

645-651

7569(13)

第16卷第6期
1996年12月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 16, No. 6
Dec., 1996

青冈常绿阔叶林的碳素动态

李铭红

于明坚

陈启瑞

常杰

潘晓东

(杭州大学生命科学学院, 杭州, 310012)

5792.986.2

摘要 报道了浙江建德青冈林碳素的含量、现存量、存留量、归还量、释放量以及在生态系统中的动态过程。结果表明: 植物群落中碳素含量的变化幅度不大, 一般在10%以下。其中, 叶片(器官比较)、乔木层(层次比较)和春夏季(季节比较)的含量稍高, 根系、草本层、秋冬季的含量稍低。群落的碳素现存量为66.113 t/hm², 主要集中在乔木层或常绿树种内; 群落的碳素存留量为5.691 t/hm²·a; 每年通过凋落物归还至地表的量为2.296 t/hm²·a; 死地被物中又有0.911 t/hm²·a的碳素释放至大气库中。

关键词: 青冈常绿阔叶林, 碳素动态。

森林生态学

DYNAMICS OF CARBON IN THE EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST DOMINATED BY *CYCLOBALANOPSIS GLAUCA* IN SOUTH-EAST CHINA

Li Minghong Yu Mingjian Chen Qichang Chang Jie Pan Xiaodong

(College of Life Science, Hangzhou University, Hangzhou, 310012, China)

Abstract The forest dominated by *Cyclobalanopsis glauca* is a main subtropical evergreen broad-leaved forest type in South-East China. Carbon dynamics including the concentration, standing crop, retention, return amount via litterfall and release amount is studied. The results show that: The concentration of carbon is higher in spring and summer, leaf and the tree layer, and lower in fall and winter, root and the herb layer. The standing crop of carbon is 66.11 t/hm², and it focuses on the tree layer or evergreen species. The return amount via litterfall of carbon is 2.296 t/hm²·a and the release amount of carbon from the forest floor to the air is 0.911 t/hm²·a.

Key words: evergreen broad-leaved forest dominated by *Cyclobalanopsis glauca*, carbon dynamics.

亚热带常绿阔叶林是地球上主要的植被类型之一, 并集中分布于我国, 面积为 250 ×

• 国家自然科学基金资助项目; 浙江省自然科学基金资助项目。

• 现工作单位为浙江师范大学生物系, 金华, 321003

收稿日期: 1994-10-27, 修改稿收到日期: 1996-01-02。

10^4 km^2 , 在维持全球生态平衡方面起着十分重要的作用。迄今为止, 国内外关于森林生态系统碳素动态的研究主要集中在温带和热带森林^[1~3], 而对分布面积很广的亚热带常绿阔叶林而言, 这方面的工作尚属空白。本文在以往生产力等研究的基础上, 着重讨论青冈林的碳素含量及其分配特征与动态, 旨在探索碳在生态系统中的动态与植物群落在同化(积累)碳素中的作用, 提供一些基本资料。

1 研究样地概况

青冈林碳素动态的研究样地位于浙江建德林场的泖江分场, 地理位置 $29^{\circ}24' \text{N}$, $119^{\circ}31' \text{E}$ 。该区由海拔高度约 400~500 m 的低山丘组成, 坡度 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 土壤类型为江南丘陵典型的红壤, 土层厚度 100 cm 左右, pH 值在 4.5~5.2 之间。该区总的气候特点是春秋两季温暖湿润, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷偏干燥^[4]。

该区域目前保存着以青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)为建群种的常绿阔叶林约 15 km^2 , 均为 1958 年皆伐后经封山抚育逐步发育成的天然次生林。组成群落的植物种类丰富, 优势种相对集中在壳斗科的 *Cyclobalanopsis*、*Lithocarpus*、*Castanopsis*, 樟科的 *Cinnamomum*、*Machilus*, 山茶科的 *Schima*、*Camellia*、*Eurya* 以及金缕梅科的 *Loropetalum* 等典型亚热带分布的科属中, 并含有一定成分的落叶种类。群落可分为乔木层(8~16 m 高, 胸径 $\geq 5.5 \text{ cm}$)、亚乔木层(包括乔木层的下亚层和灌木层的上亚层, 2~7 m 高, 胸径 $< 5.5 \text{ cm}$, 基径 $\geq 1.0 \text{ cm}$)、下木层(为灌木层的下亚层, 高度 $< 2 \text{ m}$, 基径 $< 1.0 \text{ cm}$)、草本层 4 个层次及藤本植物。群落总生物量为 111.27 kg/hm^2 , 其中乔木层的生物量占 91% 左右。林龄约 35 a, 林木密度大于 2000 株/hm^2 ^[4]。

2 研究方法

2.1 样品采集

由于建群种青冈在群落中占明显的优势, 故而把它作为乔木层、亚乔木层和下木层的主要研究对象; 并根据生物量与生产量的分配特点^[4], 选择了乔木层常绿次优势种石栎(*Lithocarpus glaber*)等 4 种、常绿伴生种冬青(*Ilex purpurea*)等 4 种、下木层优势种毛花连蕊茶(*Camellia fraterna*)等 4 种、草本层优势种狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)等 2 种以及藤本优势种香花崖豆藤(*Millettia dielsiana*)分别作为乔木层、亚乔木层、下木层、草本层和藤本植物的代表种(见表 1)。

用于碳素现存量测定的样品的采集用皆伐法^[5], 于 1991 和 1992 年的 1、4、7、10 等 4 个月在样地周围同型群落取各代表种相应年龄植株的根、树干、枝、叶等器官样品, 每种器官的样品皆为不同粗细或方位所取样的混合品, 在 80°C 通风干燥箱中烘干至恒重, 粉碎后用于碳素含量的测定。

凋落物的取样采用回收器法^[6], 在样地内选定 4 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的小样地回收直径 $\geq 1 \text{ cm}$ 的大型枯枝, 同时按机械布点法设置 20 个面积为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的网状回收器收集小型凋落物, 每隔 15 d(凋落高峰期)或 1 个月收集 1 次, 周期 2 a。同时用分解袋法^[7]测定凋落物的分解率和养分释放率, 隔 1 个月或 2 个月取 1 次样, 周期 2 a。所取样品如前述烘干、粉碎, 并测定其碳素含量。

2.2 凋落物分解率和碳素释放率的推算

凋落物的分解速率因不同组分而异, 常可用分解常数来描述^[8], 即: $x_t = x_0 e^{-kt}$ (式中 x_t 为 t 时刻凋落物中残留干物质的量; x_0 为初始凋落物干物质的量; k 为分解常数)。

凋落物中碳素的释放率可以反映分解过程中的碳素释放状况,用下式表示:

$$\text{碳素释放率}\% = \frac{\text{凋落物初始碳素量} - \text{某一时刻碳素残留量}}{\text{凋落物初始碳素量}} \times 100\%$$

2.3 化学分析

各样品碳的含量测定用灼烧的方法。将烘干粉碎成粉末的样品精确称取 1 g,置于真空石英管中,通氧气使其充分燃烧生成 CO₂,用日产 2400 CHN 元素分析仪测定其含量,每次测 3 个平行样品,测试结果取中值,精度为 0.01%。

3 结果与分析

3.1 青冈林植物的碳素含量(浓度)特征

表 1 是青冈林群落主要植物种类 2 a 间 4 季 8 次取样各器官的碳素含量平均值。从表 1 中可以发现,样品间碳含量的变化幅度不是很大,含碳量最高值的拟赤杨叶片(50.34%)与含量最低的苔草地下部分(41.82%)之间的差值不足 10%,反映了植物组织中碳水化合物含量的相似性。同时,在不同层次之间,碳素含量大体上呈现乔木层>亚乔木层>下木层>藤本植物>草本层的趋势即随着植物个体高度或组织木质化程度的降低,其碳含量也相应减少。这种层次之间植物碳素积累能力的差异显然与不同层次的种类在群落中所处的地位密切相关。

就各植物器官碳含量差异而言,在叶或地上部分器官中相对较高而根中相对较低。从中显示叶作为碳素同化器官的重要性(表 1)。

不同代表植物碳素平均含量的种间、层次和器官间变化幅度相近。其中以乔木层和亚乔木层的种间变化幅度为最小。乔木层种间碳含量的差异主要反映在枝和叶两个方面;亚乔木层种间差异主要反映在叶上;下木层种间差异主要反映在地上器官中;而草本层碳含量差异主要反映在地下器官上(表 1)。

各代表植物碳含量的季节变化幅度较小(表 1)。其中,乔木层和亚乔木层代表种的季节变幅更小。乔木层和亚乔木层代表种的碳素含量呈现春夏季>秋冬季的趋势;下木层、草本层和层间植物则呈秋冬季>春夏季。这反映了作为群落上层的乔木层和亚乔木层,在光照条件相对优越的生长季节能合成更多的碳水化合物,以满足其旺盛生长,并在秋末与冬季有较少的积累与较多的消耗;而处于群落下层的种类在生长季节积累的碳水化合物较少,并在冬季保持较低的消耗水平。

3.2 青冈林的碳素动态

3.2.1 群落中碳素的现存量及其分配特征 林龄约 35 a 的青冈林群落的碳素现存量为 66.11 t/hm²,并主要集中在乔木层中(达 90%以上)。就器官分配而言,碳素主要贮存于树干和根系中(占 70%以上),但在主要储藏器官——树干中仅有 45%左右,它所占的比例不及其它人工林^[9-10],说明 35 年生青冈的树干材积量占总生物量的比例还不如松、杉等速生树种。在其种类分配上,碳素主要集中在常绿树种中(达 83%),其中在建群种青冈中就积累了近 45%,反映了常绿种类在群落中的优势地位(表 2)。碳在植物体中的含量很高,其分配特征与生物量的分配基本相一致^[4]。

表 1 青冈林群落中主要植物的含碳量(%)及其含碳量的季节动态
Table 1 Concentrations of carbon and seasonal dynamics of carbon in main plants in the community dominated by *C. glauca*

层次 Layer	种类 Species	根 Root	树干 Trunk	枝 Branch	叶 Leaf	平均 Mean	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
乔木层 Tree layer	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	47.90	47.66	48.34	49.69	48.40±0.91	48.50	48.24	48.05	48.62
	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	48.40	48.67	49.41	51.30	49.44±1.31	48.84	50.33	49.33	49.36
	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	47.66	50.00	50.69	49.29	49.41±1.30	50.85	50.52	48.53	47.80
	短柄栎 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	47.64	49.28	48.92	48.01	48.46±0.77	50.25	48.86	48.10	47.74
	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	48.10	49.61	47.68	50.34	49.01±1.19	50.22	48.80	48.26	47.90
业乔木层 Subtree layer	平均 Mean	48.00	49.04	49.01	49.91	49.00±1.09	49.64	49.35	48.45	48.28
		±0.37	±0.92	±1.14	±1.22	±1.01*		±1.01	±0.52	±0.70
	青冈 <i>C. glauca</i>	47.25	47.82	48.35	49.03	48.11±0.76	47.86	48.09	48.05	48.07
	冬青 <i>Ilex purpurea</i>	47.61	47.75	47.99	48.36	47.93±0.33	47.60	19.33	45.81	48.17
	厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i>	48.23	47.46	49.22	49.17	48.53±0.84	49.26	48.35	48.63	47.88
藤本 layer	瑞木 <i>Loropetalum chinense</i>	47.08	48.85	48.59	48.00	48.13±0.79	46.94	46.86	46.39	47.27
	映山红 <i>Rhododendron simsii</i>	49.20	50.07	49.18	45.15	48.48±2.25	49.20	48.77	48.46	48.47
	平均 Mean	47.88	48.39	48.73	47.94	48.24±1.08	48.17	48.28	47.56	47.97
		±0.87	±1.08	±0.63	±1.63		±1.02	±0.92	±1.35	±0.45
	青冈 <i>C. glauca</i>	48.52 ^①	46.59 ^②	46.59 ^②	17.56±1.36	46.53	47.28	47.69	48.76	
下木层 Under-story	毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	48.31 ^①	48.06 ^②	48.18±0.17	48.18±0.17	47.79	49.65	17.19	48.11	
	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	52.53 ^①	47.63 ^②	50.08±3.47	47.91	47.91	48.59	52.14	19.67	
	短尾越桔 <i>Vaccinium carlesii</i>	49.29 ^①	48.27 ^②	48.78±0.72	48.51	48.51	49.11	49.13	48.37	
	紫金牛 <i>Ardisia japonica</i>	46.36 ^①	45.77 ^②	46.06±0.41	44.61	44.61	45.60	45.57	48.46	
	平均 Mean	49.00±2.25 ^①	47.26±1.06 ^②	48.13±1.89	47.07±1.55	47.07±1.55	48.05±1.62	48.34±2.47	48.67±0.60	
草本层 Herb layer	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	44.94 ^①	46.38 ^②	45.66±1.02	44.79	44.79	41.36	45.88	47.62	
	苔草 <i>Carex</i> spp.	44.75 ^①	41.82 ^②	43.28±2.07	39.47	39.47	42.37	46.36	44.94	
	平均 Mean	44.85±1.04 ^①	44.10±3.22 ^②	44.47±1.91	42.13±3.76	42.13±3.76	43.37±1.41	46.12±0.35	46.28±1.89	
	藤本植物									
	香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i>	48.81	46.42	47.61±1.69	45.45	45.45	15.92	49.50	49.59	
藤本植物 Liana										

* ① 地上器官 Above-ground organs; ② 地下器官 Below-ground organs.

表 2 群落中碳素现存量与存留量的分配(t/hm^2)

Table 2 Distribution of the standing crop and retention of carbon in the community

项目 Item	层次分配 Distribution of layers	器官分配 Distribution of organs	种类分配 Distribution of species
总现存量 Total standing crop 66.113	乔木层 Tree layer	根 Root	青冈 C. <i>glauca</i>
	60.228 (91.10%)	16.790 (25.41%)	29.845 (44.81%)
	亚乔木层 Sub-tree layer	树干 Trunk	常绿种 Evergreen
	3.782 (5.72%)	31.000 (46.89%)	54.980 (83.01%)
	下木层 Understory	枝 Branch	落叶种 Summer-
	1.587 (2.40%)	13.631 (19.71%)	11.233 (16.99%)
	草本层 Herb layer	叶 Leaf	green species
总存留量 Total retention 5.691	1.058 (1.6%)	4.165 (6.30%)	16.99%
	藤本 Liana (0.43%)		
	0.284 (0.43%)		
	乔木层 Tree layer	根 Root	青冈 C. <i>glauca</i>
	5.143 (90.37%)	1.358 (23.86%)	2.643 (46.45%)
	亚乔木层 Sub-tree layer	树干 Trunk	常绿种 Evergreen
	0.315 (5.53%)	0.986 (17.33%)	4.840 (85.04%)
Total retention 5.691	下木层 Understory	枝 Branch	落叶种 Summer-
	0.165 (2.90%)	1.445 (25.39%)	0.851 (14.96%)
	草本层 Herb layer	叶 Leaf	green species
	0.018 (0.31%)	1.610 (28.30%)	14.96%
	藤本 Liana (0.91%)		
	0.052 (0.91%)		

3.2.2 群落的碳素存留量及其分配特征 表 2 可见,群落的碳素存留量为 $5.691 \text{ t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。在层次和种类分配上,碳素存留量与现存量的分配规律基本类似,说明不同种类和层次对碳的积累基本上与其现存量即其对有机物质的储存程度呈正相关。对器官分配来说,叶的碳存留量的比例大幅度提高,而树干中碳存留量的比例大大下降。因为叶的寿命仅 $1 \sim 2 \text{ a}$,叶凋落前,很多的有机物将转移到以树干为主的贮藏器官中去^[11];相反,树干的寿命很长,每年经叶同化的碳素有相当一部分被输送到树干中,成为其现存量的一部分,从而产生了现存量与存留量器官分配的差异。

3.2.3 碳素年归还量和释放量 群落每年通过凋落物归还的碳素为 $2296 \text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ (表 3),并主要分配在枯叶和小枯枝这两个组分中(占 85%以上)。

表 4 显示:以枯叶中碳素的释放速率为最快,大枯枝的释放速率最慢。若以小枯枝的释放率代表果实和其它组分的释放率,则各组分共计每年释放碳素量 $911 \text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,占凋落时碳素量的 39.68%,即每年从群落归还至地表的碳素中有超过 1/3 的量被释放到大气中。凋落物中碳素的释放规律与总干物质的分解速度并不完全一致,含碳物质早期易被分解的是粗脂肪、可溶性糖和丹宁等,到后期主要是一些较难分解的木质素等有机物^[12]。

3.2.4 青冈林碳素动态 碳在生态系统中的循环是一个开放性的气体型循环,即由大气库→植物群落→动物、微生物、凋落物→大气库的循环过程。由于本文并未涉及次级生产者和消费者,由此用“动态”来描述这一现象比较合适。图 1 显示了青冈林的碳素动态过程。群落每年积累碳素 $5.691 \text{ t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,而年释放量为 $0.911 \text{ t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,这两部分为系统与大气库的交换量。另外,土壤和死地被物中分别储存了约 $252.569 \text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $4.696 \text{ t}/\text{hm}^2$ 的

有机碳, 其中的碳素有待于释放至大气中。

表 3 凋落物中碳的浓度和碳素量

Table 3 Concentration and amount of carbon in the litterfall

组分 Component	浓度 Concentration (%)	碳素量 Amount (kg/hm ² · a)
枯叶 Leaf	48.30	1574.48 (68.58%)
小枯枝 Fine branch	47.88	381.43 (16.62%)
大枯枝 Larger branch	45.50	126.47 (5.51%)
果实 Fruit	49.76	119.39 (5.20%)
其它 Others*	46.65	93.95 (4.09%)
总计 Total		2295.72

* 其它指树皮、芽、芽鳞和花等, Including bark, bud, bud scale and flower etc..

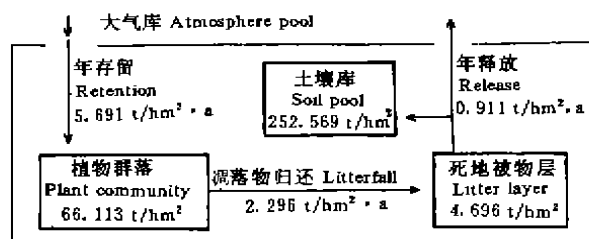


图 1 青冈林生态系统碳素的动态流程图

Fig. 1 Dynamics of carbon in the ecosystem

表 4 凋落物分解过程中碳素释放动态

Table 4 Release dynamics of carbon in the course of litterfall decomposition

时间(a) Time	枯叶 C	Leaf R(%)	小枯枝 C	Fine branch R(%)	大枯枝 C	Larger branch R(%)
0	49.24	0.00	48.66	0.00	49.41	0.00
1/6	48.96	7.73	48.23	4.54		
1/3	48.99	13.22	48.67	7.79	49.18	7.50
1/2	46.55	26.88	48.32	14.20		
2/3	47.89	32.98	48.82	19.74	47.78	20.35
1	48.53	46.14	49.43	30.72	48.55	32.62
4/3	45.57	53.77	47.23	38.20		
5/3	42.44	72.40	46.67	50.71	48.88	46.91
2	39.25	86.61	42.82	64.65	43.73	59.36

C: 浓度, Concentration. R: 释放率 Release rate.

4 结论

4.1 在青冈林群落中, 碳素含量出现了乔木层>亚乔木层>下木层>木质藤木>草本层的趋势, 在季节动态上各层次、种类和器官之间碳素含量变幅较小。

4.2 青冈林群落的碳素现存量 of 66.113 t/hm²; 存留量为 5.691 t/hm² · a, 占现存量的 8.6%。它们的分配方式与生物量密切相关。群落中碳素现存量和存留量主要集中在乔木层(分别占 91%和 90%)或常绿树种(分别占 83%和 85%)中, 这也是常绿阔叶树种在群落中占绝对优势地位的基础之一。

4.3 每年通过凋落物归还至地表的碳素量为 2.296 t/hm² · a, 占年存留量的 40.34%。每年从地表死地被物中释放至大气中的碳素含量为 0.911 t/hm² · a, 约占植物群落积累碳素量的 16%。

参 考 文 献

- 1 Olson J S. 碳素循环与热带森林. 植物生态学译丛(第一集). 北京: 科学出版社, 1974
- 2 Harris W F, *et al.* 温带落叶林生态系统中碳素流和生产力分析. 植物生态学译丛(第四集). 北京: 科学出版社, 1982, 135~143
- 3 陈灵芝等. 北京人工刺槐林的化学元素含量特征. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(4): 245~257
- 4 陈白增. 青冈林生产力研究. 杭州: 杭州大学出版社, 1993
- 5 佐藤大七郎. 陆地植物群落的物质生产. 葛绍基等译. 北京: 科学出版社, 1986
- 6 木村允. 陆地植物群落的生产量测定法. 姜恕等译. 北京: 科学出版社, 1981
- 7 Singh J S and Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Bot Rev*, 1977, 43: 443~527
- 8 Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological system. *Ecology*, 1963, 44: 322~331
- 9 冯宗炜等. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 245~255
- 10 陈楚莹等. 杉木火力楠混交林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. 生态学杂志, 1988, 7(4): 7~13
- 11 Whittaker R H. *Communities and ecosystems*. Macmillan Publ. Co., INC., New York, 1975
- 12 胡肄慧等. 油松和栓皮栎枯叶分解作用的研究. 植物学报, 1986, 28: 102~110
- 13 陈灵芝等. 北京人工侧柏林的化学元素含量特征. 植物学报, 1988, 30(5): 539~548