

文章编号: 1000-5692(2004)04-0382-06

沐川县退耕还林生态恢复地碳截留效应的研究

李正才¹, 傅懋毅¹, 谢锦忠¹, 周本智¹, 肖体全², 吴明¹

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2 四川省沐川县林业局, 四川 沐川 614500)

摘要: 对四川省沐川县几种不同植被覆盖类型下生态系统的植被碳储量、凋落物的碳储量和土壤有机碳的储量进行了研究。结果表明, 不同土地植被覆盖类型下的植被碳储量、凋落物的碳储量和土壤有机碳的储量存在着一定的差异, 其中以人工水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 植被的碳储量最大。植被碳储量由高到低依次是人工水杉林、天然次生林、慈竹 *Neosinocalamus affinis* 林、农耕地、茶 *Camellia sinensis* 园; 天然次生林凋落物的碳储量比其他的几种类型要高, 分解后更利于土壤有机碳储量的增加; 天然次生林土壤有机碳的储量均显著高于其他植被类型的碳储量, 土壤有机碳储量由高到低的依次为次生林、慈竹林、水杉林、茶园和农耕地。人工水杉林和慈竹林土壤也能有效地截留大气中的 CO₂, 而农业用地最不利于土壤有机碳的积累。5 种植被类型下, 总的碳储量由高到低的顺序为次生林、慈竹林、水杉林、茶园和农耕地。加强热带、亚热带和温带森林的保护, 同时不断扩大人工林的种植面积, 增加森林生态系统的有机碳的截留是缓解大气 CO₂ 浓度增加的一种重要措施。表 5 参 16

关键词: 生态恢复; 植被类型; 碳储量; 退耕还林; 四川省

中图分类号: S714.5 **文献标识码:** A

恢复重建受损生态系统的研究越来越受到国际科学界以及政府部门的广泛关注和重视, 并获得迅速发展, 其主要目的在于重建该系统受损前的结构、功能以及有关的物理、化学和生物学特征, 而恢复生态系统碳的累积及其动态变化的研究是其中一个极其重要的方面^[1,2]。目前, 在生态恢复效益方面如植物多样性的恢复, 水土保持效益, 生产力的提高, 土壤肥力恢复以及小区域的气候因子变化等方面的研究较多, 而在生态系统恢复过程中碳贮存等方面研究比较少。本文通过对四川省沐川县农业用地退耕还林恢复成为天然次生林、竹林、茶 *Camellia sinensis* 园、人工水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 林等几种主要不同植被类型之后生态系统碳储量变化的研究, 探讨退耕还林后植被对二氧化碳 (CO₂) 截存的响应, 为植被类型变化对大气 CO₂ 浓度的响应提供基础数据, 同时为正确估算退耕还林地森林的碳截留生态效益提供参考依据。

1 试验地概况

1.1 试验地点概况

试验点位于四川省沐川县, 地处四川盆地西南边缘山区, 人口 25 万, 面积 1 401 km², 属亚热带

收稿日期: 2004-03-26; 修回日期: 2004-07-06

基金项目: 国际林业研究中心 (CIFOR) 合作项目

作者简介: 李正才 (1965-), 男, 江苏扬州人, 助理研究员, 从事森林生态等研究。E-mail: lizccaf@fj.lz.zj.cn

季风气候, 雨量丰沛, 年降水量 1 332 mm 以上, 年均气温 17.3 °C, 现有林业用地面积 8.7 万 hm^2 , 其中竹林面积 2.8 万 hm^2 , 森林覆盖率达 56.8%, 自然和生态条件良好, 林业资源丰富, 境内尚有 25° 以上退耕还林坡耕地面积 2.7 万 hm^2 , 是国家级“山区综合开发试点县”和省级“农业产业化试点县”, 也是四川省天然林保护工程和生态林业建设工程试点县。

1.2 试验地点的植被概况

本研究采用相邻样地比较方法, 即通过土地利用/覆盖变化巨大的林区, 选择邻近相同海拔、坡向, 成土母质、土壤条件和环境因子基本一致的不同土地利用/覆盖变化类型作为研究对象。

该地区历史上为森林地带, 地带性顶极群落是亚热带常绿阔叶林。由于过去对木材、薪炭需求量的增加, 农业活动的发展, 本地区天然原始林大多已遭到破坏, 森林被砍伐转化为次生林、农业用地和人工林等等, 现存主要是次生林和人工林, 人工主要栽培水杉、竹林和茶园等等。调查样地的基本情况参见表 1。

表 1 调查试验样地的基本情况表

Table 1 Primary information of survey experimental plots

植被类型	主要植物	平均树高/ m	平均胸径/ cm	立木密度/ (株· hm^{-2})	郁闭度	管理方式	林龄或生 长期/a
天然次生林	壳斗科、樟科、山茶科和木兰科	10~20	10~30	840~900	0.7~0.9	封山育林	30
慈竹林	慈竹	5~7	3~6	12 000	0.9	不劈山、垦 复和施肥	≥30
水杉林	水杉	8~15	12~20	1 400	1.0	抚育	20
茶园	茶树	0.8~1.0		45 000		采茶、修剪	22
农田	山芋、玉米等					耕作	1

2 研究方法

2.1 乔木层植被生物量的测定方法

对天然阔叶林和人工水杉林在每块样地内(样地面积分别为 30 m×30 m, 20 m×20 m, 各重复 6 次)进行每木调查(测量树木的树高、胸径和树冠冠幅), 计算出平均树高、胸径和树冠冠幅, 再根据计算结果确定标准木。标准木的生物量依据参考文献[3~5]计算。根据标准木的生物量推算整个样地林木的生物量。对选中的标准木再根据树干、枝条和叶片的大小和部位, 取其一部分带回实验室, 测定样品的碳含量。

竹林生物量的调查: 在设立的样地内(样地面积 20 m×20 m, 各重复 6 次), 分新竹和老竹调查样方内立竹的胸径和高度, 计算出不同年龄立竹的平均胸径和平均竹秆高度, 确定标准木。标准木的生物量依据参考文献[6, 7]计算。将标准木从基部砍倒, 根据竹秆、枝条和叶片的大小和部位, 取其一部分带回实验室, 测定样品的碳含量。

2.2 灌木、草本、农作物、凋落物生物量和土壤样品的取样测定方法

灌木林和下木层现存生物量测定采用“样方收获法”: 下木层的生物量测定是在每一样地内按对角线或者品字形设置 2 m×2 m 的样方 5 块, 共计 20 m^2 。在每块样方中记载下木的种类、高度和多度, 并逐个砍倒进行实测称量。在各样方中采集部分样品, 拿回实验室用烘干箱在 105 °C 下烘干至恒重, 求其干鲜质量比, 然后将鲜质量换算成干质量, 求出每公顷中下木层的现存量, 并测定样品的碳含量。

草本地被物层生物量测定: 在每一样地内按梅花形设置 5 个面积 1 m×1 m 的小样方, 记录每个样方内的植物种类, 采用全挖法实测生物量。样品带回实验室用烘干箱烘干至恒重后再估算干质量, 同时用作分析样品。

凋落物量的测定: 在样地内按梅花形设置 5 个面积 1 m×1 m 的小样方, 采用“样方收获法”测定凋落物的量, 样品带回实验室测定含水率和碳含量。

茶园和农田生物量的测定：在每一样地内按梅花形设置 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方 5 个，分为地上部分和地下部分，采用“样方收获法”，实测生物量，并取混合样带回实验室测定含水率和碳含量。

在设立的每一调查样地内按照梅花型多点分层采集 $0 \sim 15\text{ cm}$ 及 $15 \sim 30\text{ cm}$ 土壤混合样（ $0 \sim 30\text{ cm}$ 土层是碳贮量变异幅度大的层次）。土壤容重采用环刀法测定。植物样品的有机碳含量和土壤样品的有机碳含量的测定均采用重铬酸钾-硫酸氧化法^[8]。

3 结果与分析

3.1 不同生态系统类型下植被的碳储量

森林是陆地生物圈的主体，它不仅在维护区域生态环境上有着重要作用，而且在全球碳平衡中也有着巨大的贡献。同时与其他陆地生态系统相比，森林生态系统具有较高的生产力，每年固定的碳约占整个陆地生态系统的三分之二。因此，森林生态系统在调节全球碳平衡，减缓大气中 CO_2 等温室气体浓度上升以及维护全球气候等方面中具有不可替代的作用^[9-12]。生物量碳作为生态系统中积累的植物有机物总量，是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源，因此分析不同生态系统类型下的植被碳储量具有重要意义。

由表 2 可以看出，在 5 种不同生态系统类型下植被碳储量以人工水杉林为最高。由于人工水杉林种植密度大，并且林木生长过程中没有进行过人工抚育间伐，林分郁闭度大，因此植被截留的碳储量最大，分别是天然次生林、慈竹、茶叶、农耕地植被碳储量的 1.8 倍、2.9 倍、23.5 倍和 12.2 倍（且差异达到显著水平）。天然次生林由于近 30 a 封山育林，处于林木生长的壮龄阶段，林木生长旺盛，形成的植被碳储量要稍低于人工水杉林，但是要比慈竹林、茶园和农耕地植被碳储量大，几乎是农耕地植被碳储量的 6.3 倍（差异达到显著水平）。由此可见，通过退耕还林，让其逐步恢复自然植被，经过 25~30 a 的时间以后，植被的碳储量就会大幅度地增加。人工慈竹林的植被碳储量高于茶园和农耕地植被碳储量，大约是农业用地植被碳储量的 3.8 倍（差异达到显著水平）。植被碳储量由高到低的顺序为：人工水杉林 > 天然次生林 > 慈竹林 > 农耕地 > 茶园。可以认为，通过退耕还林，采用人工造林加快恢复植被手段，或者通过自然更新恢复植被手段，都可以有效地增加植被的碳截留，恢复生态系统的本来面目，从而发挥森林生态系统的涵养水源、保持水土等等生态功能。

表 2 不同生态系统类型下植被碳储量的比较

Table 2 Comparison of vegetation carbon stock among different ecosystem types

生态系统类型	植被碳贮量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)						统计检验
	树干	枝条	叶片	根系	灌木+草本	合计	
次生林	9.414	1.349	1.688	2.933	4.853	20.237a (3.02)	$F=77.152$ $(F_{0.05}=0.000)$
慈竹	5.215	2.626	2.924	1.385	0.249	13.399b (1.303)	
水杉	30.520	4.305	0.337	—	0.230	35.292c (5.134)	
茶园			0.485		1.021	1.506d (0.286)	
农耕地			2.702		0.209	2.910d (0.706)	

说明：合计栏中 a, b, c, d 表示 t 检验 0.05 水平差异，括号内数值为标准差

3.2 不同生态系统类型下凋落物的碳储量

凋落物层是森林的一个重要碳“库”，也是森林土壤碳的重要来源。凋落物的生物量碳是一个动态值，一方面由凋落物不断补充积累，另一方面又在物理、化学及微生物的作用下不断分解转化，凋落物分解后向土壤释放的营养元素是维持生态系统自身生长所需养分的重要来源之一^[12-13]。部分植物

体形成枯枝落叶而将碳存储于林地表面, 一部分则直接分解腐烂而将碳素归还到大气中去, 另外一部分则分解成为土壤有机质。

表 3 列出了几种不同生态系统类型下凋落物碳储量。由于农业用地的凋落物以农作物的叶片为主, 容易分解, 故进行调查时无地表凋落物。由表 2 可以知道, 天然次生林凋落物碳储量要高于慈竹林、茶园和人工水杉林, 后两者凋落物碳储量几乎相等。凋落物碳储量在整个生态系统中占的比例虽少, 但也是一个不容忽视的碳库, 减缓凋落物的分解速度对于生态系统的碳截留也起到一定的作用。

3.3 不同生态系统类型下土壤有机碳储量

土壤在生态系统中, 作为一个重要的亚系统, 在生物循环中具有特殊的生态学意义。土壤不仅从岩石分化过程中富集了生物所需的养分, 而且富集了凋落物分解后的养分, 再将这些养分提供给植物吸收, 同时土壤还给微生物和土壤动物提供了生活的场所。土壤碳素库是生态系统中一个极为重要的部分, 在生态系统碳平衡的研究过程中, 土壤碳素库的研究是必不可少的^[4-19]。

表 4 列出了不同植被类型下 0~30 cm 土层土壤有机碳的储量。由表 4 可知: 5 种植被类型下, 以次生林的碳储量最大, 大约是最低的农耕地的 3.4 倍 (差异达到显著水平); 人工慈竹林和水杉林的土壤有机碳的储量也远高于农耕地, 分别是农耕地的 3.0 倍和 1.9 倍 (差异均达到显著水平); 茶园土壤有机碳的储量也显著高于农耕地土壤有机碳的储量。虽然水杉林植被的碳储量要显著高于次生林, 但其土壤有机碳的储量要比天然次生林低, 比慈竹林也低。总的说来, 通过人工造林措施, 能够有效地提高土壤有机碳的储量。5 种植被类型下, 土壤有机碳储量由高到低的顺序为次生林、慈竹林、水杉林、茶园和农耕地。

3.4 不同生态系统类型碳总量

不同生态系统类型下碳总量参见表 5。由表 5 可以知道, 不同生态系统类型碳总量以次生林的为最高, 分别是慈竹林、水杉林、茶园和农耕地的 1.2 倍、1.3 倍、2.5 倍和 3.8 倍, 农耕地的碳总量最低 (差异达到显著水平)。人工慈竹林和水杉林的碳总量也显著高于农耕地, 说明退耕还林, 采用人工造林, 能够有效地提高生态系统碳总量。5 种植被类型下, 总的碳储量由高到低的顺序为次

表 3 不同生态系统类型下凋落物碳储量的比较

Table 3 Comparison of litter carbon stock among different ecosystem types

生态系统类型	凋落物/ (t·hm ⁻²)	统计检验
次生林	2.811a (1.285)	F=7.188 (F _{0.05} =0.012)
慈竹	1.275b (0.315)	
水杉	0.475b (0.189)	
茶园	0.505b (0.529)	

说明: a、b 表示 *t* 检验 0.05 水平差异, 括号内数值为标准差

表 4 不同生态系统类型下土壤有机碳储量的比较

Table 4 Comparison of soil organic carbon stock among different ecosystem types

生态系统类型	土壤有机碳储量/ (t·hm ⁻²)			统计检验
	0~15 cm	15~30 cm	合计	
次生林	84.129	23.072	107.202a (6.52)	F=161.94 (F _{0.05} =0.000)
慈竹	49.624	44.326	93.951b (3.35)	
水杉林	29.935	31.032	60.968c (3.97)	
茶园	21.181	29.639	50.821c (4.74)	
农耕地	18.165	13.224	31.389d (2.56)	

说明: 合计栏 a、b、c、d 表示 *t* 检验 0.05 水平差异, 括号内数值为标准差

表 5 不同生态系统类型碳总量的比较

Table 5 Comparison of the total carbon stock among different ecosystem types

生态系统类型	碳总量/ (t·hm ⁻²)	统计检验
次生林	130.250a (9.247)	F=125.610 (F _{0.05} =0.000)
慈竹	107.625b (4.745)	
水杉	98.835b (7.952)	
茶园	53.832c (4.881)	
农耕地	34.299d (2.075)	

说明: a、b、c、d 表示 *t* 检验 0.05 水平差异, 括号内数值为标准差

生林、慈竹林、水杉林、茶园和农耕地。

4 讨论

森林是陆地上最大的自然生态系统,它的价值随着人们对其认识的加深发生了很大的变化。对森林的认识已经从单纯地考虑木材或其他林产品,逐步过渡到森林生态系统所具有的涵养水源、保持水土、防风固沙、调节气候、净化空气、减少噪音、保护和美化环境,以及对于生物多样性的保护等作用,同时又是地球上陆地碳的主要储存库,是生物群落中对地球初级生产的最大贡献者。正因为如此,《京都议定书》强调将1990年以来的“造林、再造林和毁林”作为评价一个国家减少温室气体排放的主要依据。

一个森林生态系统只有保持了结构和功能的完整性,并具有抵抗干扰和恢复能力,才能长期为人类社会提供服务。但是由于人类的干扰导致森林生态系统的原有结构被破坏,从而致使森林生态系统退化,引起水土流失、土壤退化和洪灾等等。因此,应该从维护国家安全、全球安全和维护人类自身安全的角度出发认识维护森林生态安全的重要性,建立与健全森林生态系统安全保障体系,为社会、经济和环境的可持续发展提供不可缺少的基础。

在目前人们越来越关注环境问题,重视生态建设的背景下,研究生态恢复的陆地生态系统碳循环的生态学过程、机制及其与环境的相互作用机理,揭示这些生态系统的生产力及其CO₂排放的动态规律,准确地评估这些生态系统的碳源、碳汇及其固碳潜力,将有助于人们采取合理的土地利用和管理措施进行生态恢复和重建,再造秀美山川。

5 结论

5种不同生态系统类型下植被碳储量以人工水杉林为最高,依次为天然次生林、慈竹林、农耕地和茶园。天然次生林凋落物碳储量要显著高于慈竹林、水杉林和茶园。5种不同生态系统类型0~30cm土层土壤有机碳的储量以次生林的碳储量最大,是农耕地的3.4倍,人工慈竹林和水杉林的土壤有机碳的储量也远高于农耕地,土壤有机碳储量由高到低的顺序为次生林、慈竹林、水杉林、茶园和农耕地。5种植被类型下,总的碳储量由高到低的顺序为次生林、慈竹林、水杉林、茶园和农耕地。因此,通过退耕还林,采用人工造林加快恢复植被手段,或者让其自然更新恢复植被,都可以有效地增加生态系统总的碳储量,恢复系统的本来面目。

致谢:外业调查得到了四川省沐川县林业局的大力支持,内业分析得到了中国林业科学研究院亚热带林业研究所重点实验室的协助,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 余作岳,彭少麟.热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究[M].广州:广东科技出版社,1996.
- [2] 彭少麟.恢复生态学与植被重建[J].生态科学,1996,15(2):26-31.
- [3] 冯宗炜.中国森林生态系统的生物量和生产力[M].北京:科学出版社,1999.
- [4] 彭少麟,任海.南亚热带森林生态系统的能量生态研究[M].北京:气象出版社,1998.
- [5] 蒋有绪.中国森林生态系统结构与功能研究[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [6] 江心.慈竹林生长动态定位研究报告[J].四川林业科技,1995,16(2):10-15.
- [7] 苏智先,钟章成.缙云山慈竹种群生物量结构研究[J].植物生态学与地植物学学报,1991,15(3):240-251.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [9] 聂道平,徐德应,王兵.全球碳循环与森林关系的研究——问题与进展[J].世界林业研究,1997,10(5):34-40.
- [10] 杨政川.森林、木材与二氧化碳减量[R].台北:农业委员会林业试验所,2000.
- [11] 陶波,葛全胜,李克让,等.陆地生态系统碳循环研究进展[J].地理研究,2001,20(5):564-575.
- [12] 周玉荣,于振良,赵士洞.我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J].植物生态学报,2000,24(5):518-522.
- [13] 傅懋毅,方敏瑜,谢锦忠,等.竹林养分循环(I)毛竹纯林的叶凋落物及其分解[J].林业科学研究,1989,2(3):207-213.
- [14] 李跃林,彭少麟,赵平,等.鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究[J].山地学报,2002,20(5):548-552.

- [15] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 300—302.
- [16] 苏永中, 赵哈林. 土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 220—228.

Carbon sequestration of 5 ecological reestablishment vegetation types in Muchuan County of Sichuan

LI Zheng-cai¹, FU Mao-yi¹, XIE Jin-zhong¹, ZHOU Ben-zhi¹, XIAO Ti-quan², WU Ming¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Forest Enterprise of Muchuan County, Muchuan 614500, Sichuan, China)

Abstract: The study of the carbon reserves in vegetation and litter, and the reserve of soil organic carbon in the ecological system covered with several different vegetation types in Muchuan County, Sichuan Province, showed that there were some differences of carbon reserves among different vegetation types. The reserve of carbon in vegetation of *Metasequoia glyptostroboides* forest was the highest among them. The rank of carbon reserves in them was as follows: *Metasequoia glyptostroboides* forest > natural secondary forest > *Neosinocalamus affinity* forest > arable land > tea land. The carbon reserve in the litter of natural secondary forest was higher than other vegetation types. The decomposed litter could facilitate the increase in the organic carbon reserve in soil. The reserve of organic carbon in the soil of natural secondary forest was apparently higher than other vegetation types. The rank of organic carbon in the soil was as follows: natural secondary forest > *Neosinocalamus affinity* forest > *Metasequoia glyptostroboides* forest > tea land and arable land. The rank of total carbon reserves among different ecosystem types was as follows: natural secondary forest > *Neosinocalamus affinity* forest > *Metasequoia glyptostroboides* forest > tea land and arable land. Strengthening the protection of tropical, sub-tropical and temperate forests, enlarging the planting area of plantation and increasing the sequestration of organic carbon in the forest ecological system are important measures to slow down the increase in the concentration of CO₂ in the atmosphere. [Ch, 5 tab., 16 ref.]

Key words: ecological reestablishment; vegetation types; carbon reserve; forest rehabilitation; Sichuan