

文章编号: 1001-1498(2000) 02-0123-06

海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期 土壤碳氮储量*

骆土寿¹, 陈步峰¹, 陈永富², 杨彦臣², 杨秀森³, 李大江³

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东广州 510520;

2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 3. 海南省霸王岭林业局, 海南昌江 572700)

摘要: 测定了海南岛霸王岭热带山地雨林不同择伐强度经营试验初期土壤 C、N 含量及其储量, 结果表明: 原始热带山地雨林土壤 C、N 背景值分别为 $108.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $9.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 表层 50 cm 土壤 C 储量占深 100 cm 土层 C 储量的 77.6%, 相应的 N 储量占 73.8%; 30%、50% 择伐强度经营 5 个月后林地土壤 C 储量分别比原始林降低 4.5% 和 5.3%, 但 30% 强度经营林地土壤 C/N 接近未采伐的原始林。结果可作为对热带山地雨林选取持续经营模式的动态参考指标。

关键词: 采伐经营; 土壤 C、N 储量; 热带山地雨林; 海南岛霸王岭

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

全球气候变暖已危及人类生存环境, 其中 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等温室气体浓度的增加是主要原因之一。森林作为陆地生态系统的主体, 在大气净化及全球碳循环方面起到重要作用, 譬如它通过光合作用同化 CO_2 、放出氧气, 缓解或降低大气温室气体浓度, 是 CO_2 的最大吸附源; 而森林植物体中 C 通过枝叶枯落、躯体死亡及腐烂分解后归还林地, 富集于森林土壤中, 成为重要的碳素库。热带雨林被称为“地球之肺”, 在全球 C 循环中扮演重要角色。然而全球的热带雨林每年以约为 0.1% ~ 1.0% 的速度在递减^[1], 我国的海南、云南热带天然林以超过世界的平均速度在递减。中国政府为改善全球环境决定实施天然林保护, 为此, 开展热带雨林土壤 C 储量及其规律研究对仅有的热带天然林实行可持续经营具有深远指导意义。吴仲民等曾对海南岛尖峰岭热带森林土壤 C 储量进行过研究, 但采伐初期土壤 C 储量及其变化未见报道。本文分析了海南岛霸王岭热带山地雨林用不同强度采伐试验区初期土壤 C、N 含量及储量, 旨在为热带山地雨林可持续经营提供一些动态变化数值。

1 试验地概况

霸王岭林区位于海南岛西南部, 108 53 ~ 109 12 E, 18 53 ~ 19 20 N。林区属热带季风气候, 四季不明显, 干湿季分明。每年的 11 月 ~ 翌年 4 月为旱季, 以东北季风为主, 3、4 月间有短暂的老挝焚风影响, 雨量少; 5 ~ 10 月为雨季, 日照长, 有雷雨和台风带来丰富雨量。从海拔

收稿日期: 1999-03-22

基金项目: 1998 年林业部重点开放实验室——林业遥感与信息技术实验室的海南岛热带天然林永续经营实验区项目 (ITTO PD 14/92 Rev. 2(F) No. 2) 资助的“采伐经营对热带天然林生态效益影响研究”部分内容

作者简介: 骆土寿(1963-), 男, 广东吴川人, 工程师。

* 本文得到曾庆波、李意德研究员的指导, 特此致谢。

60 ~ 1 654 m, 分布有低地雨林、山地常绿林、山地雨林和山顶矮林四个植被类型; 土壤为花岗岩发育而成的砖红壤、山地红壤、山地黄壤和山地草甸土。

试验选择在霸王岭林区海拔 1 100 m 左右的热带山地雨林原始林内, 气候条件为年均降雨量约 2 600 mm, 年均温度约 19 °C, 相对湿度约 86% ~ 88%, 日照约 1 813.8 h^[2,3]。林分组成主要树种有陆均松(*Dacrydium pierrei* Hichel)、鸡毛松(*Podocarpus imbricatus* Bl.)、子京(*Madhuca hainanensis* Chun et How)、油丹(*Alseodaphne hainanensis* Merr.)、剑叶梭罗木(*Reevesia Lancifolia* Merr. et Chun)、红稠(*Lithocarpus fenzelianus* A. Camus)、五列木(*Pentaphylax euryoides* Gardn. et Champ.) 等, 林分郁闭度 0.9。实验地坡度为 30 ~ 32°; 土壤为山地黄壤。

2 试验方法

2.1 采伐经营模式试验

选择霸王岭东一区海拔 1 000 ~ 1 180 m 的热带山地雨林原始林 100 hm² 实施 2 种强度择伐处理, 即 50% (立木蓄积量计算 v/v , 下同) 强采伐和 30% 弱采伐。采伐后拖出干材, 枝叶留于伐区内; 并与未经营原始林区(强度 0) 对照。

2.2 土壤 C、N 对比测定

采伐经营 5 个月后的 1998 年 7 月底, 在采伐强度 30%、50% 和未采伐区, 分别在每个类型坡面的上、中、下设置土壤剖面, 在 0 ~ 3、3 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 40、40 ~ 50、50 ~ 65、65 ~ 80、80 ~ 100 cm 9 个土层各取土样 1 kg, 带回实验室进行化学分析。土壤有机 C 含量采用重铬酸钾氧化—外加加热法(GB 7857-87) 测定; 土壤全 N 含量采用混合盐催化—硫酸消煮后扩散法(GB 7848-87) 测定。

2.3 数据统计方法

100 cm 土层 C、N 储量 S 采用以容重 d_i 、含量 C_i 及每土层厚度 D_i 进行计算, 公式为:

$$S = \sum_{i=1}^9 (C_i \times d_i \times D_i)$$

式中: i 为土壤层次。

3 结果与分析

3.1 热带山地雨林不同采伐强度初期土壤有机 C、N 储量

森林土壤中的有机 C 主要来源于森林动植物的残体和森林枯枝落叶经微生物分解转化和化学淋溶。采伐作为人类对森林经营利用的活动, 改变了原始林已建立的平衡状态, 加速了有机质的氧化和分解, N 素含量增大, 林地温度变幅大, 湿度降低, 微生物活动的数量和质量受到了限制, 直接影响到土壤中 C 含量和 C/N 比; 同时, 采伐中的机械集、运材破坏了林地覆盖层的地被物, 表土疏松, 遇降雨即造成表土有机质的直接流失。从图 1 的测定结果反映出, 热带山地雨林土壤的 C 含量和储量随采伐强度的增加而降低, 原始林达 108.91 t · hm⁻², 经 50%、30% 的择伐后初期, 每公顷土壤有机 C 储量比原始林分别降低 5.3% 和 4.5%, 仅有 103.12 t · hm⁻² 和 104.03 t · hm⁻²。根据霸王岭所在地昌江县多年气象资料显示, 该地区 4 ~ 7 月份降雨约 760 mm, 所以采伐迹地初期经历了雨季, 也是土壤有机 C 降低的重要原因之一。

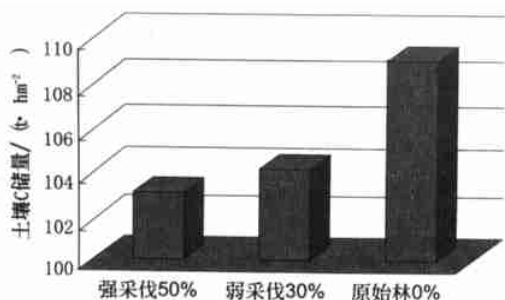


图 1 不同采伐强度热带山地雨林土壤 C 储量

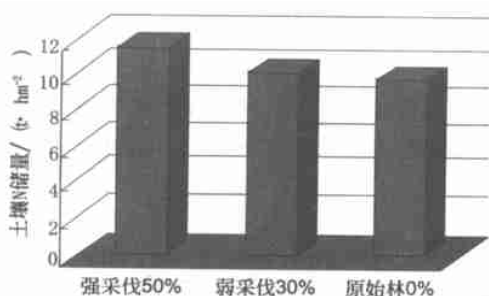


图 2 不同采伐强度热带山地雨林土壤 N 储量

与海南岛尖峰岭热带山地雨林原始林山地黄壤有机 C 储量 $104.70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (海拔 800 m) 相比,霸王岭同类型植被土壤高出 $4.22 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,这可能是由于霸王岭试验地的海拔较高 (1 020~1 043 m),湿度增大,气温稍低,有机质分解变慢,积累丰富所致;同样地,强度 30%、50% 择伐经营林地土壤 C 与尖峰岭皆伐 4 a 对比 (图 3),分别高出 $5.89 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $4.98 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,这个高出量除湿度、气温影响外,采伐强度也影响较大。

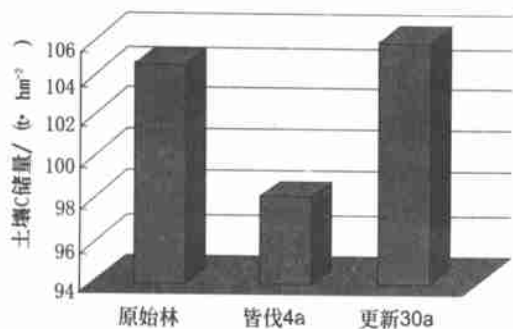


图 3 尖峰岭热带山地雨林土壤 C 储量

经不同强度择伐的霸王岭热带山地雨林其土壤 N 储量及 C/N 比均有差异 (图 2): N 储量以强采伐最高,达 $11.48 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,弱采伐为 $10.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,原始林最低,仅 $9.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。而据海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新林 (皆伐 30 a) 土壤全 N 贮量数据:原始林 $7.64 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,更新林 $10.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[4],反映出采伐干扰后的林地土壤全 N 增高,其原因是采伐残留大量的树枝和树叶,加大了养分归还^[1];另外,采伐减少地上植物部分 N 素消耗量,致使土壤储存。

C/N 比是腐殖质中 N 的有效性和死地被物分解速度的一个指标。通常森林死地被物的 C/N 比很高,并随分解程度的加深而降低。土壤中 C/N 比受森林中气候、生物以及自然的和人为的干扰强烈影响。而有机质中的 N 素,只有当 C/N 比值接近 10:1 时才对高等植物有效利用^[5]。本试验结果表明 C/N 比是:不同强度采伐的林地土壤 C/N 比高低与 N 储量刚相反,强采伐区的最低,为 9.0:1;原始林区最高,为 12.0:1;弱采伐区的为 10.3:1,反映出弱采伐经营更能促进热带山地雨林对有机质的有效利用。

3.2 不同土壤深度的 C、N 储量变化及其关系

3.2.1 热带山地雨林不同土壤深度 C、N 储量变化 森林动植物的残体和森林枯枝落叶作为土壤有机 C 的主要来源,并由于气候、生物等因素的作用,在林地土壤中形成不同的层次结构,其有机 C 含量随土壤深度的增加而降低。以本试验的原始林土壤有机 C 储量 $108.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为基数算,即热带山地雨林土壤 0~30 cm 深土壤 C 储量占 57.0%,超过半数;0~50 cm 深土壤 C 储量占 77.6%,保存了绝大部分的 C。原始林土壤有机 N 素含量、储量和 C/N 比也

随土壤层次增加而递减; 0~30 cm 深土壤 N 储量占 52.5%, 0~50 cm 深土壤 N 储量占 73.8%, 保存了绝大部分的 N(表 1)。

同样地, 2 种采伐强度经营的热带山地雨林区土壤 C、N 含量、储量和 C/N 比也随土壤层次增加而递减; 在 0~50 cm 深土壤中, 强度 50% 择伐林地土壤 C、N 储量分别占 69.1% 和 64.1%, 强度 30% 择伐林地土壤 C、N 储量分别占 69.4% 和 64.3%, 保存了绝大部分的 C 和 N。

表 1 热带山地雨林原始林不同深度土壤 C、N 含量及 C/N

土壤深度/cm	各层 C 含量/(g·kg ⁻¹)	各层 C 储量/%	各层全 N 含量/(g·kg ⁻¹)	各层 N 储量/%	各层 C/N
0~3	41.4	12.5	3.0	10.3	13.8
3~10	25.9	18.2	2.0	16.3	12.5
10~20	14.3	14.7	1.2	14.3	11.4
20~30	11.5	11.6	1.0	11.6	11.1
30~40	9.4	11.7	0.8	11.8	11.2
40~50	7.9	8.9	0.7	9.4	10.6
50~65	4.4	7.5	0.4	8.5	10.0
65~80	3.3	6.5	0.3	7.6	9.7
80~100	3.1	8.4	0.3	10.1	9.3

3.2.2 2 种强度与对照区土壤 C、N 含量与土壤深度的关系 不同采伐强度的热带山地雨林区和原始林区的土壤有机 C 含量、C/N 比与土壤深度进行了回归分析, 结果是: 土壤有机 C 含量与土壤深度回归模型及曲线图表现为原始林区呈指数函数关系, 采伐林区呈幂函数关系(见如下模型及图 4):

$$\text{原始林: } PC = 28.215 3e^{-0.0284H} \quad (R = 0.96^{**}, F_{0.01} = 12.2, F = 86.55^{**})$$

$$\text{强采伐: } PC = 50.514 7H^{-0.5434} \quad (R = 0.99^{**}, F_{0.01} = 12.2, F = 656.78^{**})$$

$$\text{弱采伐: } PC = 44.815 2H^{-0.5157} \quad (R = 0.95^{**}, F_{0.01} = 12.2, F = 68.73^{**})$$

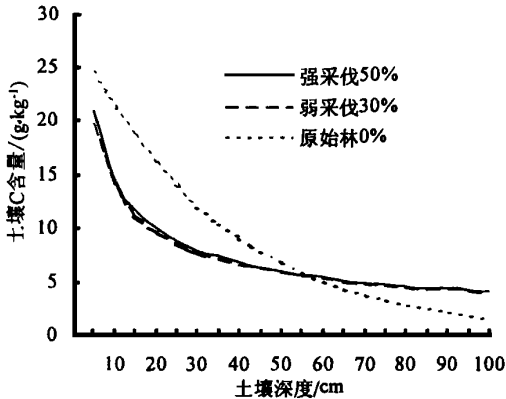


图 4 热带山地雨林土壤 C 含量与土壤深度关系

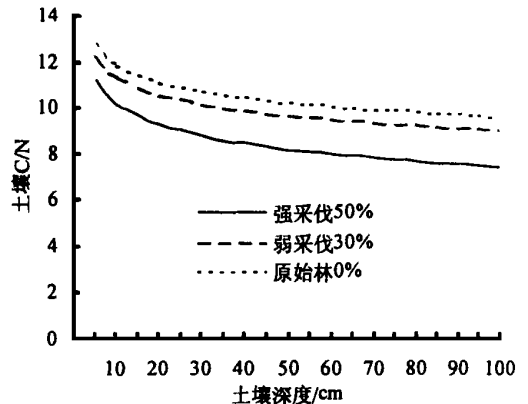


图 5 热带山地雨林不同深度的土壤 C/N

模式拟合曲线清楚地反映出, 在土壤 50 cm 深范围内原始林区土壤 C 含量高于采伐林地。原始林区土壤 C 含量在土壤 8~25 cm 深度内, 递减率小于相应采伐林地, 而在 25~100 cm 深度内的递减率高于采伐林地。所以采伐经营林区 30 cm 深土壤有机 C 含量减少使储量

降低。土壤有机 C、N 含量比与土壤深度关系均呈幂函数相关, 模型为:

$$\text{原始林: } PCN = 14.661 6H^{-0.0911} \quad (R = 0.97^{**}, F_{0.01} = 12.2, F = 118.29^{**})$$

$$\text{强采伐: } PCN = 14.052 4H^{-0.1386} \quad (R = 0.98^{**}, F_{0.01} = 12.2, F = 183.61^{**})$$

$$\text{弱采伐: } PCN = 14.259 4H^{-0.0987} \quad (R = 0.89^{**}, F_{0.01} = 12.2, F = 24.51^{**})$$

拟合曲线如图 5 反映出, 强采伐的林地土壤 C/N 比均低于弱采伐和原始林, 弱采伐和原始林较接近, 即原始林经弱采伐后林地 C/N 比变化不大。

3.3 山地雨林土壤 C 与可持续经营措施分析

据报道^[6], 估计地球表面土壤中有有机 C 总量约为 3.0×10^{12} t, 相当于地表以上大气圈、水圈和生物圈含 C 量的总和, 土壤有机 C 的年周转量相当于人类活动向大气圈排放的总 C 量, 土壤有机 C 持有量的降低, 造成“温室效应”和土壤有机质含量的下降。

土壤中有有机质的 C 素一部分经过土壤动物、微生物、植物根呼吸作用降解成 CO_2 释放掉, 一部分被植物根利用, 还有部分变成可溶有机物被迁移、流失。所以土壤 C 作为对热带天然林木材资源可持续利用的主要量度指标有其深远意义, 人为对森林资源的过度干扰会破坏已建立的森林生态平衡和造成土壤储蓄有机 C 的减少及大气 CO_2 增加。

从不同采伐强度措施经营后的热带山地雨林初期的土壤有机 C 结果来看, 采伐会减少土壤储蓄的有机 C, 尤其是强采伐迹地裸露大, 雨水严重冲刷, 土温高, 加速土壤有机 C、N 的释放和流失。但适当强度采伐的林分, 其结构及功能的变化可在稳定、平衡的生态系统阈值内, 既能保持系统的平衡, 又能调节林内环境因子, 有利于系统内的元素转化利用。如强度 30% 的择伐就能使林地土壤 C/N 比接近 10:1 这一有利于高等植物利用有机质中 N 素的比率, 也接近原始林土壤 C/N 比状况。所以用 30% 的弱度择伐方式经营热带山地雨林, 有利于林地土壤 C、N 保存和利用, 有利于森林生态系统结构的恢复, 故以土壤有机 C 指标指导采伐经营, 达到提高森林资源的生产力和可持续利用目的具现实意义。

4 结语和讨论

(1) 海南岛霸王岭热带山地雨林原始林土壤有机 C 含量较高, 储量为 $108.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 高于择伐更新林; 而进行择伐后初期林地土壤有机 C 含量都有所降低, 择伐强度 50% 的降低 5.3%, 择伐强度 30% 的降低 4.5%。

(2) 经不同强度采伐热带山地雨林后的初期, 其土壤 C 含量随土壤深度增加而有所差别, 而且主要在上面 50 cm 土层内, 在 100 cm 深的土壤 C 中, 50 cm 内 C 储量占的比重分别为: 原始林 77.6%, 强度 50% 择伐林 69.1%, 强度 30% 择伐林 69.4%; 50 cm 内 N 储量占的比重分别为: 原始林 73.8%, 强度 50% 择伐林 64.1%, 强度 30% 择伐林 64.3%。深 50 cm 以下即差异不大。

(3) 经不同强度择伐热带山地雨林后的初期, 其土壤 N 储量及 C/N 比均有差异。N 储量以强采伐最高, 达 $11.48 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 弱采伐为 $10.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 原始林最低, 仅 $9.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。C/N 比高低与 N 储量刚相反, 原始林最高, 强采伐最低, 弱采伐与原始林比较接近, 其值接近有利高等植物利用有机质中氮的 10:1 的比率。

(4) 从热带山地雨林土壤对 C 固定量来看, 择伐经营强度以弱采伐为好。至于不同强度之间造成土壤 C 储量随时间的变化还有待进一步观测试验。如果把土壤 C 素库作为开放系统加

以定量研究, 则森林土壤 C 储量可以作为森林永续经营的参考指标。

参考文献:

- [1] 曾庆波, 李意德, 陈步峰, 等. 热带森林生态系统研究与管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997, 1~9. 133~134.
- [2] 广东省气象台. 广东省地面气象年鉴[S]. 1979.
- [3] 蒋有绪, 卢俊培, 等. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 18~29.
- [4] 吴仲民, 曾庆波, 李意德, 等. 尖峰岭热带森林土壤 C 储量和 CO₂ 排放量的初步研究[J], 植物生态学报, 1997, 21(5): 416~423.
- [5] 普里切特. 森林土壤性质及管理[M]. 程伯容等译. 北京: 中国林业出版社, 1987. 102~103.
- [6] 何电源. 中国南方土壤肥力与栽培植物施肥[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 28~62.

Variation of the Soil Carbon and Nitrogen for Initial Stage after the Felling in Tropical Montane Rainforest of Bawangling, Hainan Island

LUO Tu-shou¹, CHEN Bu-feng¹, CHEN Yong-fu², YANG Yan-cheng²,
YANG Xiu-sen³, LI Da-jiang³

(1. The Research of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou, 510520, Guangdong, China;

2. The Research Institute of Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China;

3. Bawangling Forest Bureau of Hainan Province, Changjiang 572700, Hainan, China)

Abstract: Based on the contrast experiment of the felling management, the content of nitrogen and organic carbon in soil were measured in a tropical montane rainforest of Bawangling, Hainan Island. The results showed that the organic carbon and nitrogen were 108.91 t · hm⁻² and 9.58 t · hm⁻² respectively in the soil layer of 100 cm of the virgin forest, and 77.6% of organic carbon and 73.8% of nitrogen were stored in surface soil of 50 cm. Five months later after felling tropical montane rainforest by the intensity of 30% and 50%, the soil carbon storage declined by 4.5% and 5.3% respectively compared with the previous virgin tropical forest. C/N ratio of the soil on the 30% harvest plot was close to that in the virgin forest.

Key words: felling management; carbon and nitrogen storage of soil; tropical montane rainforest; Bawangling of Hainan Island