

浙江省常绿阔叶生态公益林生物量

刘其霞¹, 常 杰¹, 江 波², 袁位高², 戚连忠², 朱锦茹², 葛 滢^{1*}, 沈 琪³

(1. 浙江大学生命科学学院, 杭州 310029; 2. 浙江林业科学研究院, 杭州 310013; 3. 浙江教育学院生物系, 杭州 310012)

摘要:由解析木资料用维量分析法建立浙江省各地区样木的 D^2H 与地上生物量(B)的回归方程在浙江全省具有普适性。根据模型及样地调查结果发现 50 林龄前的浙江省常绿阔叶生态公益林群落生物量基本随林龄线性增加。与其他同区域的类似林型比较发现,常绿阔叶林在 80 林龄前群落生物量与林龄正相关,100a 后则增长十分缓慢。根据浙江省公益林大多为幼中龄林的现状,预测当前的常绿阔叶林生物量在未来 30a 中将呈线性增加。随着多幼中龄林的常绿阔叶生态公益林的发展成熟,我省森林将是一个潜在的巨大碳汇。与针阔混交生态公益林比较,常绿阔叶生态公益林生物量在 10~25a 阶段没有明显优势,到 25~50a 则明显高于针阔混交生态公益林。由此可见亚热带的地带性植被常绿阔叶林作为生态公益林在碳积累方面具有优势。常绿阔叶林作为高碳储量森林,将会是浙江省甚至整个亚热带东部地区的森林碳储量的主要贡献者。

关键词:生态公益林;常绿阔叶林;生物量;碳储量

文章编号:1000-0933(2005)09-2139-06 中图分类号:Q16,Q948 文献标识码:A

The biomass of the evergreen broad-leaved ecological public-welfare forests in Zhejiang, East China

LIU Qi-Xia¹, CHANG Jie¹, JIANG Bo², YUAN Wei-Gao², QI Lian-Zhong², ZHU Jin-Ru², GE Ying^{1*}, SHEN Qi³

(1. Zhejiang University, College of Life Science, Hangzhou 310012, China; 2. Zhejiang Institute of Forest Science, Hangzhou 310013, China; 3. Zhejiang Institute of Education, Hangzhou 310012, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2139~2144.

Abstract: Evergreen broad-leaved forest is vitally important for the stability of ecosystem and balanced biodiversity because of its complex structure, species abundance and significant effect on improving microclimate. We surveyed the biomass of evergreen broad-leaved ecological public-welfare forests in Zhejiang Province based on five regression models, up to 61.48 t/hm² in 10~25a forests and 145.88 t/hm² in 26~50a forests, with tendency of linear increase within 50 years. Species-specific aboveground biomass regression models were developed for the four most common species and the non-species-specific aboveground biomass regression models for other 34 less common species. Both types were derived from dimension analysis on sample trees and suited for the following biomass calculation. Compared with the tree-layer biomass with other similar studied on the evergreen broad-leaved forest in Eastern China, the tree-layer biomass was positively relative to the forest age under 80 a while the increase in total biomass slowed down greatly in 100 years. Different vertical-biomass-allocation was found under different age classes. The higher biomass allocation in tree layer was found in older forest and was more important in total biomass structure. Comparing to the coniferous mixed broad-leaved forest, the evergreen broad-leaved forest had no net gain in biomass at 10~25 years old, while better at 26~50 years old. Our results indicating that the evergreen broad-leaved forest had greater carbon storage than coniferous mixed broad-leaved forest. Since most studied on the evergreen broad-leaved forests were relatively young, we predicted that in the coming 30 years the biomass will increase with time. With the maturation of

基金项目:浙江省科技厅重大资助项目(021102541);浙江省自然科学基金资助项目(M303055)

收稿日期:2004-07-30; **修订日期:**2005-02-05

作者简介:刘其霞(1980~),女,浙江省人,硕士生,主要从事植物生态学. E-mail:shawlyn@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail:geying@hzncnc.com

Foundation item: Science and Technology Department of Zhejiang Province(No. 021102541); Natural Science Foundation of Zhejiang Province(No. M303055)

Received date: 2004-07-30; **Accepted date:** 2005-02-05

Biography: LIU Qi-Xia, Master candidate, mainly engaged in plant ecology. E-mail:shawlyn@sohu.com

these juvenile forests, there will be a net gain in carbon in Zhejiang Province. We estimated that the broad-leaved ecological public-welfare forest in Zhejiang Province will increase $92.63 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ of carbon storage from 1.75 t/hm^2 under 10a, 30.74 t/hm^2 at 10~25a and 72.94 t/hm^2 at 26~50a to 165.57 t/hm^2 linearly in future 30 years. Being one kind of the first-rank forests in carbon storage, the evergreen broad-leaved forest in Zhejiang Province will play an important role in carbon cycle; and similar for forests in the eastern subtropics of China.

Key words: ecological public-welfare forests; evergreen broad-leaved forest; biomass; carbon storage

森林生态系统在维护区域生态环境和全球碳平衡方面均起着及其重要的作用^[1~4]。尤其是近几年来,“CO₂ 失汇(missing sink)”引起众多学者的高度关注;北半球森林生态系统是 CO₂ 失汇的主要分布地^[5~7]。我国目前和未来几十年中,通过实施建设天然林保护工程、生态公益林等森林管理手段以实现森林生态系统的最佳生态效益,即森林生态系统在生物量、生物多样性和环境等多方面的生态效益^[8, 9],进而实现更好的社会效益。毫无疑问,这些措施将有利于我国森林生态系统碳储量的提高^[1, 10, 11]。

浙江省目前有 5 个生态公益林建设区,森林覆盖率(有林地和灌木林地面积占全省土地总面积的百分数)达 59.4%,但是浙江省生态公益林针叶林比重大(约占森林面积的 85%);幼中龄林比重大(约占生态公益林林分面积的 85.0%);郁闭度低(郁闭度 ≤ 0.4 的生态公益林约占公益林林分面积的 1/3)。

浙江省位于亚热带常绿阔叶林区域,常绿阔叶林因其复杂的结构、丰富的物种、显著的小气候改善能力而成为维护亚热带地区生态平衡的重要植被^[12]。常绿阔叶林的迅速恢复和重建已成为浙江省和整个亚热带地区碳储量提高、环境治理和生物多样性保护和维持的关键措施之一。但是,目前常绿阔叶林的生态效益如何?在未来一段时间内林龄的变化对常绿阔叶生态公益林生态效益有何影响?本文拟通过对浙江省生态公益林中不同林龄的常绿阔叶林生物量现状的研究及与针阔混交林生物量的比较研究,分析浙江省常绿阔叶生态公益林在生态效益尤其是碳积累方面的贡献及未来几年的发展趋势。

1 研究地区自然概况和研究方法

浙江省(27°12'~31°31'N, 118°01'~123°10'E)东西宽与南北长相仿,约 450 km。全省以分割破碎的低山和丘陵为主,西南部略高,平均海拔 800 m。气候四季分明,降水丰富,光照充足,植被属于亚热带常绿阔叶林区域-东部(湿润)常绿阔叶林亚区域-中亚热带常绿阔叶林地带。省内有多种植被类型:针叶林、针阔混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、竹林。常绿阔叶林为浙江省的地带性植被,其组成种类以壳斗科(*Fagaceae*)、樟科(*Lauraceae*)、山茶科(*Theaceae*)、木兰科(*Magnoliaceae*)的常绿树种为主,上层优势种多为青冈属(*Cyclobalanopsis*)、栲属(*Castanopsis*)和石栎属(*Lithocarpus*)^[13, 14]。研究的常绿阔叶林样地乔木层中占优势的科是壳斗科、山茶科、樟科、杜鹃花科(*Ericaceae*)、冬青科(*Aquifoliaceae*)、桃金娘科(*Myrtaceae*)等;壳斗科中尤以栲属、青冈属居多。部分落叶树种如枫香(*Liquidambar formosana*)、白栎(*Quercus fabri*)、拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*)以及少数马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柏木(*Cupressus funebris*)等混生其中。

从 1999 年开始,在全省选择 21 个具有代表性的县,在每个县中选取有常绿阔叶林典型林型的生态公益林区域设立样地 26 个,面积 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$,林龄在 10a 到 50a 之间,进行每木调查,调查项目包括乔木树种、胸径、树高;常绿次生灌木样地 22 个,面积为 $36 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,记录株高、株(丛)数。在上述每个样地中设 2 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的草本样方,调查草本植物平均高度,并称其鲜重、干重。

在全省 18 个县的 62 个样地中共伐得 100 株乔木样木作解析木,包括 39 种常绿阔叶乔木(4 个主要优势树种每种 6~17 株,主要伴生树种每种 2~4 株)。按 2 m 为一层将树干断开,称各段树干、侧枝、叶、花、果实的总鲜重;之后从各组分中取部分样品称鲜重和烘干重,计算含水率。整株树的地上生物量包括树干干重,树枝干重,叶干重和花、果干重等用含水率和总鲜重求算。

由解析木资料用维量分析法建立回归方程^[14~16]。群落中每木生物量由调查所得植株胸径、树高根据相应树种的回归方程计算而得。群落生物量包括群落中乔木层、下木层和草本层的生物量,其中群落中乔木层、下木层生物量通过每木生物量累加计算,草本层生物量通过收获法称干重直接获得。

将常绿阔叶林划分成 3 个年龄段:常绿树幼苗阶段(表现为混生灌木);10~25a;26~50a。

2 结果与分析

2.1 浙江省常绿阔叶树种普适生长模型的构建

由解析木资料用维量分析法分别做浙江省各地区样木的树高(H)、胸径(D)和 D^2H 与生物量(B)的回归方程,结果发现 D^2H 与生物量的相关性最佳。其中 4 个主要树种,青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、木荷(*Schima superba*)、枫香可得出单种的回归方程,其他 34 个常绿伴生树种由于解析木偏少而将其归为一类求回归方程(表 1)。5 个异速生长模型的相关系数(R^2)均达到极显著水平($p < 0.01$)。利用陈启瑞^[15]在浙江省建德县的青冈乔木和常绿伴生乔木地上生物量

模型检验上述模型(图 1)。检验发现 5 个模型与陈启瑞模型均没有显著差异(青冈, $p=0.67$; 苦槠, $p=0.53$; 木荷, $p=0.24$; 枫香, $p=0.39$; 其他树种, $p=0.58$; 均用双尾检验)。这说明本研究的模型在浙江省具有普适性。

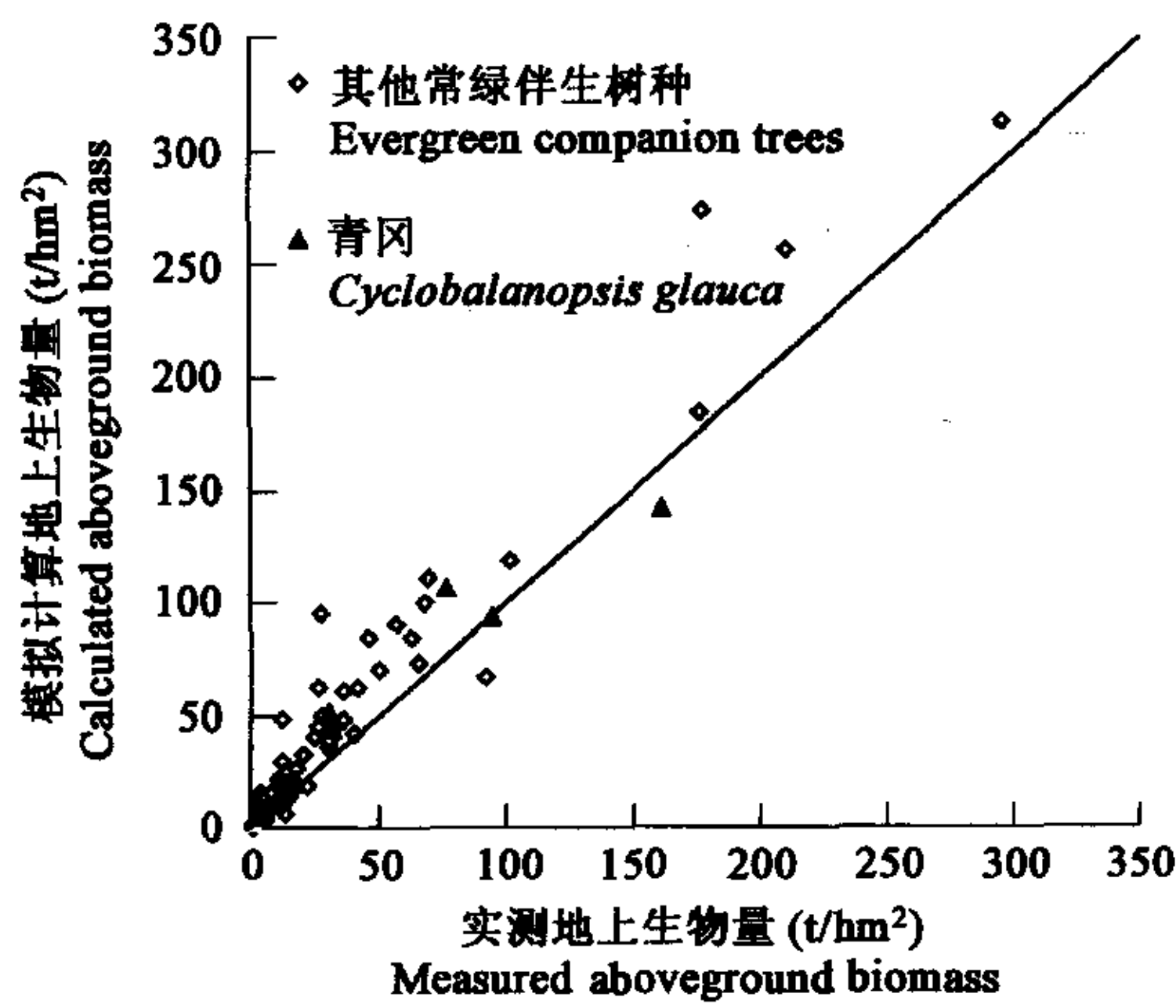


图 1 本研究的浙江省生态公益林常绿阔叶树种地上生物量实测值与陈启瑞^[15]常绿阔叶树种地上生物量模型模拟值的比较
Fig. 1 Comparison of the aboveground mass of the evergreen broad-leaved trees measured in present study and simulated from the models of Chen^[15]

表 1 浙江省常绿阔叶生态公益林树种地上生物量与 D^2H 回归模型
Table 1 Regression models between the aboveground mass and D^2H of the main tree species in the evergreen broad-leaved forest in Zhejiang, China

树种 Species of tree	回归模型系数 Coefficient of models		R^2	n
	a	b		
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	60.143	0.9274	0.9608**	12
木荷 <i>Schima superba</i>	71.029	0.9117	0.9629**	17
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	85.421	0.9108	0.9291**	13
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	34.514	1.0037	0.9549**	10
其他 Other 34 tree species	94.594	0.8666	0.9053**	52

模型采用 $B=a(D^2H)^b$ 形式, B 为地上生物量, D 为胸径, H 为树高 Model in form of $B=a(D^2H)^b$, where B is the aboveground mass, D is diameter in breast height, H is tree total height; ** $p<0.01$

2.2 浙江省常绿阔叶生态公益林生物量增长趋势

在 50 年林龄前,浙江省常绿阔叶生态公益林的群落生物量与群落年龄正相关($R^2=0.558, n=26$)(图 2)。

根据冯宗炜等人所采用的中国森林生态系统的分类和区划方法,比较了浙江省生态公益林和中国亚热带东部常绿阔叶林生物量间的差异。由于其它报道多为乔木层生物量数据^[14, 15, 17],对本研究乔木层生物量研究结果与相近地区其他研究结果比较。发现不同研究结果间同林龄群落的乔木层生物量有很好的一致性。从图 3 分析,林龄 100a 后乔木层生物量随年龄增长速度减慢(图 3)。

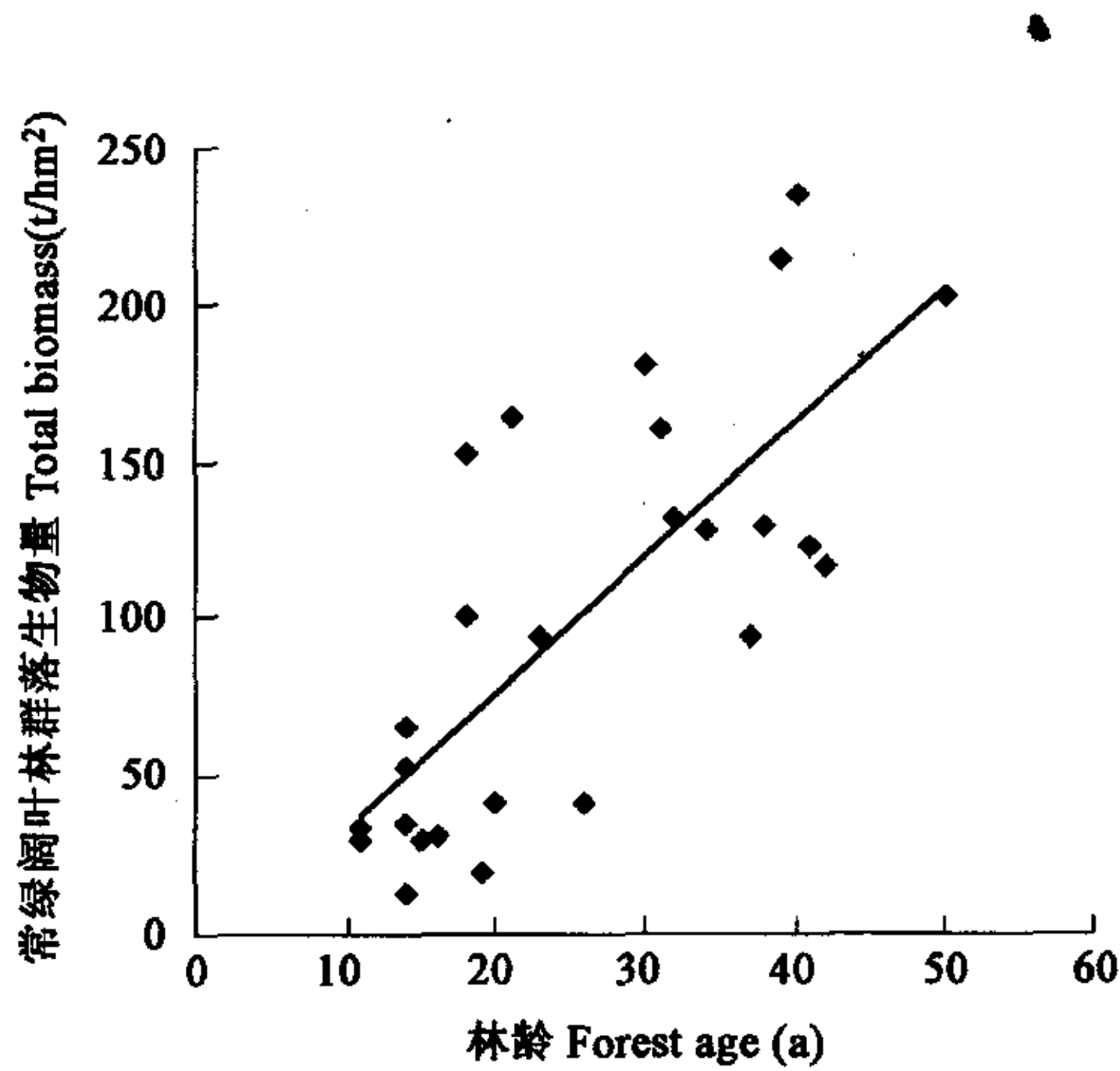


图 2 浙江省常绿阔叶生态公益林群落生物量与年龄关系
Fig. 2 Relationship between biomass and age of the community in the evergreen broad-leaved forest, Zhejiang, China

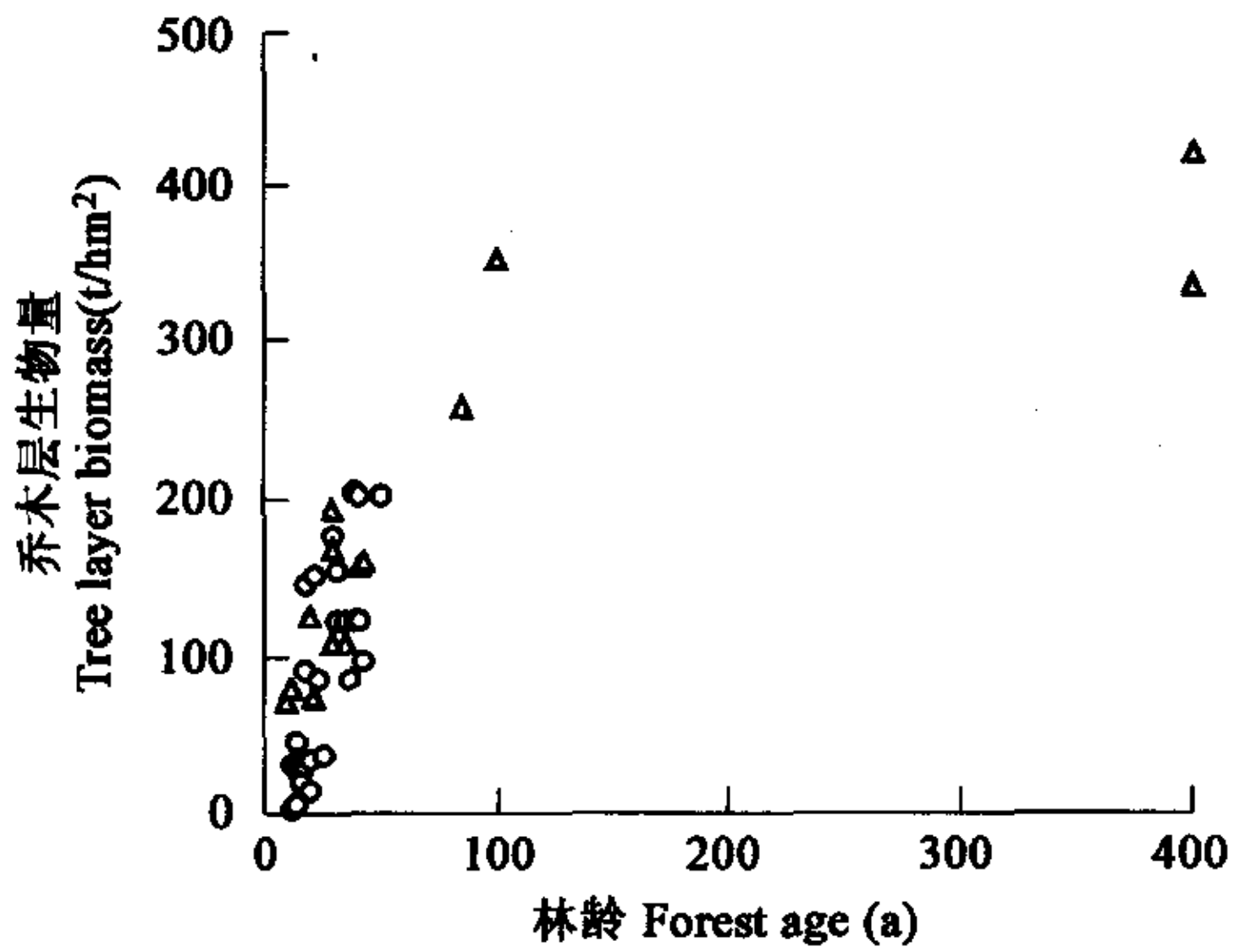


图 3 浙江省常绿阔叶生态公益林(○)和中国亚热带东部常绿阔叶林代表林型(△)乔木层生物量与年龄的关系
Fig. 3 Relationship between the biomass of tree layer and stand age for the ecological public-welfare forests in Zhejiang (○) and the typical subtropical evergreen broad-leaved forest in east China (△)

2.3 浙江省生态公益林中常绿阔叶林群落生物量的时空格局

进一步将常绿阔叶林分 3 个年龄段分别探讨群落生物量的垂直分布格局,发现常绿林在 10 年龄前的幼龄林基本没有乔木层,处在幼树-灌丛阶段,生物量的增加主要是由乔木幼苗、其他灌木树种和草本层中植物的生长而引起的。至年龄段 2(10~

25a),群落中乔木层已经形成,乔木层生物量占群落生物量的 82.01%,下木层生物量占群落生物量的 14.61%。到年龄段 3(26~50a),乔木层生物量占群落生物量的 93.78%。

为说明常绿阔叶生态公益林在群落生物量积累和群落生物量时空格局上的特点,对常绿阔叶生态公益林和针阔混交林做了比较(表 2)。针阔混交林的群落生物量、乔木层生物量、草本层生物量、下木层生物量表现出与常绿阔叶林相类似的特征:均随着群落林分年龄的增加而增长。在年龄段 2(10~25a)和年龄段 3(26~50a),乔木层中常绿树种的生物量分别占乔木层生物量的 36.78%和 51.16%。

比较常绿阔叶林和针阔混交林在两个年龄段(10~25a 与 26~50a)群落生物量间的差异和群落生物量的层间分配情况发现,在年龄段 2 时,生态公益林的这两种群落类型无论是在群落生物量方面还是在群落生物量的层间分配方面都没有显著差异(群落生物量 $p=0.32$;乔木层生物量 $p=0.33$;灌木层生物量 $p=0.15$);针阔混交林的草本层生物量高于常绿阔叶林的草本层生物量(约高 29.9%),而常绿阔叶林的下木层、乔木层、群落生物量均略高于常绿针阔混交林的下木层、乔木层、群落生物量(分别约为 6.36%,9.76%,7.59%)。但是,随着群落的发展,针阔混交林乔木层生物量的增加不及常绿阔叶林乔木层生物量增加明显,直接表现为针阔混交林的群落生物量远远低于常绿阔叶林群落总生物量(常绿阔叶林群落生物量,针阔混交林群落生物量, $p=0.002$;常绿阔叶林乔木层生物量,针阔混交林乔木层生物量, $p=0.002$;常绿阔叶林灌木层生物量,针阔混交林灌木层生物量, $p=0.35$)。

表 2 浙江省生态公益林中常绿阔叶林与针阔混交林生物量时空格局

Table 2 Temporal and spatial patterns of biomass in the evergreen broadleaved forest and coniferous mixed broad-leaved forest in Zhejiang, China

年龄级 Age class	群落类型 Forest type	生物量 Biomass(t/hm ²)				各层次生物量占群落生物量比例 Ratio in total(%)		
		草本层 Herb layer	下木层 Understory layer	乔木层 Tree layer	群落 Total	草本层 Herb layer	下木层 Understory layer	乔木层 Tree layer
灌丛阶段 Shrub(<10a)	A	0.32(0.12)	3.19 (2.54)	0	3.49(2.67)	9.12	90.88	0
	B	1.31(1.08)	4.36 (2.59)	0	5.67(5.04)	23.11	76.89	0
10~25a	A	2.08(0.98)	8.98 (6.32)	50.42(48.61)	61.48(48.29)	3.38	14.61	82.01
	B	3.15(2.93)	6.91 (2.71)	40.96(32.77)	51.02(36.59)	6.14	13.54	80.28
26~50a	A	5.24(2.61)	3.83 (2.66)	136.81(51.76)	145.88(54.85)	3.59	2.63	93.78
	B	4.94(6.11)	3.47 (2.36)	70.46(38.71)	76.91(38.67)	6.42	4.51	91.61

A 为常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest;B 为针阔混交林 Coniferous mixed broad-leaved forest;括号中数值为标准差 Digits in parentheses are S. D.

2.4 浙江省常绿阔叶生态公益林年龄特征

用所有的调查样木(胸径范围 3.0~42.7 cm)作径级分布分析(图 4),发现 $3\text{ cm}<D<6.0\text{ cm}$,小径级乔木占有绝对优势。随胸径增加,立木株数减少, $30.0\text{ cm}<D$ 大径级乔木几乎没有分布。这种分布可以用指数方程很好的拟合:

$$y = 3183.9e^{-0.5985D} \quad R^2 = 0.9872$$

式中,y 是立木株数,D 是胸径(取径级中值)。

这种直径频度分布的指数关系说明浙江省生态公益林乔木层植株的个体大小在空间上的分布是均匀的、连续的。从直径分布现状分析,浙江省常绿阔叶林林龄普遍较小,而且具有更新潜能的小径级立木较丰富。可以说,浙江省森林偏幼中林,处于恢复的早期阶段。

小径级树木($3.0\text{ cm}<D<15\text{ cm}$)年龄大多低于 30a,根据群落生物量与群落年龄的正相关关系,可预测在未来 30a 中,大部分常绿阔叶生态公益林的群落生物量将呈线性增加,增加幅度约为目前常绿阔叶生态公益林的 1.26 倍,达到 332.73 t/hm²。

2.5 浙江省常绿阔叶生态公益林碳储量

对于各年龄级的常绿阔叶林,均以群落生物量乘以碳含量 0.5^[2]计算得到碳储量(表 3)。浙江省针阔混交生态公益林在灌丛、10~25a、26~50a 等 3 个年龄级的碳储量分别为 2.84、25.51、38.46 t/hm²,呈对数增长形式;而常绿阔叶生态公益林 3 个年龄级的碳储量分别为 1.75、30.74、72.94 t/hm²,几乎呈直线增长形式。由此可见,随着群落发育,常绿阔叶林作为碳汇的作用远大于针阔混交林。目前以幼-中林为主的浙江省常绿阔叶生态公益林在未来 30a 中碳储量可达到 165.57 t/hm²,并且随着林分成熟,碳储量还会大大增加,浙江省森林将是一个潜在的巨大碳汇。

3 讨论

本研究表明浙江地区树木地上生物量与树木年龄之间相关不好,而采用 D^2H 推算植株地上生物量更合适。这是因为不同树种及同一树种的不同植株生长环境差异会影响植株生物量的年增量^[16]。尽管单株地上生物量与树木年龄之间相关不好,但

群落生物量与年龄则具有较好的相关,说明群落层次具有对其子系统的整合作用^[18]。这个结果也说明,在群落尺度上,整个浙江省范围内常绿阔叶林生长的环境具有一致性。

由于有关常绿林的研究报道多为乔木层生物量数据,所以本研究只将乔木层生物量与相近地区其他研究的结果比较^[14]。发现常绿林乔木层生物量在 80a 前基本为线性增长,以后乔木层生物量随年龄增长速度减慢,100a 后缓慢增长。本研究及其它研究均表明,在典型常绿阔叶林中,乔木层生物量在群落生物量中的比例与群落林龄关系不大,始终占群落生物量的 80.2%~98.8%^[14],所以可以说常绿林乔木层生物量与群落总生物量具有类似的趋势。

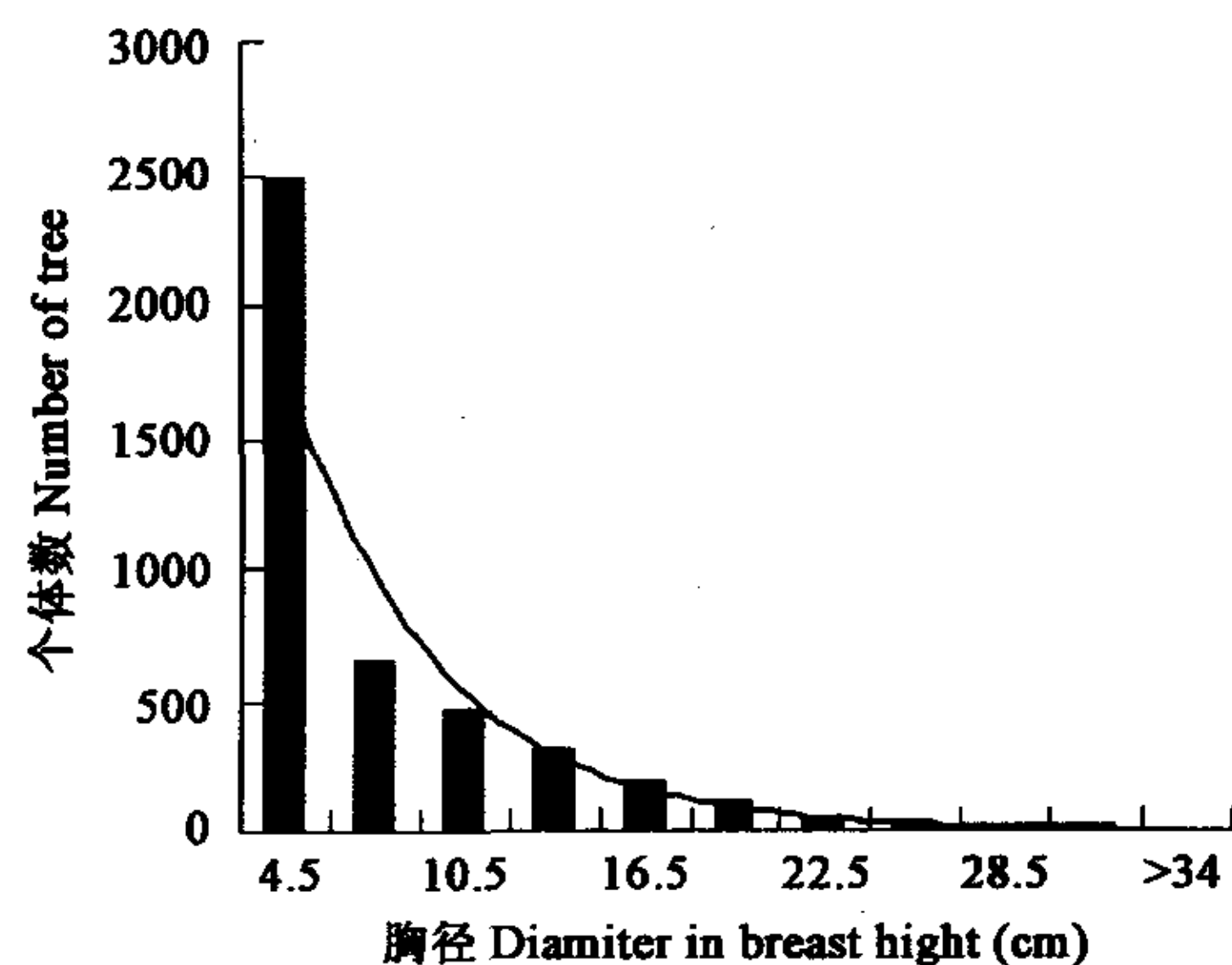


图 4 浙江省生态公益林常绿阔叶林调查样地乔木胸径频度分布

Fig. 4 Frequency distribution of trees in the evergreen broad-leaved ecological public-welfare forests in Zhejiang, China

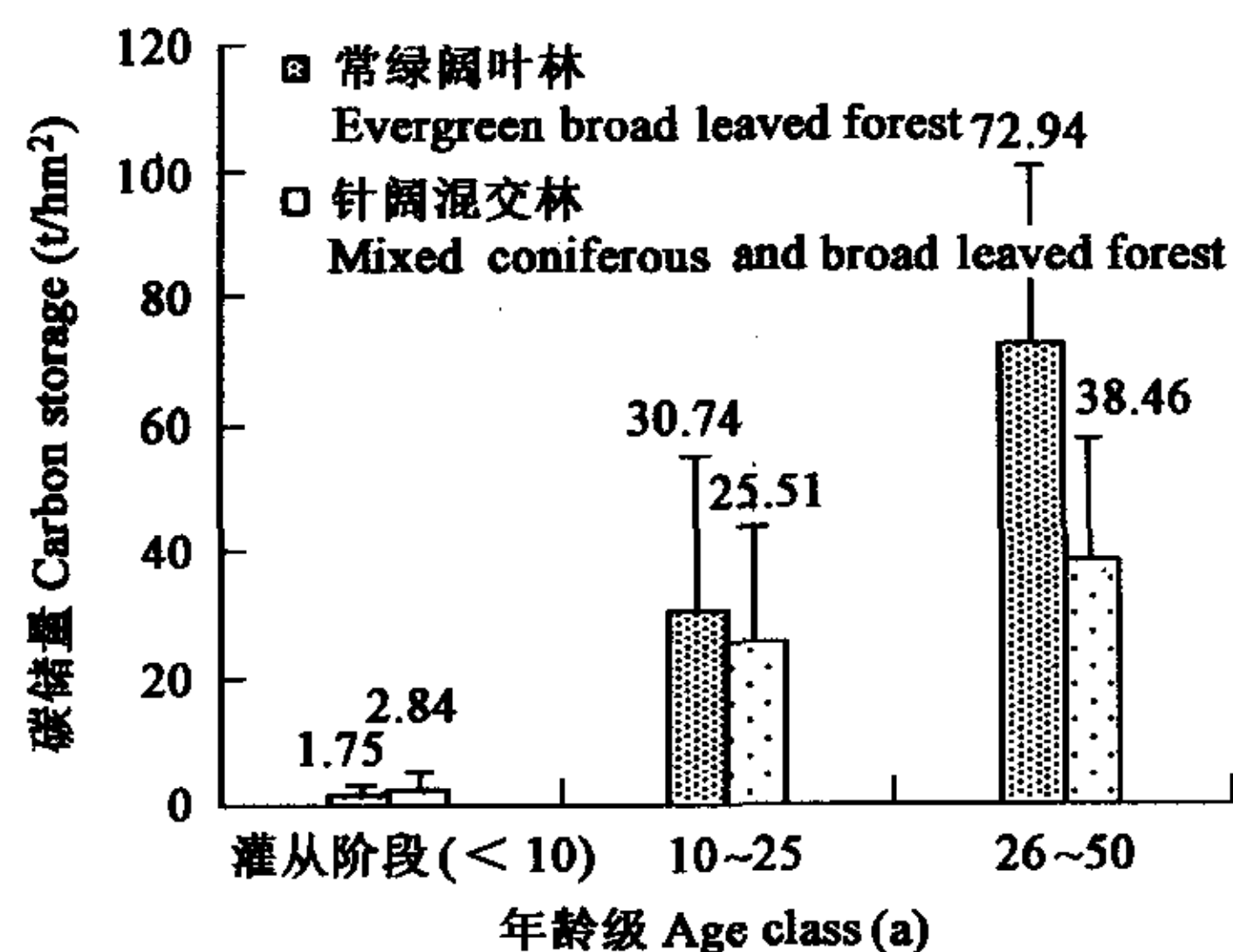


图 5 浙江省生态公益林常绿阔叶林和针阔混交林各年龄级碳储量

Fig. 5 Carbon storage of the three age-classes in evergreen broad-leaved forest and coniferous mixed broad-leaved forest, Zhejiang, China

浙江省生态公益林常绿阔叶林乔木层生物量最大值接近中国亚热带东部成熟常绿阔叶林乔木层生物量的一半。这与浙江省森林所处的恢复阶段有关:建国前浙江省除浙南、浙西山区尚有较多森林外,山林遭严重破坏;建国后虽进行了大规模的护林、造林、封山育林工作,但 20 世纪 80 年代前后采伐消耗亦增长,因而林龄普遍较小。这也从调查样木的胸径分布中反映出来,因为森林生态系统中乔木层植株的胸径分布是反映群落稳定状态的重要指标^[20]。然而从另一个角度看,幼龄林-中龄林生长快,可以说浙江省常绿阔叶生态公益林正处于快速碳积累阶段。

森林碳动态在很大程度上取决于其年龄级的变化。由于幼中龄林的碳密度远远低于成熟林的碳密度^[2],且浙江省划定为生态公益林的常绿阔叶林多偏幼,因而浙江省常绿阔叶生态公益林作为碳汇的作用正不断增强。在未来的 30a 中,可增加 92.63 t/hm²。常绿阔叶林作为高碳储量森林,将会是浙江省甚至整个亚热带东部地区的森林碳储量的主要贡献者。

References:

- [1] Fang Y T, Mo J M, Peng S L. Role of forest succession on carbon sequestration of forest ecosystems in lower subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(9):1685~1694.
- [2] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Botanica Sinica*, 2000, **20**(5):733~740.
- [3] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science*, 1994, **263**:185~190.
- [4] Brown S L, Schroeder P, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forest of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 1999, **123**:81~90.
- [5] Tans P P, Fung I Y, Takahashi T. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*, 1990, **247**:1431~1438.
- [6] Keeling R F, Piper S C, Heimann M. Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration. *Nature*, 1996, **381**:218~221.
- [7] Tian H Q, Jerry M M, Kicklighter D W, et al. Regional carbon dynamics in monsoon Asia and its implications for the global carbon cycle. *Global and Planetary Change*, 2003, **37**.
- [8] Zhou G Y, Yan J H. *Theories and practice of compensation for ecological forests*. Beijing: China Meteorological Press, 2000.
- [9] Fang Q. Study on productivity and ecologic benefits of young growth Chinese Fir in different densities. *Scientia Sive Sinicae*, 2000, **36**(1):28~35.
- [10] Zhang P C, Shao G F. China's Forest Policy for the 21st Century. *Science*, 2000, **288**:2135~2136.

- [11] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in china between 1949 and 1998. *Science*, 2001, **292**: 2320~2322.
- [12] Bao W K, Liu Z G, Liu C L, *et al.* Fifteen-year changes of tree layer in secondary *Castanopsis Iisschima* humided evergreen broad-leaved forest in central subtropics of western China. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(6): 702~709.
- [13] Wang J X, Yao J H, Niu R Y. *Zhejiang Vegetation*. China Forestry Press, 1984.
- [14] Feng Z W, Wang X K, Wu G. *Biomass and Productivity of forest ecosystem in China*. Beijing: Science Press, 1999. 6~7, 8~50, 99~115.
- [15] Chen Q C. *Primary productivity of an evergreen broadleaved forest ecosystem*. Hangzhou: Hangzhou University Press, 1992. 118~157.
- [16] Cairns M A, Olmsted I, Granados J, *et al.* Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 2003, **186**: 125~132.
- [17] Yu M J. Dynamics of an evergreen broad-leaved forest domainted by *Cyclobalanopsis glauca* in southeast China. *Scientia Sivaie Sinicae*, 1999, **35**(6): 42~51.
- [18] Chang J, Ge Y. *Ecology*. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2001. 301~306.
- [19] Fang J Y, Chen A P. Dynamic forest biomass carbon Pools in China and Their Significance. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(9): 967~973.
- [20] Fang J Y, Li Y D, Zhu B, *et al.* Community structures and species richness in the montane rain forest of Jianfengling, Hainan Island, China. *Biodiversity Science*, 2004, **12**(1): 29~43.

参考文献:

- [1] 方运霆, 莫江明, 彭少麟, 等. 森林演替在南亚热带森林生态系统碳吸存中的作用. *生态学报*, 2003, **23**(9): 1685~1694.
- [2] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. *生态学报*, 2000, **20**(5): 733~740.
- [8] 周国逸, 闫俊华. 生态公益林补偿理论与实践. 北京: 气象出版社, 2000.
- [9] 方奇. 不同密度杉木幼林系统生产力和生态效益研究. *林业科学*, 2000, **36**(1): 28~35.
- [12] 包维楷, 刘照光, 刘朝禄, 等. 中亚热带湿性常绿阔叶次生林自然恢复 15 年来群落乔木层的动态变化. *植物生态学报*, 2000, **24**(6): 702~709.
- [13] 王景祥, 姚继衡, 牛瑞延. *浙江森林*. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [14] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力. 北京: 科学出版社, 1999. 6~7, 8~50, 99~115.
- [15] 陈启瑞. 青冈林生产力研究. 杭州: 杭州大学出版社, 1992. 118~157.
- [17] 于明坚. 青冈常绿阔叶林群落动态研究. *林业科学*, 1999, **35**(6): 42~51.
- [18] 常杰, 葛滢. *生态学*. 杭州: 浙江大学出版社, 2001. 301~306.
- [19] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义. *植物学报*, 2001, **43**(9): 967~973.
- [20] 方精云, 李意德, 朱彪, 等. 海南岛尖峰岭山地雨林的群落结构、物种多样性以及在世界雨林中的地位. *生物多样性*, 2004, **12**(1): 29~43.