

# 贡嘎山东坡峨眉冷杉林 C 循环的初步研究<sup>\*</sup>

罗 辑<sup>1</sup> 赵义海<sup>2</sup> 李林峰<sup>2</sup>

(1 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041; 2 甘肃农业大学 兰州 730070)

**提 要** 根据定位观测数据和有关历史资料,研究了贡嘎山东坡峨眉冷杉(*Abies fabri*)近熟林和中龄林 C 循环。测定了两种林分植物 C 储量、土壤有机 C 储量、凋落物和立枯量中的 C 储量,并对两种林分的净光合速率进行了对照研究。

**关键词** 贡嘎山 峨眉冷杉林 C 循环 C 储量

**分类号** 《中图法》P 95, X 221, Q 89 **文献标识码** A

森林生态系统在全球生物圈 C 平衡中有着重要作用。植物生长从大气中吸收并固定 C 素,将其中大部分储存在植物体和土壤中,是大气 CO<sub>2</sub> 的一个重要的汇。森林的严重退化和采伐使森林生态系统已固定储存的 C 素释放,森林生态系统转变为大气 CO<sub>2</sub> 的一个源。CO<sub>2</sub> 对温室效应的作用约占大气温室气体效应的 60 %,全球 CO<sub>2</sub> 浓度升高和温度变化将导致地球上各个生物组织层次发生变化,高纬度和高海拔地区生态系统对全球气候变化最敏感。国内外对高纬度地区陆地生态系统是在 CO<sub>2</sub> 的源汇问题已获得了初步认识<sup>[1,2]</sup>,对高山地区生态系统进行了 CO<sub>2</sub> 和其它温室气体排放的研究<sup>[3]</sup>。

青藏高原作为地球的“第三极”,了解其生态系统的 C 循环十分重要。目前已经开展了对农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放的研究<sup>[4]</sup>,森林生态系统 C 循环研究工作尚在起步阶段。本文通过对贡嘎山东坡峨眉冷杉林 C 循环进行研究,探讨森林生态系统不同发育时期对大气 CO<sub>2</sub> 的贡献。

## 1 研究地概况

贡嘎山位于青藏高原的东南缘,自然条件复杂,植被类型繁多,植被垂直带谱完整。分布于贡嘎山东坡海拔 2 800 m~3 600 m 的峨眉冷杉林是主要的林型,海拔 3 000 m 峨眉冷杉生长良好,有不同发育时期的群落,冰川退缩地和泥石流扇形地形成植被原生演替系列。

## 2 研究方法

### 2.1 林分生物量的测定

选定峨眉冷杉近熟林(以下简称为近熟林)0.6 hm<sup>2</sup>、峨眉冷杉中龄林(以下简称为中龄林)0.2 hm<sup>2</sup>,对乔木层采用样木收获法,对林中其它各层采用小样方全收获法,测定两类林分的生物量<sup>[5]</sup>。在两种样地分别放置 1 m×1 m 的凋落物收集器 20 个和 10 个,每月收集一次,统计其平均凋落量。

### 2.2 林分生产力的测定

采用美国产 CI-301PS 型光合作用仪,测定植物净光合速率和呼吸速率,选择开路系统用叶室对植物器官不离体进行野外测定。在白天每隔 2 h 测定林冠不同方位叶片的净光合速率,同时测定林中不同层次植物叶片的净光合速率,夜晚测定叶片的呼吸速率。白天和夜晚每隔 4h 测定植物不同器官的呼

<sup>\*</sup>中国科学院“九五”重大项目(KZ951-A1-301)和特别支持项目(KZ95T-04-02)部分研究成果。  
收稿日期:1999-03-01;改回日期:1999-04-12  
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

吸速率,并测定林分叶面积指数。林分中植物生长量以当年与上年生物量的差值确定,净初级生产力同时还按照木村允 1976 年提出的公式计算<sup>[6]</sup>,两种测定方法加以比较后选用。

2.3 土壤样品采集

在植物根分布深度内挖土壤剖面,每 10 cm 取 1 个土样,同时用环刀法每 10 cm 取 1 个容重样,以上工作每月开展一次。样品带回室内测定。植物样和土壤样的含 C 量用意大利产 MODI106 型元素分析仪测定。

2.4 土壤呼吸的测定

采用 CI-301PS 仪和中国农业机械化研究所用玻璃纤维增强塑料制作的土壤气体采集器,通过闭路方式测定土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率。每隔 10 d 对两块样地做一次 24 h 连续观测,每块样地内设置三个重复观测点。

3 结果与分析

3.1 森林植物的 C 储量

在我国分布的冷杉属植物中,峨眉冷杉最耐荫湿<sup>[7]</sup>。海螺沟冰川近 3 千年来在海拔 3 000 m 附近形成了三道大的侧碛体,在侧碛体阴坡上分布的峨眉冷杉近熟林生长良好,林龄是 128 a,林分密度为 209 株/hm<sup>2</sup>。峨眉冷杉在乔木层中占绝对优势,阔叶树只残存着糙皮桦(*Betula utilis*),乔木层生物量占整个林分的 91.24 %;灌木层主要有杜鹃(*Rhododendron* spp.),灌木层生物量只占整个林分的 3.61 %;草木层种类较多,常见有苔草(*Carex* spp.),草木层生物量只占整个林分的 0.34 %;以山羽藓(*Abietinella abietina*)等组成的活地被层十分发达,其生物量占整个林分的 4.78 %;层间植物种类少,生物量最少,只占整个林分的 0.03 % (表 1)。1948 年海螺沟黄崩溜暴发了一次规模较大的泥石流,泥石流流经区域原生峨眉冷杉林被彻底破坏,在泥石流尾流区域发生植被演替,形成了峨眉冷杉中龄林。中龄林林龄为 47 a,林分密度达 2 318 株/hm<sup>2</sup>。林中冬瓜杨(*Populus purdomii*)与峨眉冷杉占优势,部分糙皮桦也位于主林层。在演替过程中,沙棘(*Hippophae rhamnoides*)和高山柳(*Salix* spp.)已经先后死去,林中留下已经部分分解的枯立木。中龄林的郁闭度较高,林分生物量在各层中的分配与近熟林有所不同,灌木层和地被层的生物量在林分中所占的比例比近熟林低,其它各层比近熟林高(表 1)。

表 1 贡嘎山峨眉冷杉林的生物量(t/hm<sup>2</sup>)  
Table 1 Biomass of *Abies fabri* on the Mt. Gongga

群落类型	乔木层	灌木层	草本层	地被层	层间植物	总 计
峨眉冷杉近熟林	321.033	12.689	1.183	16.831	0.108	351.844
峨眉冷杉中龄林	114.414	4.051	0.834	2.456	0.047	121.802

将近熟林和中龄林主要植物样品进行化学分析,结果表明木本植物各器官、部位中,芽的含 C 量最高,根的皮和木质部含 C 量较低;峨眉冷杉平均含 C 量较高,苔藓和草本植物的含 C 量最高。中龄林中的阔叶树平均含 C 量较峨眉冷杉林低,其它各层中植物含 C 量变化不大。根据植物样品分析结果和表 1 的数据加以计算,可以获得峨眉冷杉林植物 C 储量(表 2)。

表 2 贡嘎山峨眉冷杉林植物 C 储量(t/hm<sup>2</sup>)  
Table 2 Carbon storage of *Abies fabri* forests plant on the Mt. Gongga

群落类型	乔木层	灌木层	草本层	地被层	层间植物	总 计
峨眉冷杉近熟林	158.001	5.581	0.586	8.523	0.049	172.740
峨眉冷杉中龄林	54.521	1.792	0.407	1.225	0.021	57.966

3.2 森林植物 C 储量的年变化

近熟林和中龄林的净初级生产力分别为  $11.335 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$  和  $8.806 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ 。近熟林的地被层净初级生产力较高,中龄林中除乔木层外,其它各层净初级生产力都较低。根据表 1、表 2 中的数据,可以得到每产生  $1 \text{ t}$  生物量干物质就能固定多少 C,这样  $1 \text{ hm}^2$  近熟林每年固定 C 是  $5.565 \text{ t}$ ,  $1 \text{ hm}^2$  中龄林每年固定 C 是  $4.191 \text{ t}$ 。

3.3 凋落物和立枯量的 C 储量

森林中的植物通过光合作用吸收大气中的  $\text{CO}_2$  并将部分 C 素固定体内,同时以凋落物形式每年向土壤输入有机 C。近熟林净初级生产力较高,林分结构相对稳定,落叶是凋落物中的主要成分。中龄林还在进行群落演替,每年都有大量植物死亡,产生许多枯立木,林分结构不稳定,凋落物中枯枝落叶各占一定比例。

近熟林凋落物和立枯量分别是  $3.657 \text{ t/hm}^2$  和  $6.697 \text{ t/hm}^2$ ,中龄林凋落物和立枯量分别是  $3.161 \text{ t/hm}^2$  和  $17.435 \text{ t/hm}^2$ 。近熟林凋落物和立枯量中的 C 素储量分别是  $1.786 \text{ t/hm}^2$  和  $3.288 \text{ t/hm}^2$ ,中龄林凋落物和立枯量中的 C 素储量分别是  $1.504 \text{ t/hm}^2$  和  $8.297 \text{ t/hm}^2$ 。

3.4 森林土壤的 C 储量

土壤中的有机 C 主要来源于每年凋落物、植物枯死脱落部分及根系分泌物中的 C 素。泥石流形成的原生裸地无有机 C,植被演替进程中也伴随着森林土壤的形成,向土壤中输入不断增多的凋落物对土壤形成有着重要作用。中龄林土壤类型属于粗骨土,土壤结构不完整,还未形成土壤 B 层,土壤 A 层薄,分化不明显,土壤母质中有机质含量很少,中龄林土壤有机 C 储量为  $30.698 \text{ t/hm}^2$ 。近熟林土壤类型属于山地棕色暗针叶林土,土壤结构完整,土壤各层有机质含量都比较高,近熟林土壤有机 C 储量为  $143.152 \text{ t/hm}^2$ ,土壤 A、B、C 层分别占总储量  $82.46\%$ 、 $11.42\%$  和  $11.42\%$ 。森林土壤中的 C 储量占全球土壤 C 的  $73\%$ ,大约是全球森林生物量的  $2\sim 3$  倍<sup>[8]</sup>,我国分布于寒温带的森林土壤中 C 储量最高,而且主要集中于土壤 A 层。

3.5 土壤  $\text{CO}_2$  排放

土壤中植物器官的呼吸、有机物氧化分解和部分土壤微生物活动是土壤排放  $\text{CO}_2$  的主要来源。采用 CI—301PS 对两种林分土壤呼吸进行全年定位观测,证明不同林分土壤呼吸差异很大。近熟林土壤排放  $\text{CO}_2$  的通量是  $218.480 \text{ kg CO}_2/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$  中龄林土壤排放  $\text{CO}_2$  的通量是  $123.760 \text{ kg CO}_2/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$  若将以上观测结果换算为 C 的通量,则分别是  $21.749 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$  和  $12.320 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ 。

各种生态因素对土壤呼吸都有影响,但是各因素所起的作用并不同。温度对土壤呼吸作用明显,观测结果表明,各项温度指标与土壤呼吸强度呈正相关,对中龄林土壤呼吸相关程度更高。人类由于过度采伐森林和大量使用化石燃料,使 C 素在地球生物圈中失去平衡,向大气中富集,是导致全球气温升高的重要原因。升高的气温又促进森林土壤  $\text{CO}_2$  排放,对遭到严重破坏森林的土壤呼吸作用更加显著。

贡嘎山东坡峨眉冷杉近熟林和中龄林生态系统的 C 储量分别是  $320.966 \text{ t/hm}^2$  和  $98.465 \text{ t/hm}^2$ 。林分的 C 循环还应包括森林土壤  $\text{CH}_4$  等含 C 物质的周转,由于它们的含量较少,测量比较困难,有待进一步研究。

4 讨 论

峨眉冷杉全年都在进行着光合作用,冬天叶的净光合速率可达到  $1.27 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  植物体同时还进行着呼吸作用,根的呼吸速率可达  $0.43 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。近熟林全年生理活动相对较强,  $1 \text{ hm}^2$  森林植物每年固定 C  $5.565 \text{ t}$ ,土壤呼吸释放的 C 量是  $21.749 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$ 。这其中植物根呼吸作用排放的 C 约占  $70\%$  以上,而  $1 \text{ hm}^2$  土壤每年有凋落物归还 C 量  $1.786 \text{ t}$ ,还有草本层、地被层植物的归还量和木本植物根系的归还量等,这表明近熟林生态系统每年可以固定部分大气中的  $\text{CO}_2$ 。中龄林中的落叶乔木

生长季生理活动旺盛,而在非生长季进入休眠状态,生理活动很微弱,1 hm<sup>2</sup> 中龄林植物每年固定 C 4.191 t,同时土壤呼吸释放的 C 量是12.320 t/hm<sup>2</sup>·a,这其中根系呼吸作用排放的 C 约占 60%,1 hm<sup>2</sup> 土壤每年凋落物归还 C 量1.504 t,由于中龄林的立枯量是近熟林的 2.5 倍,而且每年还在不断增加,加上与上述近熟林相似的其它方面归还,这样中龄林土壤每年获得的 C 量与近熟相近,而土壤呼吸排放的 C 量相对较少,所以演替过程中的前期和中期,森林土壤 C 储量逐步增加。总之,峨眉冷杉林未形成顶级群落之前,森林生态系统是大气 CO<sub>2</sub> 的汇。

定量描述森林生态系统 C 循环过程,并估计植被和土壤的 C 存贮现状以及预测未来的变化趋势,还有赖于生态系统各分室之间各种通量的准确测定。

参 考 文 献

1 方精云,唐艳鸿,小泉博等. 高纬度冬季下垫面释放 CO<sub>2</sub> 的证据. 中国科学(D 辑), 1998, 28(6): 559~563  
2 Poole D K, Miller P C. Carbon dioxide flux from three Arctic tundra types in north-central Alaska, USA. *Arctic and Alpine Research*, 1983, 14: 27~32  
3 Sommerfeld R A, Mosier A R, Musselman R C. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and NO<sub>2</sub> flux through a Wyoming Snowpack and implications for global budgets. *Nature*, 1993, 361: 140~142  
4 刘允芬. 西藏高原农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放研究初报. 自然资源学报. 1998, 13(2): 181~185  
5 彭少麟著. 南亚热带森林群落动态学. 北京: 科学出版社. 1996. 198~223  
6 木村允(姜恕,陈乃全,焦振家译). 陆地植物群落生产量测定方法. 北京: 科学出版社. 1981, 58~96  
7 管中天,陈尧,徐润青. 峨眉冷杉森林类型的研究. 植物生态与地植物学丛刊, 1984, 8(2): 133~145  
8 徐德应. 大气 CO<sub>2</sub> 增长和气候变化对森林的影响研究进展. 世界林业研究, 1994, (2)26~32

第一作者简 罗辑,男,38 岁,副研究员。主要从事高山森林生态研究,与他人合著专著 3 部,发表论文 10 余篇。

A PRELIMINARY RESEARCH ON THE CARBON  
CYCLE OF *ABIES FABRI* FORESTS ON THE EAST SLOPE  
OF THE GONGGA MOUNTAIN

LUO Ji<sup>1</sup> ZHAO Yi-hai<sup>2</sup> LI Lin-feng<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences  
& Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041;  
<sup>2</sup> Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

**Abstract** The carbon cycle, especially the CO<sub>2</sub> emission and uptake by the middle age and near mature *Abies fabri* forests was studied in this paper. The forest CO<sub>2</sub> source and sink were emphatically analyzed. Based on the data of located observation on the east slope of Gongga Mountain, the following aspects were investigated in the middle age and near mature *Abies fabri* forests: the storage of plants carbon, soils organic carbon, litter and dead standing tree carbon, photosynthetic rates of the plants and respiration rates of the plants and soils by CI-301 photosynthesis system. The results show that the total carbon storage of the near mature forest was 320.966 t/hm<sup>2</sup>, of which the storage of plant carbon, soil organic

carbon, litter and dead standing tree carbon accounted for 172.740, 143.152, 1.786 and 3.288 t/hm<sup>2</sup>, respectively. The total carbon storage of middle age forest was 98.465 t/hm<sup>2</sup>, of which, the storage of plant carbon, soil organic carbon, litter and dead standing tree carbon accounted for 57.966, 30.698, 1.504 and 8.297 t/hm<sup>2</sup>, respectively. CO<sub>2</sub> was released with a rate of 21.749 t/hm<sup>2</sup>·a from the soil of the near mature forest. CO<sub>2</sub> was released with a rate of 12.320 t/hm<sup>2</sup>·a from the soil of the middle age forest. The results also show that there was an increasing in carbon storage of the middle age and near mature forests from atmospheric CO<sub>2</sub>. The main factor which affected soil respiration was temperature. Finally, the uncertainties in the estimations were discussed in detail and further works were also suggested.

**Key words** Gongga Mountain, *Abies fabri* forest, carbon cycle, carbon storage