2

放牧是山地生态系统中重要的资源利用方式, 特别在欠发达和贫困山区, 放牧仍然是当地居民维持生计的主要途径^[1], 成为主要的人为干扰形式。放牧通过 3 种途径影响土壤性质, 即采食、践踏和排便, 牲畜的行为一方面促使牧道的形成, 一方面在形成稳定的牧道后也在一定程度上限制了牲畜的行为。牧道上的践踏强度最大, 随与牧道距离增加践踏强度减小, 形成从牧道上的裸地中心到几乎不被干扰的不同干扰梯度^[2]。

岷江上游的放牧早已超过理论的载畜量, 属于过度放牧^[3]。一般亚高山或高山由于地温较低, 而放牧使得地表植被盖度降低, 地表热量提高, 有机质分解加快, 反而促进了植物生长和更新。但是干旱河谷交错带这样的水分限制区, 放牧则导致了地表植被稀疏、变干, 使得林地水源涵养能力降低^[4], 同时间接影响土壤的理化性质^[5], 成为该区生态环境退化的主要影响因子。从 20 世纪 50 年代开始, 该区也成为学者们研究的热点, 并取得了很多重要的进展^[6]。但研究大多以如何对岷江干旱河谷进行植被恢复、遏制生态退化为目标, 对于该区域碳储量的研究和植被恢复后的生态效益的研究也只

见于最近的报道^[7], 对于该区放牧干扰对土壤有机碳及其碳库管理指数影响的研究未见报道^[8-9]。

在土壤活性有机质研究中, Loginow 等^[10]将易氧化有机质分成高活性、中活性和低活性有机质 3 个程度不同的组分; 而 Lefroy 等^[11]提出土壤碳库管理指数(CPMI)的概念, 是指土壤有机质与对照土壤有机质的比值乘以土壤有机质的活度指数。CPMI 是表征土壤管理措施引起土壤有机质变化的指标, 能够反映不同利用方式对土壤质量影响的程度。

本实验在研究区选择人工刺槐林、人工杨柳林、草地和锥花小檗灌丛 4 种交错带典型的植被类型, 运用野外调查、室内试验和计算机软件数据处理相结合的方法, 对研究区域内不同放牧强度对土壤有机碳和碳库管理指数的影响, 首次运用距离牧道距离的远近作为放牧干扰强度梯度, 小尺度范围内研究更有助于对土壤有机质变迁机制的理解。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地设在四川省西部理县甘堡乡熊耳村熊耳

①基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAC01A11)和四川农业大学“211 工程”创新团队项目(长江上游植被恢复与重建)资助。

* 通讯作者(gyb@sicau.edu.cn)

作者简介: 刘珊珊(1989—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: lss890902@163.com

山,地理坐标为 31°31'6"~31°32'10"N, 103°12'25"~103°13'36"E,地处川西北高原东南缘,邛崃山脉东侧,四川盆地西北部。气候受西伯利亚西风气流、印度洋暖流和太平洋东南季风 3 个环流的影响,形成季风气候,最高极温 37℃ 左右,最低极温 -19℃ 左右,年均气温 6~9℃,≥0℃积温 3 800~4 500℃,无霜期 190 天,≥10℃ 活动积温 3 200~3 800℃,年干燥度 1.6~2.5,年平均日照时数 1 835 h,年降雨量 400~600 mm,年蒸发量 739.3~1 656.7 mm。实验地植被以旱生灌丛为主,另外分布有恢复人工林和荒草地,主要植被有白刺花(*Sophora davidiana*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、川甘亚菊(*Ajania potaninii*)、光果荻(*Caryopteris istangutica*)等。土壤以旱生灌木草丛植被下发育的山地褐土为主,pH 介于 5.8~8.4。土壤结构紧实致密,粗粉粒比重达 51.22%~57.90%,故通气透水和蓄水肥性均较差,使植物很难定居,进而加速生态环境的恶化。

1.2 样地选取与样品采集

牲畜的干扰行为强度是由牧道向两侧减弱的,即距牧道越远放牧干扰强度越弱,在岷江上游山地森林干旱河谷交错带,受地形复杂的制约,牧道复杂交错,采得距牧道较远的样本难免跨入到距离另一条牧道较近的范围内,所以本研究的实验以 10 m 为界设置 3 层干扰梯度,距牧道 0 m 为重度干扰,距牧道 5 m

为中度干扰,距牧道 10 m 为轻度干扰。

样地的选择均位于交错带内,海拔高度相差不大。取 4 种植被类型样地,人工刺槐林、人工杨柳林、锥花小檗灌丛和草地(表 1)。人工刺槐林位于阴坡,属局部小地形,植被较茂盛,牧道只有明显的一条;人工杨柳林属阶地营林,地形相对平坦且有明显的进入点,牧道往往只有明显的 1 条或数条;锥花小檗灌丛地和草地位于阶梯状坡间缓坡地上,地形平坦,牧道错综复杂,但有明显的主牧道。

在每个样地内选择主牧道,即两侧或一侧在 20 m 范围内无明显牧道,垂直主牧道间隔 10 m 设置 3 条样线,在每条样线上由牧道与样线交点开始 5 m 等距设置重、中、轻 3 种干扰程度的点进行取样,每个样点挖取土壤剖面,分两层取样,即 0~10 cm、10~20 cm,相同干扰程度样点的土样混合,并分装两份,一份作为鲜土样,需装入有冰块保温箱带回实验室,另一份作风干土样,同时用环刀在每层取原状土测量土壤体积质量。

1.3 分析测试方法

土壤总有机碳(TOC)采用重铬酸钾氧化外加热法测定;易氧化碳(LOC)采用 333 mmol 高锰酸钾氧化-比色法测定。

碳库活度(A) = 土壤活性有机碳含量(mg/g)/土壤非活性有机碳含量(mg/g)

表 1 样地基本概况
Table 1 Basal situation of plots

植被类型	土壤类型	海拔 (m)	坡向 (°)	坡度 (°)	主要植被
人工刺槐林	褐土	2 646	WN31	11	林地紧靠牧道,为刺槐纯林,总盖度 95%;乔木层郁闭度为 0.75,林下无灌木;草本植物茂密,草本层盖度 92%,高度 15~90 cm,主要有黄花蒿(<i>Artemisia annua</i>)、歧茎蒿(<i>Artemisia igniaria</i>)、老芒麦(<i>Elymus sibiricus</i>)、尖瓣芹(<i>Acronema chinense</i>)、紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)等。
人工杨柳林	褐土	2 686	SW15	8	林内生境阴湿,牧道穿越林间,家畜践踏严重;样地总盖度 95%,乔木层郁闭度 0.90,灌丛盖度 5%;林下草本植物较少,主要有黄花蒿(<i>Artemisia annua</i>)、羊蹄(<i>Rumex japonicas</i>)、东方草莓(<i>Fragaria orientalis</i>)、龙牙草(<i>Agrimonia pilosa</i>)、老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)等。
锥花小檗灌丛	褐土	2 610	SW19	11	地形平坦,牧道错综复杂;植被总盖度 65%,灌木层盖度 45%,主要有锥花小檗;草本层盖度 25%,主要有黄花蒿、委陵菜(<i>Potentilla aiscolor</i>)、牛至(<i>Origanum vulgare</i>)、紫花苜蓿、披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、细株短柄草(<i>Brachypodium sylvaticum</i> var. <i>gracile</i>)等。
草地	褐土	2 690	SW15	9	放牧践踏严重,植被低矮,草本盖度 96%,高度 5~17 cm,主要有糙野青茅(<i>Deyeuxia scabrescens</i>)、披碱草、早熟禾(<i>Poa pratensis</i>)、车前(<i>Plantago asiatica</i>)、蒲公英(<i>Taraxacum officinale</i>)等。

碳库活度指数(AI)= 样品碳库活度(A)/参考土壤碳库活度

碳库指数(CPI)= 样品总碳含量(mg/g)/参考土壤总碳含量(mg/g)

碳库管理指数(CPMI)= 碳库指数(CPI) × 碳库活度指数(AI) × 100

1.4 数据处理

在 SPSS17.0 和 Excel 2003 中完成数据输入与处理。用 SPSS17.0 中两独立样本 T 检验进行土层间显

著性检验，用 ANOVA 中的 LSD 进行不同干扰程度间显著性差异检验，图表在 Excel 2003 中完成。

2 结果与分析

2.1 放牧干扰对各植被类型土壤总有机碳的影响

从表 2 看，各植被类型 TOC 的含量介于 10.68 ~ 35.50 g/kg 之间, 3 种干扰程度间不同土层 TOC 值表现出不同的规律，总体上随着放牧强度增加 TOC 值降低。

表 2 放牧干扰下不同植被类型土壤 TOC 含量 (g/kg)
Table 2 Soil TOC contents in the different vegetation types under grazing disturbance

植被类型	土层 (cm)	干扰程度		
		重度	中度	轻度
人工刺槐林	0 ~ 10	12.21 ± 0.09Ba	13.88 ± 0.82Aa	14.59 ± 4.99Aa
	10 ~ 20	10.68 ± 0.08Ba	15.08 ± 0.07Aa	16.24 ± 0.54Aa
人工杨柳林	0 ~ 10	21.91 ± 0.45Bb	17.05 ± 0.01Cb	35.50 ± 0.02Aa
	10 ~ 20	23.08 ± 0.86Aa	19.85 ± 0.17Ba	13.74 ± 0.76Cb
锥花小檗灌丛	0 ~ 10	22.44 ± 0.19Ba	19.97 ± 0.03Ca	27.02 ± 0.24Aa
	10 ~ 20	14.02 ± 0.12Ab	13.40 ± 0.04Ab	13.28 ± 0.43Ab
草地	0 ~ 10	29.24 ± 0.14Ba	26.96 ± 0.13Ba	35.14 ± 0.05Aa
	10 ~ 20	19.46 ± 0.16Bb	18.06 ± 0.16Bb	34.84 ± 0.29Aa

注：表中小写字母不同表示同一样地同一干扰程度不同土层间差异显著(P<0.05)；大写字母不同表示同一样地同一土层不同干扰程度间差异显著(P<0.01)。

人工刺槐林中 TOC 含量土层间除重度干扰 0 ~ 10 cm>10 ~ 20 cm 外，其他两种干扰类型均为 0 ~ 10 cm< 10 ~ 20 cm，3 种干扰类型土层间差异均不显著。从 3 种干扰类型看，0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层均表现为重度干扰下 TOC 含量极显著低于中度和轻度干扰，而中度和轻度干扰间差异不显著。

人工杨柳林中 TOC 含量土层间除轻度干扰 0 ~ 10 cm>10 ~ 20 cm 外，其他两种干扰类型均为 0 ~ 10 cm< 10 ~ 20 cm，3 种干扰类型土层间差异均显著。中度和重度干扰 0 ~ 10 cm 土层 TOC 含量分别比 10 ~ 20 cm 土层低了 13.39% 和 18.59 %，而轻度干扰土层间的变化幅度为 60.97%，说明干扰程度增强使土壤表层有机碳低于下层，且土层间差异变小；从不同干扰类型看，0 ~ 10 cm 土层重度和中度干扰下 TOC 含量极显著低于轻度干扰，分别低 38.3% 和 51.97%(平均 47.83%)，3 种干扰类型间差异均为极显著；10 ~ 20 cm 土层则是重度干扰下 TOC 含量最高，中度和轻度干扰下降幅度为 13.99% 和 40.47%，不同干扰类型间差异均为极显著。

草地中,TOC 含量土层间均为 0 ~ 10 cm>10 ~ 20 cm，除轻度干扰差异不显著外其他两种干扰类型均表现为差异显著。从 3 种干扰类型看，两个土层均表现为

重度和中度干扰下 TOC 含量极显著低于轻度干扰，重度和中度干扰间差异不显著。

灌丛中,TOC 含量土层间均为 0 ~ 10 cm>10 ~ 20 cm，3 种干扰类型土层间均表现为差异显著。从 3 种干扰类型看，表层 3 种干扰类型间均表现为差异极显著；下层表现为差异不显著。

各植被类型间土壤 TOC 含量表现为草地>人工杨柳林>灌丛>人工刺槐林，这是由于植被类型不同，枯落物的数量和易分解程度不同，人工恢复刺槐林虽为乔木，但郁闭度小，叶片稀少，林下草本茂盛，常被作为饲料和柴草刈割，所以有机物料归还量相对较小。各植被类型下重度干扰的 TOC 值下降幅度为人工杨柳林(平均 47.83%)>草地(平均 33.27%)>人工刺槐林(平均 25.28%)>灌丛(平均 21.50%)。

2.2 放牧干扰对各植被类型土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响

从表 3 看,人工刺槐林 LOC 含量介于 0.67 ~ 3.39 g/kg 之间(平均 2.04 g/kg)，土层间均表现为 0 ~ 10 cm>10 ~ 20 cm，差异显著。各干扰程度间比较，0 ~ 10 cm 土层差异均不显著，但是中度干扰下低于重度和轻度干扰，降低幅度为 26.48% 和 37.76%，重度干扰下又比轻度干扰低 15.34%；10 ~ 20 cm 土层重度干扰下

表 3 各植被下不同放牧强度土壤碳库管理指数的演变
Table 3 Carbon management index of soil under different grazing disturbance strength in four types of vegetation

植被类型	干扰程度	活性有机碳 LOC(g/kg)		碳库活度(A)		碳库活度指数(AI)		碳库指数(CPI)		碳库管理指数(CPMI)	
		0~10	10~20	0~10	10~20	0~10	10~20	0~10	10~20	0~10	10~20
人工刺槐林	重	2.87	0.67	0.31	0.07	1.02	0.56	0.84	0.66	84.97	36.92
	中	2.11	1.43	0.18	0.11	0.59	0.88	0.95	0.93	56.35	81.62
	轻	3.39	1.73	0.30	0.12	1	1	1	1	100	100
人工杨柳林	重	3.82	0.68	0.21	0.03	1.21	0.14	0.62	1.66	74.43	23.05
	中	1.66	2.25	0.11	0.13	0.62	0.60	0.48	1.38	29.59	83.48
	轻	5.29	2.51	0.18	0.21	1	1	1	1	100	100
草地	重	3.68	1.52	0.14	0.08	1.13	2.84	0.83	0.55	93.8	156.85
	中	2.76	1.06	0.11	0.06	0.89	2.06	0.77	0.52	68.51	107.07
	轻	3.98	1.02	0.13	0.03	1	1	1	1	100	100
灌丛	重	3.04	0.92	0.16	0.07	1.03	0.94	0.83	1.06	85.48	99.60
	中	2.40	0.87	0.14	0.07	0.9	0.95	0.74	1	66.31	94.22
	轻	3.57	0.92	0.15	0.07	1	1	1	1	100	100

显著低于中度和轻度干扰,分别低 53.15% 和 61.27% (平均 57.21%)。

人工杨柳林 LOC 含量介于 0.68~5.29 g/kg 之间 (平均 2.7 g/kg), 土层间除中度干扰外均表现为 0~10 cm >10~20 cm, 差异显著。从各干扰程度看, 0~10 cm 土层重度和中度干扰下分别比轻度干扰低 27.79% 和 68.62%, 而中度干扰下又比重度干扰低 56.54%; 10~20 cm 土层重度干扰下显著低于中度和轻度干扰, 降低幅度分别为 69.78% 和 72.91%。

草地 LOC 含量介于 1.02~3.98 g/kg 之间(平均 2.34 g/kg), 土层间均表现为 0~10 cm>10~20 cm, 差异显著。从各干扰程度看, 0~10 cm 土层中度干扰显著低于重度和轻度干扰, 降低幅度分别为 25% 和 30.65%; 10~20 cm 土层重度干扰较中度和轻度干扰增加, 增加幅度为平均 46.21%。

灌丛 LOC 含量介于 0.87~3.57 g/kg 之间(平均 1.95 g/kg), 土层间均表现为 0~10 cm>10~20 cm, 差异显著。从各干扰程度看, 各土层中度干扰低于重度和轻度干扰, 0~10 cm 土层差异显著, 10~20 cm 土层差异均不显著, 中度干扰与重度和轻度干扰相比降低的幅度分别为 21.03% 和 32.77%。

0~10 cm 土层人工刺槐林、人工杨柳林、草地和灌丛重度和中度干扰 TOC 含量平均分别比轻度干扰低 26.55%、48.21%、77.49% 和 23.81%, 草地降低幅度最大; 10~20 cm 土层人工刺槐林和人工杨柳林重度和中度干扰 TOC 含量平均分别比轻度干扰低 57.21% 和 70.77%, 变化大于表层, 草地和灌丛各干扰程度间变化不大。各植被类型间 TOC 含量表现为

人工杨柳林(2.7 g/kg)>草地(2.34 g/kg)>人工刺槐林(2.04 g/kg)>灌丛(1.95 g/kg)。

以各植被下轻度干扰(即距牧道 10 m 距离)作为参考土壤, 计算重度和中度干扰的土壤碳库指数(CPI), 土壤碳库活度(A), 碳库活度指数(AI)和碳库管理指数(CPMI), 如表 3。从表中可以看出, 0~10 cm 土层人工刺槐林、人工杨柳林、草地和锥花小檗灌丛中度干扰下 A 和 AI 均比重度干扰和轻度干扰低, 比重度干扰下分别低 10.52%、1.33%、1.56%、20.65%、12.74%、22.34%、38.96% 和 2.91%, 比轻度干扰下分别低 23.56%、27.63%、40.75%、28.76%、10.23%、38.39%、10.70% 和 10.32%, 总体上重度干扰下降幅度小。说明随放牧强度增加土壤活性先降低后增加, 这与 TOC 分布大致一致, 重度干扰更接近于轻度干扰。

CPI 和 CPMI 在 4 个样地中 0~10 cm 土层均表现为重度和中度干扰下低于轻度干扰, 人工刺槐林、人工杨柳林、草地和锥花小檗灌丛 CPI 重度干扰下分别降低 16.34%、38.3%、16.80% 和 16.94%, 中度干扰下分别降低 4.89%、51.97%、23.29%、26.06%; CPMI 重度干扰下分别降低 15.03%、25.57%、6.20% 和 14.52%, 中度干扰下分别降低 43.65%、70.41%、31.49% 和 33.69%。CPI 在人工刺槐林为重度干扰下降幅度大, 而其他样地则为中度干扰下降幅度大, 这与 TOC 变化规律一致, CPMI 值在各样地均表现为中度干扰下降幅度大, 即中度放牧干扰使土壤质量下降最明显, 说明随放牧强度增加土壤质量先下降后提升。

10~20 cm 土层 A、AI、CPI 和 CPMI 与表层不一致,重度和中度干扰使人工刺槐林、人工杨柳林 A、AI 和 CPMI 值降低,而使草地大幅度增加;使刺槐林和草地 CPI 值降低,杨柳林增加,而在灌丛该土层均变化不大,说明放牧干扰对灌丛下层影响不大。

10~20 cm 土层人工刺槐林、人工杨柳林 A、AI 和 CPMI 值重度干扰分别比轻度干扰低 43.87%、86.09%、63.08%、76.95%,53.28%、62.16%,中度干扰分别比轻度干扰低 11.83%、39.62%,18.38%、16.52%,15.32%、21.37%,均表现为重度干扰下降幅度大,这与表层表现不一致,说明从该层看随放牧强度增加土壤活性和土壤质量均梯度降低。草地 A、AI 和 CPMI 值轻度干扰比重度干扰低 184.4%、56.85%、86.32%,比中度干扰低 106.45%、7.07%、19.21%,均为重度干扰最高,说明随放牧强度增加草地土壤该层的土壤活性和土壤质量梯度增加。刺槐林和草地 CPI 值重度干扰比轻度干扰低 34.23% 和 44.85%,中度干扰比轻度干扰低 7.43% 和 48.14%;杨柳林轻度和中度干扰分别比重度干扰低 65.67% 和 38.26%。

3 讨论

3.1 放牧干扰对不同植被下土壤总有机碳含量的影响

本研究中,LOC 的变化幅度大体上高于 TOC,说明在交错带内,活性有机碳组分更能较敏感地指示土壤的碳变化,这与以往有的研究一致^[12-13]。重度和中度放牧使土壤 TOC 和 LOC 沿剖面的变化幅度减小,说明放牧干扰使土壤趋向于更均匀,这是因为放牧后牲畜的采食,使地上生物量包括枯落物的数量减少,进入土壤的植物残体就少,而下层土壤受地表植被的状况影响较小,有研究认为,家畜践踏使枯落物破碎,从而使凋落物和表层土壤更好地融合,有利于凋落物的分解转化。所以适当的践踏有利于凋落物中的有机质归还土壤,但是如果土壤中不具备分解转化有机质的条件,那么大部分集中分布在土壤表层中的有机碳很容易遭受风蚀而损失并再分布。而人工刺槐林则多表现为随着放牧干扰强度增加,TOC 和 LOC 沿剖面变化幅度增大,说明放牧使刺槐林表层土壤 TOC 和 LOC 绝对值下降的情况下土壤趋向于更不均匀,这说明放牧干扰已经影响到了下层土壤。研究发现,人工杨柳林、草地和锥花小檗灌丛 TOC 均表现为随牧压增大,TOC 含量先降低后增加。江源等^[14]对高山草甸的研究也发现随牧压增加有机质的变化是先减小后增大。原因有以下几点:①重

度干扰是牲畜更频繁活动的区域,粪便较多,土壤尚未被完全侵蚀,但是植被覆盖度低,致使植物对土壤养分的利用效率低,有机质分解变缓,而致使有机质积累;②牧道有输送径流的作用,这些径流一部分会被牧道一侧的植物拦截,使得该区域的水分多于远离牧道的区域,这可能是灌丛和草地近牧道含水量高的原因(而人工林这种趋势较弱),所以含水量的优势增加了有机质的可溶性和微生物活性,使仅有的枯枝落叶分解较好,该区域的碳组分暂时维持在一个相对高的水平;③放牧对土壤系统的影响较植物滞后,这与放牧强度、放牧时间及气候、植物种类组成等多种因素有关,是一种间接的影响。虽然有机碳得到短暂积累,但是土壤已经退化,如果不及时加以管理,任其发展,经过一段时间养分大流失到难以提供植物正常生长所需的时候,裸地就会形成,加速水土流失。

3.2 放牧干扰对各植被类型土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响

碳库管理指数通过土壤碳库指标的变化,能够反映出外界条件的变化对土壤有机碳数量的影响,间接反映土壤质量下降的程度^[15]。本研究中 CPMI 的变化比较统一,以轻度干扰作为参考土壤,在各植被下随着放牧强度增加,表层 CPMI 表现一致,先下降后略有升高;下层 CPMI 随放牧强度增加梯度下降,草地例外,重度干扰 CPMI 反而升高,这说明土壤质量下降的速度表层和下层是不同的。因为重度干扰靠近牧道,植被根系和土壤会截留一部分牧道径流带来的水分,从而使土壤中微生物活性增强,TOC 含量趋向于高于中度干扰,质量下降速度变缓,但即便如此,干扰已经影响到了下层土壤,这是由于在表层重度干扰土壤活性相对高,而有机质基本在表层被分解,向下输送的很少,有机质得不到及时的归还而最终损失;而中度干扰没有水分优势,土壤质量加速下降,但并没有对下层土壤造成很大影响。王其兵等^[16]的研究表明长期放牧有可能维持较低的影响土壤和植被随机性因素,这种随机性因素的降低导致土壤养分的空间趋向均匀,而放牧反而能使其土壤养分的异质性增大,但是随着演替的发生,如灌丛化的出现,这种异质性会再一次增大^[17]。草地表层中度干扰的 CPMI 下降幅度最小,而且下层有增加趋势,说明中度干扰使草地土壤质量下降幅度小,而且使下层土壤质量提高,一是由于径流的影响,二是因为草地植被的均一性。草地无乔木灌木阻挡,牲畜采食行为不受限制,可以任意游走,所以在干扰程度上趋向于均一,

而重度干扰并没有使植被盖度明显地下降,这两点保证了有机质的归还。

4 结论

在人工刺槐林、人工杨柳林、草地和锥花小檗灌丛土壤有机碳的研究发现,随放牧干扰程度的增加,土壤表层 TOC 下降 16.9% ~ 51.98%, LOC 的变化幅度大体上高于 TOC 的变化,说明在交错带,活性有机碳更能敏感地指示土壤的碳变化。人工杨柳林中的 TOC 和 LOC 均随牧压增加先降低后增加。

总之,随着放牧强度增加,土壤有机碳更容易流失,稳定性下降,有沙化趋势,碳损失增加,形成碳源。但是不同植被下放牧强度的增加对土壤 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 两个土层有机碳、微生物活性的影响特征和程度不同,这不仅与植被类型和土壤状况有关,还与放牧利用的不同有关。岷江上游山地森林—干旱河谷交错带生态环境脆弱,过度放牧更增加了碳排放,所以规范放牧制度,制定合理的放牧分配有利于实现碳减排目标。

参考文献:

- [1] 阎建忠, 张镱锂, 摆万奇, 朱会义, 包维楷, 刘燕华. 大渡河上游生计方式的时空格局与土地利用/覆被变化[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 83–89
- [2] 刘金鑫, 宫渊波, 左琴, 陈林武, 房建佳, 刘珊珊. 山地牧道与植被空间异质性研究评述[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 254–261
- [3] Liddle MJ, Grieg-Smith P. A survey of tracks and paths in a sand dune ecosystem. II. Vegetation[J]. Journal of Applied Ecology, 1975, 12(3): 909–930
- [4] 张建平, 叶延琼, 樊宏. 岷江上游草地资源及合理利用[J]. 山地学报, 2002, 20(3): 343–348
- [5] 刘庆, 尹华军, 吴宁, 包维楷, 潘开文, 陈庆恒. 岷江上游山地退化生态系统恢复与重建试验示范研究[C]. 2007 年中国科学技术协会年会. 湖北武汉.
- [6] 范春梅, 廖超英, 李培玉, 孙长忠, 许喜明. 放牧对黄土高原丘陵沟壑区林草地上壤理化性状的影响[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(2): 1–4
- [7] 刘庆, 尹华军, 吴宁, 包维楷, 潘开文, 陈庆恒. 山地退化生态系统的恢复与重建—理论与岷江上游的实践[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2008
- [8] 黄从德, 张健, 杨万勤, 唐宵, 张国庆. 四川省森林植被碳储量的空间分异特征[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5 115–5 120
- [9] 黄从德, 张健, 杨万勤, 唐宵, 赵安玖. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 966–974
- [10] Logninow W, Wisniewski W, Gonet SS. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation[J]. Polish Journal of Soil Science, 1987, 20(1): 47–52
- [11] Lefroy RDB, Blair GJ, Strong WM. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope bundance[J]. Plant Soil, 1993, 155/156(5): 399–402
- [12] Biederbeck VO, Janzen HH, Campbell CA. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26: 1 647–1 656
- [13] 赵钦. 岷江上游山地森林—干旱河谷交错带土壤理化性质研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009
- [14] 江源, 章异平, 杨艳刚, 徐军亮, 李俞萍. 放牧对五台山高山、亚高山草甸植被-土壤系统耦合的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 837–846
- [15] 戴全厚, 刘国彬, 薛蕙, 余娜, 张超, 兰雪. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区土壤碳库及其管理指数的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 61–64
- [16] 王其兵. 内蒙古温带草原生态系统过程对气候变化响应的实验研究[D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 1999
- [17] 刘忠宽, 汪诗平, 陈佐忠, 王艳芬, 韩建国. 不同放牧强度草原休牧后土壤养分和植物群落变化特征[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 2 048–2 056

Effect of Grazing Disturbance on Soil Carbon and Carbon Management Index in Mountain Forest-the Arid Valley Ecotone in Upper Reaches of Minjiang River

LIU Shan-shan¹, ZHANG Xing-hua¹, GONG Yuan-bo^{1*}, WANG Fen¹, WANG Yan¹,
YIN Yan-jie¹, LI Yuan¹, MA Jin-song¹, GUO Ting¹

(Sichuan Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering in the Upper Reaches of Yangtze River, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: Soil carbon and carbon management indices were studied under three different grazing strengths which were set by different distances between grazing-path and the sample points of four kinds of plantations, including artificial robinia, artificial poplar, grassland and berberis aggregate shrub in mountain forest-the arid valley of ecotone in Li County in the upper Minjiang River. The amount of TOC and LOC reduced with the increase of grazing strength in artificial robinia and poplar, but they reduced first and then increased in grassland and berberis aggregate shrub, which depended on the accessibility of livestock and the availability of vegetation under each plantations. With the grazing strength, CPMI decreased and then increased in surface soil, but decreased in 10–20 cm, which decreased by 6.2%–70.41%.

Key words: Ecotone, Grazing disturbance, Carbon management index