



## 点 评

# 中国森林生态系统的碳循环: 从储量、动态到模式

贺金生

中国科学院西北高原生物研究所, 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810008

E-mail: jshe@pku.edu.cn

收稿日期: 2012-02-02; 接受日期: 2012-02-16

森林覆盖了全球陆地面积的 30%, 它们在全球碳循环和碳管理中占有重要位置<sup>[1]</sup>. 这主要有两个原因: 一是森林生态系统的生物量、凋落物、有机物残体以及土壤有机质中贮存有大量的碳, 约占全球陆地生态系统的 45%; 二是森林生态系统如果遭到破坏或干扰, 系统中储存的大部分碳会释放到大气中, 成为大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高的一个重要因素. 因此, 有关森林生态系统生物量和生产力的研究一直受到广泛重视, 从 20 世纪 60 年代的国际生物学计划(IBM)<sup>[2]</sup>到最近全球森林碳平衡的再评估<sup>[3]</sup>, 森林生态系统一直是研究的重点.

最近《中国科学: 生命科学》发表了 3 篇论文<sup>[4-6]</sup>, 基于野外的实测数据, 分别研究了中国东部热带雨林、亚热带常绿阔叶林和温带落叶阔叶林、温带针叶林等森林类型的碳储量和生产力, 为中国森林生态系统碳循环的研究提供了重要的基础数据.

陈德祥等人<sup>[4]</sup>利用森林固定样地连续监测数据, 结合生物量的异速生长模型, 估算了海南岛尖峰岭热带山地雨林生物量、生物量碳密度及其在 1983~2005 年间的变化. 研究表明, 尖峰岭热带山地雨林生物量范围在 397.1~502.4 t/hm<sup>2</sup>, 平均约为 453 t/hm<sup>2</sup>. 生物量碳密度范围在 201.4~254.9 t C/hm<sup>2</sup>, 平均约为 230.8 t C/hm<sup>2</sup>. 在 1983~2005 年的近 25 年间, 尖峰岭热带山地雨林表现为一个碳汇, 平均碳汇约为 0.56 t C/hm<sup>2</sup>/a. 这是中国热带森林作为碳汇的一个直

接证据.

杨同辉等人<sup>[5]</sup>利用树干解析法建立了浙江天童常绿阔叶林主要组成树种的生物量异速生长模型, 并在此基础上估算了木荷(*Schima superba*)-米楮(*Castanopsis carlesii*)林的总生物量. 结果表明, 52 年生的木荷-米楮林总生物量平均为 225.3 t/hm<sup>2</sup>, 约相当于 101.4 t C/hm<sup>2</sup>, 其中 28.0%在地下. 该论文还对中国区域常绿阔叶林的生物量进行了比较和整体评估.

张全智和王传宽<sup>[6]</sup>研究了黑龙江帽儿山 6 种典型温带森林的碳密度和碳分配格局. 结果表明, 6 种温带森林的总碳密度在 186.9~349.2 t C/hm<sup>2</sup> 之间波动, 植被碳密度、碎屑碳密度和土壤碳密度分别约占总碳密度的 40%, 3%和 57%. 根冠比范围在 22.0%~28.3% 之间, 中细根(直径<5mm)生物量为 0.95~3.24 t C/hm<sup>2</sup>. 这是继北京东灵山温带森林生态系统碳循环模式研究<sup>[7]</sup>之后的又一详细的研究案例.

根据这些结果, 结合近年有关森林生物量的一些研究<sup>[7,8]</sup>, 可以得到中国东部森林生物量随纬度的变化趋势(图 1). 总体来看, 热带、亚热带森林的生物量较高, 随着纬度有下降的趋势. 但是, 随着纬度变化, 森林生物量表现出较大的差异, 线性关系不是非常强. 这说明简单的随纬度变化的水热因素不能解释生物量的地理格局. 究竟是什么因素决定了森林的生物量, 要回答这个问题, 却不是一件容易的

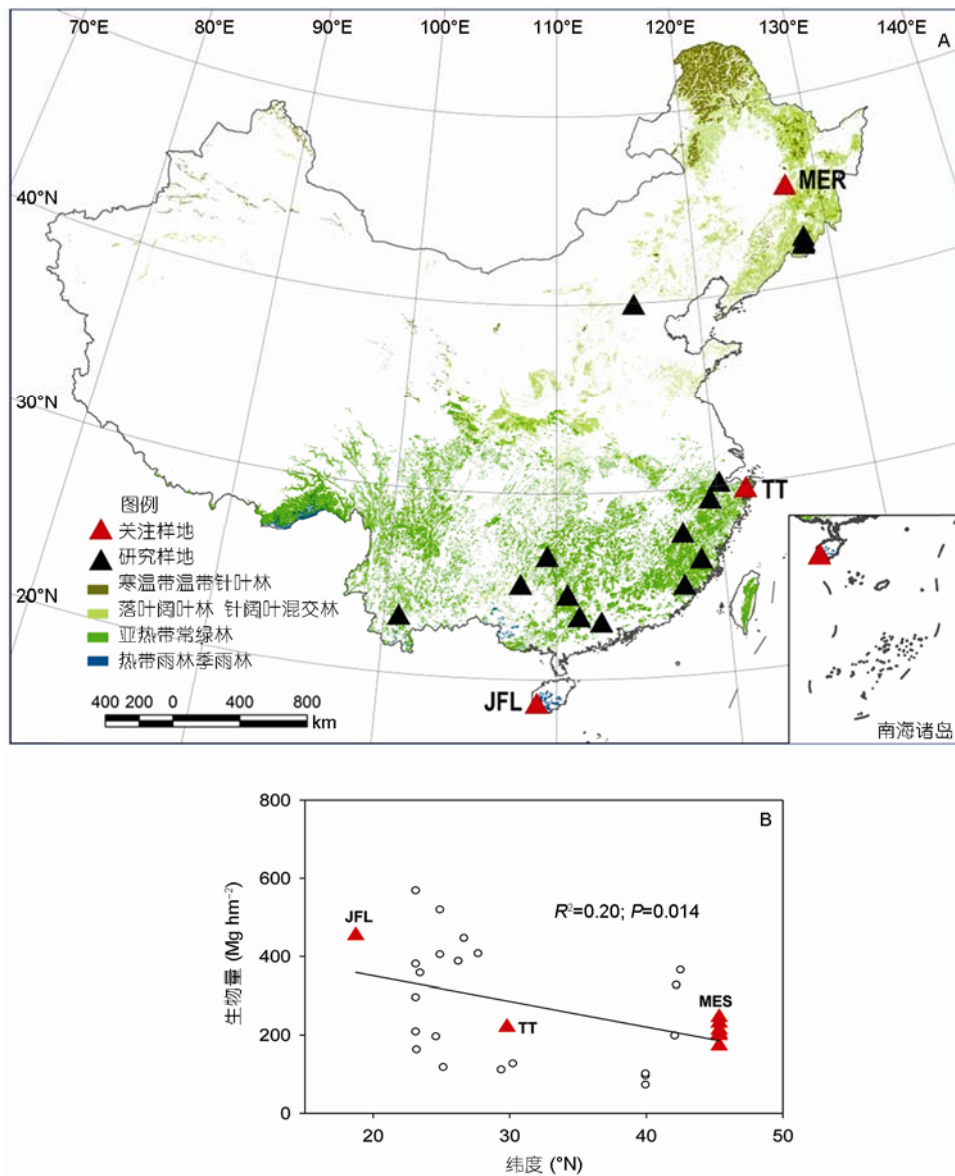


图1 《中国科学: 生命科学》(2010年40卷7期)“东亚陆地生态系统碳循环”专刊中有关中国森林生态系统碳循环测定的研究地点分布图(A)以及森林生物量随纬度的变化(B)  
JFL=海南尖峰岭; TT=浙江天童; MES=黑龙江帽儿山

事情。

一般认为, 群落碳输入速率(初级生产力)的决定因素是水、热和土壤养分条件. 从短期来看, 直接的影响因子包括光照、温度、大气  $CO_2$  浓度、叶片氮含量、叶面积指数和生长季长度等<sup>[9]</sup>, 但从长期的群落演替尺度来看, 最终的决定因素还是气候、地形、土壤母质、生物区系和发育时间, 即 5 个相对独立的所谓的“状态因子”<sup>[10]</sup>. 而群落的生物量是一个累积量,

是群落长期演替的最终产物, 5 个独立的“状态因子”是其最终的决定因素. 但在短的时间尺度上, 群落动态和管理是重要的决定因素.

近年来一个有趣的发现是, 森林生物量与森林的平均高度有非常好的线性关系. Fang 等人<sup>[11]</sup>利用全球森林生物量数据库, 发现在郁闭的森林中, 地上生物量简单地与森林平均高度呈正比例关系, 可以表示为 “生物量( $Mg/ha$ )= $10.63 \times$ 森林平均高度( $m$ )”,

并由此得出单位森林空间地上生物量是个定值的推论. 这在理论上, 把植物种群在一定的密度范围内保持“最终产量恒定”的法则<sup>[12,13]</sup>拓展到了森林群落, 还为估算大尺度森林生物量提供了一个新的思路. 最近 Hui 等人<sup>[14]</sup>利用中国森林生物量和生产力的数据库, 进一步证明, 森林高度比胸高直径(DBH)能更好地预测森林的生物量 and 生产力. 但是, 群落高度与生物量的关系, 在草地生态系统似乎要复杂一些, 主要表现在群落高度和根冠比(R:S)的关系比与生物量 and 生产力的关系更为密切<sup>[15]</sup>.

对于森林来说, 人们对生态系统碳库的研究已经比较全面, 积累了大量的实测数据, 特别是生物量数据. 但是, 要得到一个森林生态系统的碳循环模式, 却需要长期的野外测定, 尤其是各个碳库之间通量的测定. 目前碳循环模式测定遇到的困难, 一是

“库大通量小”, 在短期内准确测定碳库之间的通量, 并非易事; 二是空间的异质性, 采样地点之间的差异, 经常会大于碳库之间的通量. 世界上已有的比较有代表性的森林生态系统碳循环模式, 主要有美国新罕布什尔 Hubbard Brook 温带栎类林<sup>[16]</sup>和美国华盛顿州 Wind River 实验林的黄杉(*Pseudotsuga*)-铁杉(*Tsuga*)针叶林<sup>[17]</sup>. 相比较而言, 尽管我国有一些初步的碳循环模式<sup>[7]</sup>, 但总体上还缺乏详细的、具有代表性的碳循环模式研究.

森林生态系统碳循环的研究需要从储量、动态到模式的发展. 今后的一个重要努力方向将是在地带性的森林生态系统以及一些代表性的人工林生态系统, 建立碳循环模式研究的基准点, 构建国家尺度甚至更大尺度的碳循环模式, 并用于生态系统模型的校验. 以此为基础, 进行生态系统碳循环的评价和预测.

## 参考文献

- 1 Fahey T J, Woodbury P B, Battles J J, et al. Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Front Ecol Environ*, 2010, 8: 245–252
- 2 Lieth H, Whittaker R H. *Primary productivity of the biosphere* Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag, 1975
- 3 Pan Y D, Birdsey R A, Fang J Y, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 2011, 333: 988–993
- 4 陈德祥, 李意德, Liu H P, 等. 尖峰岭热带山地雨林生物量及碳库动态. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40: 596–609
- 5 杨同辉, 宋坤, 达良俊, 等. 中国东部木荷-米槠林的生物量和地上净初级生产力. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40: 610–619
- 6 张全智, 王传宽. 6 种温带森林碳密度与碳分配. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40: 621–631
- 7 Fang J Y, Liu G H, Zhu B, et al. Carbon budgets of three temperate forest ecosystems in Mt. Dongling, Beijing, China. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2007, 50: 92–101
- 8 Zhu B, Wang X P, Fang J Y, et al. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *J Plant Res*, 2010, 123: 439–452
- 9 Chapin F S III, Matson P A, Mooney H. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York: Springer-Verlag, 2002
- 10 Jenny H. *Factors of soil formation*. New York: McGraw-Hill, 1941
- 11 Fang J Y, Brown S, Tang Y H, et al. Overestimated biomass carbon pools of the northern mid- and high latitude forests. *Clim Change*, 2006, 74: 355–368
- 12 Kira T, Ogawa H, Shinozaki K. Intraspecific competition among higher plants. I. Competition-density-yield interrelationships in regularly dispersed populations. *J Polytech Inst Osaka City Univ*, 1953, 4: 1–16
- 13 Weiner J, Freckleton R P. Constant final yield. *Ann Rev Ecol Evol Syst*, 2010, 41: 173–192
- 14 Hui D, Wang J, Le X, et al. Influences of biotic and abiotic factors on the relationship between tree productivity and biomass in China. *Forest Ecol Manag*, 2012, 264: 72–80
- 15 Li Y H, Luo T X, Lu Q. Plant height as a simple predictor of the root to shoot ratio: Evidence from alpine grasslands on the Tibetan Plateau. *J Veget Sci*, 2008, 19: 245–252
- 16 Fahey T J, Siccama T G, Driscoll C T, et al. The biogeochemistry of carbon at Hubbard Brook. *Biogeochemistry*, 2005, 75: 109–176
- 17 Harmon M E, Bible K, Ryan M G, et al. Production, respiration, and overall carbon balance in an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest ecosystem. *Ecosystems*, 2004, 7: 498–512