

西双版纳森林植被的碳贮量及影响因素分析

李红梅, 马友鑫, 郭宗峰, 刘文俊, 张一平

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

摘要: 根据目前森林碳贮量的流行计算方法和西双版纳州森林资源调查数据, 以乡镇为尺度, 估算了 20 世纪 90 年代中期西双版纳森林植被的碳密度、碳贮量, 并探讨了它们的空间分布以及气候因素、人类活动对其形成格局的影响。结果表明, 全州平均碳密度为 $511.13 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从不同林型来看, 栎类的碳密度最高, 平均值为 $671.90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其次是热带林、桉木类和松类, 介于 $54 \sim 35 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间。西双版纳森林植被碳贮量达 641.10 Tg , 其中栎类占 7%, 其次是热带林和经济林。全州碳密度分布表现为北部、东部较高, 中部、西部及南部偏低的格局。森林植被碳密度与年降水量有正相关性, 与年均温呈负相关性, 人类活动也是影响本区碳密度的一个重要因素。

关键词: 森林植被; 碳密度; 碳贮量; 格局; 气候因素

中图分类号: S718.15, Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-2389(2005)04-0368-05

Carbon storage of forest vegetation and its relationship with affecting factors in Xishuangbanna

LI Hongmei, MA Youxin, GUO Zongfeng, LIU Wenjun, ZHANG Yiping

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: The carbon storage and density of forest vegetation were estimated on a township scale of resolution in Xishuangbanna in late 1990s based on the data of forest resource inventory and the main methods of calculating carbon storage of forest. Meanwhile, its spatial distribution and the influences of the climatic factors and human activities on its forming pattern were also studied. The results showed that the area-weighted mean of carbon density in Xishuangbanna was $511.13 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. Among all the forest types, Lithocarpus forest was the highest in carbon density ($671.90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), followed by Simao pine, Alnus and tropical forests (ranged from 35 to $54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$). The total carbon storage in Xishuangbanna was 641.10 Tg , of which 7% came from the Lithocarpus forests, followed by the tropical forests and economic stands. The carbon storage distribution presented a trend that it was higher in north and east while it was lower in central, west and south. The carbon density was found to be positively correlated with mean annual precipitation and negatively correlated with mean annual air temperature. Also, the human activity was an important factor affecting the carbon density.

Key words: forest vegetation; carbon density; carbon storage; pattern; climatic factors

森林在全球或区域碳循环中起着重要的作用, 森林生态系统贮存了整个陆地碳库 50% 的有机碳^[1]。在森林生态系统中, 热带森林是地球上生物多样性最丰富的地区之一, 其面积占陆地面积的 7%, 而碳贮量约占世界森林碳库的 40%^[2], 在全球碳循环和碳平衡中起着巨大的作用, 因此有必要提高对热带森林碳贮量估算的准确性。

对我国森林碳贮量研究较多的主要是基于国家尺度或热点区域如温带森林, 而对热带森林碳贮量的研究相对薄弱, 有研究报导的主要是针对海南岛热带森林^[3-6], 对至今还保存有大面积热带雨林的西双版纳地区碳贮量的研究报道还比较少, 仅有学者从国家尺度上做过一些研究^[3,4,7]。而引用较全、较小尺度的数据及调查资料可提高碳贮量计算结果的准确性, 因此本文试图在前人工作的基础上, 用西双版纳林业资源

基金项目: 中国科学院创新工程重大项目 (KZCX12SW201201A); 国家重点基础研究发展计划 (国家/九七三 0 项目) 资助 (2002CB412501)。

第 1 作者简介: 李红梅 (1962), 女, 云南勐腊人, 工程师, 中国科学院西双版纳热带植物园和中国科学院研究生院联合培养的在职研究生, 从事土地利用/土地覆被变化研究。

收稿日期: 2005204214 修回日期: 20052052251

二类调查资料, 以乡镇为尺度估算西双版纳森林植被碳密度及碳贮量, 并初步探讨气候因素、人类活动与碳贮量分布格局的关系, 为我国森林碳贮量的估算和热带地区的森林保护与管理提供科学依据 1

1 研究地点

西双版纳州 (21b09e-22b36dN, 99b58e-101b50eE) 位于云南省南部边缘, 属西部型季风热带气候 1 该地区处于横断山系南部, 为无量山脉和怒山山脉的余脉, 整个地势为周围高, 中部低, 以山原为主, 其中又分布着许多宽谷盆地、低山和低丘 1 境内地势高差起伏较大, 最高海拔 2 429 m, 最低仅 475 m, 形成较丰富的植被景观 1 该区植被类型包含有热带雨林、季雨林、亚热带常绿阔叶林、落叶阔叶林、暖性针叶林、竹林、灌丛、草丛; 全州总土地面积 19 120 km², 下辖景洪市、勐海县、勐腊县三市县, 由于人口压力及粗放的耕作方法, 其土地利用特点表现为轮歇地面积大, 森林破坏严重, 次生林、疏林草坡、草山在增加, 宜胶地被毁林植胶^[8] 1

2 研究资料与方法

本研究采用的资料是西双版纳州 1993 至 1994 年间的森林资源二类调查资料及相应的 1/100 000 (勐腊县为 1/250 000) 的全州各县森林分布图, 调查资料包括了西双版纳州 57 个乡镇及自然保护区、林场的各类树种的龄级、面积和蓄积量等信息 1 由于资料的详细性和权威性, 用此估算西双版纳森林植被碳贮量及分布是比较合理的 1 森林植被碳贮量的估算采用材积源生物量法 (volume biomass method)^[7 9~12], 该方法被普遍认为是一种较好估测森林生物量的方法 1

2.1 林分生物量的计算

采用材积源生物量法和已建立的回归方程^[7 11 12], 计算林分生物量 1 由于资料所限, 未考虑林分的灌草本层及凋落物的生物量 1 对资料中的每一种森林类型的蓄积量不可能一一换算成生物量, 因此把林分类型归并为 5 类, 并按幼、中、近、成和过熟林分别进行生物量计算 1

2.1.2 其它森林植被生物量计算

疏林生物量的计算同样采用林分生物量公式 1 散生木、四旁树生物量的计算采用文献 [7 12] 中生物量与材积的比例进行换算 1 据文献 [7], 经济林平均生物量为 2317 # hm⁻² 1 竹林平均生物量根据文献 [8], 取值为 60194 # hm⁻² 1 灌木林生物量据文献 [7] 取值 19176 # hm⁻² 1

2.1.3 碳贮量、碳密度的计算

森林植被碳贮量为生物量乘以转换系数, 本文采用国际上常用的转换系数 0.15^[13] 1 碳密度由碳贮量除以相应的面积计算出 1

2.1.4 碳密度、碳贮量分布图绘制

基于 ArcGIS 软件, 以西双版纳州三县的森林分布图为模板, 对其进行几何校正、矢量化, 做等面积双标准纬线圆锥投影, 分别绘制各个乡镇、自然保护区等的碳密度和碳贮量分布 1

2.1.5 气候因素、人口密度与碳贮量分布的关系分析

选取研究区内 63 个站点的多年平均降水量 (1960~1998 年) 及 31 个站点的多年年均气温值 (1960~1981 年) 1 基于 Surfer 7.10 和 ArcGIS 软件, 建立降水量和气温的面状数据图层, 与碳密度图进行叠加分析 1 利用 1990 年人口普查资料中西双版纳州各乡镇的人口密度数据, 与碳密度进行相关分析 1

3 结果与分析

3.1 碳密度分布

西双版纳州森林植被平均碳密度为 51113 # hm⁻² (表 1) 1 从不同林型或优势树种来看, 栎类的碳密度最高, 平均值为 67190 # hm⁻², 其次是热带林、桉木类和松类, 介于 54~35 # hm⁻² 之间, 最小平均碳密度为杉木类 0134 # hm⁻² 1 因经济林、竹林和灌木林碳密度因是采用常数, 在此不作对比 1

全州各乡镇、自然保护区等林分幼龄林碳密度变化介于 6147~95196 # hm⁻² 之间, 中龄林介于 24157~95158 # hm⁻², 近熟林介于 23183~114101 # hm⁻², 成熟林介于 24194~128134 # hm⁻², 过熟林介于 21107~104161 # hm⁻² 1 林分碳密度的大小变化与林龄有一定正相关 (表 2), 林龄长, 碳密度值相

对偏高, 但过熟林碳密值表现为比近、成熟林要低, 这可能与受人为破坏, 造成林木的单位面积蓄积量大幅度降低有关 1

以乡镇、林场及自然保护区等为尺度的平均碳密度分配来看, 其变动范围在 13105~ 108181 # hm⁻² 1 全州有 18% 的乡镇碳密度大于 60 # hm⁻² (图 1), 其中 7% 的乡镇碳密度大于 90 # hm⁻², 主要分布在各自然保护区、普文林场、磨憨镇、尚勇乡、易武乡等 1 低碳密度 (< 30 # hm⁻²) 分布在人口相对较多、森林受干扰频繁及以经济林、农耕地为主的乡镇, 如景洪镇、嘎栋乡, 嘎洒乡、勐罕镇、勐混乡、勐遮乡、打洛镇、勐润乡等 1 有约 60% 的乡镇碳密度介于 30~ 60 # hm⁻² 之间 1 碳密度的分布反映了森林的生长状况以及森林管理与利用的程度, 具有高碳密度的森林多为林龄相对较长、分布在少受人为干扰的地区 (自然保护区和林场) 1

3.1.2 碳储量分布

西双版纳州碳储量达 64110 Tg (表 1) 1 构成全州的森林主体是栎类, 其次是热带林和经济林 1 栎类所占面积最大, 碳密度也是最高, 其碳储量约占全州的 71% 1 经济林和热带林所占面积比例基本接近, 但热带林碳密度远比经济林高, 其碳储量约占了全州 10%, 经济林只占了约 3% 1 其它森林类型碳储量所占比例相对较小 1

受森林面积和碳密度共同影响, 西双版纳森林林分碳储量在林龄构成上表现出中林龄 > 幼龄林 > 近熟林 > 成熟林 > 过熟林, 其中中林龄的碳储量占一半以上 (表 2) 1

表 1 西双版纳森林植被面积、碳储量及碳密度
Table 1 Area, carbon storage and carbon density of various forest vegetations in Xishuangbanna

林型	面积 /%	碳储量 /Tg	碳密度 /# hm ⁻²
思茅松	41.463	11 953.5	351.07
杉木类	01.004	01 000.0	01.34
桫欏类	01.546	01 356.8	521.37
栎类	531.769	451 564.6	671.90
热带林	91.953	61 654.2	531.57
经济林	111.258	11 664.9	111.85
竹林	71.333	21 788.5	301.47
灌木林	61.795	01 837.8	91.88
疏林	21.036	01 449.2	181.07
散生木四旁树		01 295.3	
合计	100	641 098.6	511.13

全州的合计中加入了勐腊县各农场林分的碳储量和面积 (其面积占全州森林植被的 31.84%), 因缺少对这些区域林分做各种林型详细调查的资料, 估算各林分碳密度时未考虑这部份数据 1 同样表 2 中也未考虑这部份数据 1

表 2 碳密度与林龄的关系

Table 2 The relationship between carbon density and forest age

林分	碳密度 / # hm ⁻²	面积 /%	碳储量 /%
幼龄林	421.08	281.03	201.57
中龄林	631.29	481.84	531.93
近熟林	621.57	141.82	161.17
成熟林	641.79	71.29	81.24
过熟林	601.76	11.02	11.08

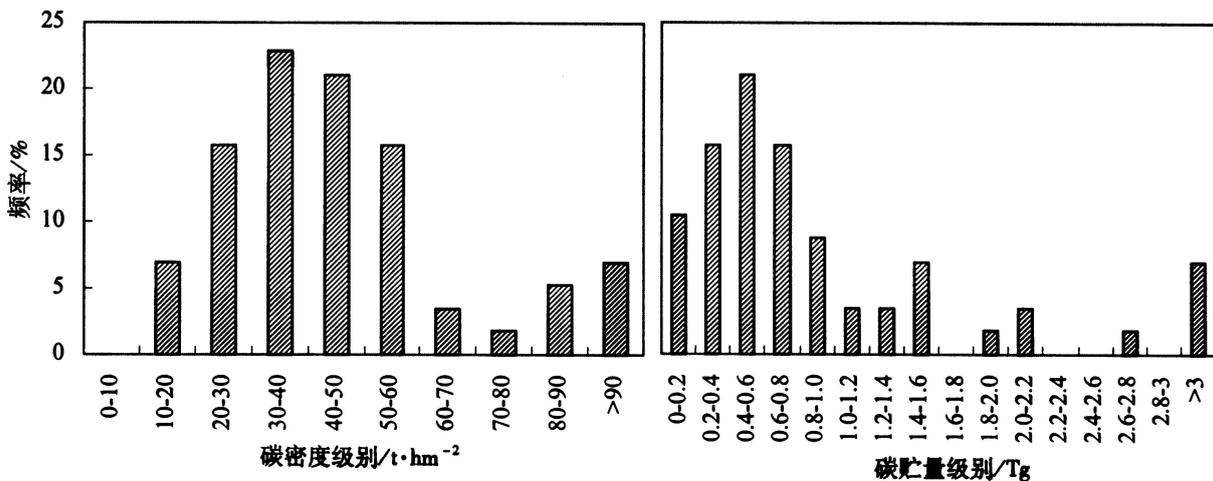


图 1 森林植被碳密度、碳储量级别频率分布

Figure 1 Frequency distribution of carbon density and carbon storage classes of forest vegetations

碳储量综合了碳密度及对应林型面积二要素, 有的乡镇虽具有较高的碳密度, 但因森林面积较小, 其碳储量较低, 如磨憨镇、龙山林场等 1 也有的乡镇虽然碳密度不高, 但因其森林面积较大, 因此具有

较高的碳贮量，如基诺乡、勐宋乡等 1 全州以乡镇、自然保护区等为尺度的碳贮量变化介于 0104~8117 Tg 之间，大约有 72% 乡镇碳贮量小于 1 Tg 有 21% 乡镇介于 1~3 Tg 只有 7% 的乡镇、自然保护区碳贮量大于 3 Tg (图 1) 1 高碳贮量主要分布在自然保护区、林场以及一些尚保存有一定面积栎类、热带林及经济林的乡镇 1 从全州分布趋势看，碳密度和碳贮量皆表现为北部、东部较高，中部、西部及南部偏低，这和全州地势及土地利用现状相关 1 全州地势总趋势是北高南低，东西两侧高，中间低 1 中部一带地势较低，向西有最大的勐遮) 勐混坝子，这些地区人口较多，土地利用主要以农耕地、经济林为主 1 而周围地势较高的区域，由于复杂的地貌形态，分布有大面积的森林 1

313 气候因素、人类活动与碳贮量分布的关系

各乡镇的平均碳密度与年均温、年降水量进行相关分析，得出碳密度与年均温具有负相关性 ($r = -0.1478$)，与年降水量具有正相关性 ($r = 0.1460$)，都达到了 $P = 0.01$ 显著性检验，即降水量丰富、温度偏低的地区森林植被碳密度高 1 为进一步分析气温、降水的分布格局可能对碳密度分布的影响，建立了西双版纳年均温、降水量面状数字数据图层，其表现出西双版纳年降雨量分布为两边多、中间少，最多区在勐腊东、北部，勐海西部及西南部，一般在 1500 mm 以上 1 年均温的分布则表现为中部、南部高，北部、东部、西部低，温度较低区在景洪北部，勐腊东部、北部，勐海中部、西部，一般在 19.15 e 以下 1

碳密度图层与温度、降水图层叠加分析得出，当年降水量 $> 1500 \text{ mm}$ 对应碳密度 $> 60 \text{ t hm}^{-2}$ 的面积占此碳密度级别总面积的 62.12%；年均温 $< 19.15 \text{ e}$ 对应碳密度 $> 60 \text{ t hm}^{-2}$ 的面积则占 52.13% 1 当年降水量 $< 1500 \text{ mm}$ ，对应碳密度 $< 30 \text{ t hm}^{-2}$ 的面积占 49.11%；年均温 $> 19.15 \text{ e}$ 对应碳密度 $< 30 \text{ t hm}^{-2}$ 的面积占 59.13% 1 由此进一步说明了高碳密度值可能受降水量影响大于温度，而低碳密度值却是温度的影响大于降水量 1 从分布格局来看勐腊东部、北部降水偏多、气温偏低，对应碳密度值偏高；景洪中部、南部以及勐腊西部降水偏少、温度偏高，对应碳密度值偏低，以上分布格局和碳密度与温度、降水的相关性是吻合的 1 而有部份区域并不遵循这种分布各局，如景洪北部碳密度偏高，降水却相对偏少；勐海中部、西部碳密度偏低，但其温度偏低，且西部降水还偏高，这种状况可能和人类活动有关 1 通过乡镇平均碳密度与人口密度的相关分析，得到碳密度 (y) 与人口密度 (x) 存在显著负相关关系，二者可用对数函数拟合 ($y = -71742.7 \ln(x) + 661263.6$ $p < 0.001$; $r^2 = 0.1312$)，这也说明人类活动对碳密度大小有一定影响 1 从人口密度分布来看，西双版纳的西部、中部要大于东部，而且西部平坝多，土地利用类型以农耕地为主，森林也多为次生植被，受人口压力及人类生产活动的影响，这些地区荒山草坡面积呈上升趋势^[14]，这些都可能导致碳密度值偏低 1 而景洪北部有大面积的自然保护区以及林场，受人类活动影响小，森林得到较好保护，因此森林植被碳密度相对偏高 1

314 森林植被碳密度与其它研究结果的对比

本区森林植被碳密度平均值高于同期全国的森林植被平均值 (421.58 t hm^{-2})^[12]，但与世界其它热带森林平均碳密度相比则偏低 (表 3)，其偏低原因是多方面的 1 一方面可能是森林林分结构差异造成的，西双版纳地处热带北缘，这里海拔高、热量和降水偏低，热带雨林在区系组成上带有明显的热带北缘性质，具有向亚热带森林过渡的特点，热带雨林与其他植被形成交错和过渡，并处于强烈的竞争之中^[17]；而且西双版纳地区虽然热带资源较丰富，但由于地貌因素的限制，真正具备热带气候的地区，只占全州总面积的五分之一左右，而这些地区已多被开垦，不是辟为农田，就是用作胶林，而真正作为热带雨林天然植被所留下的面积很少 1 例如在西双版纳自然保护区中，热带雨林面积只占保护区的约 7%^[8] 1

表 3 不同学者对热带森林植被生物量及碳密度估计

Table 3 Biomass and carbon density of tropical forest estimated by different authors

资料来源	生物量 / t hm^{-2}	碳密度 / t hm^{-2}
Dixon et al ^[2]		99- 174 (tropical Africa to tropical Asia)
Brown and Lugo ^[15]	282	124 (世界热带森林的平均值)
Brown and Lugo ^[9]	94~ 150	53 (世界热带森林的平均值)
Houghton R. A ^[16]		60- 250 (tropical Asia)

4 结语

全区森林植被碳贮量达 64110 Tg 平均碳密度值为 $51113 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 碳密度分布表现为北部、东部较高, 中部、西部及南部偏低的格局, 这种格局与年均温、年降水量的分配格局有一定相关性, 即: 森林植被碳密度与年降水量存在正相关性, 与年均温呈负相关性, 而人类活动也是影响本区碳密度分布的一个重要因素 1 受人口压力和人类生产活动的影响, 景洪北部、勐海中部和西部的碳密度分布格局与气候因素的相关性受到了一定的干扰 1

另一方面, 西双版纳热带天然林覆盖率较低 1 对西双版纳热带森林的动态变化研究显示^[14, 18], 1965年全州热带天然林覆盖率达 4614%, 由于毁林开荒, 滥砍乱伐, 尤其是橡胶经济林的大面积营造, 全州热带天然林覆盖率呈下降趋势, 至 1995年下降到 2718% 1 这些土地覆被变化势必影响本地区的碳平衡 1

再就是文中全州碳密度平均值的计算包含了林分、疏林、经济林、竹林、灌木林的值, 其值小于林分碳密度平均值 $63157 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 1 如果只考虑林分碳密度, 西双版纳森林的平均碳密度稍高于 Brown^[9] 计算的碳密度平均值, 接近 Houghton^[16] 对热带亚洲森林估算的平均值的下限 1

本研究仍存在一些不确定性, 如由于是采用基于国家尺度的蓄积量与生物量转换公式, 其中的参数用于计算某一特定区域时, 特定区域的森林类型更为详细, 没有相应参数的森林类型就必须与其它类型进行归并, 这些会带来一定误差 1 同时由于资料限制, 本文没有考虑灌木层及凋落物的碳含量 1 有学者^[19] 对西双版纳原始热带湿性季节雨林生物量的研究表明, 雨林总生物量分配为乔木层占 9816%, 而灌木层、木质藤本层、草本层共占 113%, 虽然这部分所占比例小, 但也影响碳密度、碳贮量估算 1

参 考 文 献:

- [1] 王效科, 冯宗炜 1 森林生态系统生物量和碳贮存量的研究历史 [A] 1 王如松, 方精云, 高林, 等 1 现代生态学热点问题研究 [C] 1 北京: 中国科学技术出版社, 1996 33523471
- [2] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J] 1 Science 1994, 263: 18521901
- [3] 李意德, 吴仲民, 周铁烽 1 中国热带天然林变迁对大气 CO₂ 的影响及经济损益评估 [J] 1 生态科学, 1999, 18(2): 1271
- [4] 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 等 1 我国热带天然林植被 C 贮存量的估算 [J] 1 林业科学研究, 1997, 11(2): 15621621
- [5] 吴仲民, 李意德, 曾庆波, 等 1 尖峰岭热带山地雨林 C 素库及皆伐影响的初步研究 [J] 1 应用生态学报, 1998, 9(4): 34123441
- [6] 曹军, 张懿铨, 刘燕华 1 近 20 年海南岛森林生态系统碳贮量变化 [J] 1 地理研究, 2002, 21(5): 55125601
- [7] 方精云, 刘国华, 徐嵩林 1 我国森林植被的生物量和净生产量 [J] 1 生态学报, 1996, 16(5): 49725081
- [8] 西双版纳自然保护区综合考察团 1 西双版纳自然保护区综合考察报告集 [M] 1 昆明: 云南科技出版社, 1987 125391
- [9] Brown S, Lugo A El Biomass of tropical forests—a new estimate based on forest volumes [J] 1 Science 1984, 223: 1290212931
- [10] Brown S, Gillespie A JR, Lugo A El Biomass estimation methods for tropical forests with application to forest inventory data [J] 1 Forest Science 1989 188129031
- [11] Fang JY, Chen A P, Peng CH, et al Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J] 1 Science 2001, 292: 2320223221
- [12] Fang JY, Wang G G, Liu G G, et al Forest biomass of China—an estimate based on the biomass/volume relationship [J] 1 Ecological Applications 1998, 8: 1084210911
- [13] Johnson W C, Sharpe D M 1 The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget [J] 1 Canadian Journal of Forest Research 1983, 13: 37223831
- [14] 张佩芳, 赫维人, 何祥, 等 1 云南西双版纳森林空间变化研究 [J] 1 地理学报, 1999, 54(增): 13921441
- [15] Brown S, Lugo A El The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle [J] 1 Biotropica 1982, 14: 16121871
- [16] Houghton R A 1 Temporal patterns of land use change and carbon storage in China and tropical Asia [J] 1 Science in China (Series C), 2002, 45(Supp): 102171
- [17] 朱华 1 西双版纳的热带雨林植被 [J] 1 热带地理, 1990, 10(3): 23322401
- [18] 李芝喜 1 西双版纳热带林 30 年的动态变化监测 [J] 1 林业资源管理, 1999, 2: 442461
- [19] 郑征, 冯志立, 曹敏, 等 1 热带湿性季节雨林生物量及净初级生产 [J] 1 植物生态学报, 2000, 24(2): 19722031