

高精度保证下的浙江省森林植被生物量评估

季碧勇, 陶吉兴, 张国江, 杜群, 姚鸿文, 徐军

(浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 为准确评估浙江省森林植被生物量, 以 2009 年浙江省森林资源连续清查第一手野外调查数据为数据源, 以样地为评估基本单元, 采用单株生物量模型法(乔木, 毛竹 *Phyllostachys edulis*, 杂竹, 下木和灌木), 单位面积生物量模型法(草本)和单位面积生物量法(矮化乔木林、灌木经济林), 测算了样地水平的森林植被生物量。在此基础上, 运用系统抽样统计方法, 将样地水平微观数据转换到全省宏观尺度, 评估了全省总体的森林植被生物量, 提供了主要评估结果的估计精度和估计区间。结果显示: 2009 年, 浙江省森林植被总生物量为 $37\ 010.732 \times 10^4$ t。主要森林植被类型中, 乔木林群落为 $29\ 096.269 \times 10^4$ t, 竹林群落 $3\ 762.964 \times 10^4$ t, 灌木林群落 $1\ 747.953 \times 10^4$ t。在 $P < 0.05$ 的可靠性保证下, 森林植被总生物量估计精度为 96.64%, 估计区间为 $35\ 767.171 \times 10^4 \sim 38\ 254.293 \times 10^4$ t; 乔木林群落 95.58%, 估计区间为 $27\ 810.214 \times 10^4 \sim 30\ 382.324 \times 10^4$ t; 竹林群落 89.13%, 估计区间为 $3\ 353.930 \times 10^4 \sim 4\ 171.998 \times 10^4$ t; 灌木林群落 90.00%, 估计区间为 $1\ 573.158 \times 10^4 \sim 1\ 922.748 \times 10^4$ t。可见, 采用以上方法测算的浙江省各类森林植被生物量评估结果, 均有很高的精度保证和较好可信度。表 3 参 26

关键词: 森林测计学; 森林资源连续清查; 固定样地; 抽样; 精度保证; 单株生物量模型; 生物量
中图分类号: S750 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)03-0328-07

Zhejiang Province's forest vegetation biomass assessment for guaranteed accuracy

Ji Bi-yong, TAO Ji-xing, ZHANG Guo-jiang, DU Qun, YAO Hong-wen, XU Jun

(Center for Forest Resource Monitoring of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

Abstract: For an accurate assessment of forest biomass in Zhejiang Province, forest vegetation biomass was calculated at the plot level based on 2009 forest inventory data. Each plot was regarded as a basic unit with biomass calculated using the single tree biomass model and the biomass per unit area model with biomass per unit area methodology. Systematic sampling was utilized to estimate the overall provincial forest vegetation biomass with estimating accuracy and sampling range of assessment provided. Results for Zhejiang Province in 2009 showed a total forest vegetation biomass of $37\ 010.7 \times 10^4$ t. Within the major forest vegetation types, the arbor community was $29\ 096.3 \times 10^4$ t, the bamboo community was $3\ 763.0 \times 10^4$ t, and the shrub community was $1\ 748.0 \times 10^4$ t. Using a guaranteed reliability of $P < 0.05$, accuracy for total forest biomass was 96.64% with a sampling interval of $35\ 767.1 \times 10^4 - 38\ 254.3 \times 10^4$ t; accuracy for the arbor community was 95.58% with a sampling interval of $27\ 810.2 \times 10^4 - 30\ 382.3 \times 10^4$ t; accuracy for the bamboo forest community was 89.13% with a sampling interval of $3\ 353.9 \times 10^4 - 4\ 172.0 \times 10^4$ t; and accuracy for the shrub community was 90.00% with a sampling interval of $1\ 573.2 \times 10^4 - 1\ 922.7 \times 10^4$ t. Therefore, using these methods a high precision for forest vegetation biomass assessment was attained. [Ch, 3 tab. 26 ref.]

Key words: forest mensuration; continuous forest inventory; permanent sample; sampling; accuracy guarantee; single tree biomass model; biomass

以气候变暖为主要特征的全球气候变化问题, 已经成为国际社会日益关注的热点, 也是事关中国经

收稿日期: 2011-07-27; 修回日期: 2011-10-22

作者简介: 季碧勇, 工程师, 从事森林及生态状况监测与评估研究。E-mail: jby@zjfr.com

济社会可持续发展的重大问题。森林生物量是森林固碳能力的重要指标，也是评估区域森林碳平衡的重要参数^[1]。区域森林生态系统生物量估算已成为生态学和环境学研究的热点问题^[2-3]。目前，在省域等区域性森林生物量估计中，常用的数据源有森林资源清查数据^[3-4]、森林资源规划设计调查数据^[5]和遥感信息数据^[6]。基于森林资源清查数据的常用生物量测算方法有平均生物量法、生物量转换因子法、生物量换算因子连续函数法^[3-4,7]和生物量经验(回归)模型法^[8]，其中后 3 种方法为材积源生物量法。但是，不同方法测算的结果间存在很大差异^[1,9]，而且没有提供测算结果的估计精度和估计区间。另外，从评估过程看，没有将乔木、毛竹 *Phyllostachys edulis* 等主要测算对象细化至单株生物量。从评估对象看，很多研究不包含森林的林下植被(包括下木层、灌木层、草本层)生物量。近年来，有不少学者在积极探索建立适合国家、区域水平的通用性生物量模型^[10]。目前，已有很多专家学者建立了单株生物量模型，但是，当应用已建立的模型预测生物量时，有可能存在建立模型的样本采集区域与模型应用区域是否一致的问题，也就是模型的适用性问题^[8]，从而使区域特别是大尺度的生物量估计准确度受到影响。本研究根据 2010 年浙江省森林植被生物量评估研究成果^[11]，采用 2009 年森林资源连续清查第一手野外调查数据为数据源，构建了大中尺度生物量评估技术体系，测算了全省各类森林植被乔木层、下木层、灌木层、草本层的地上及地下生物量，并提供了评估结果的估计精度、估计区间等量化评价指标，以期探索建立区域森林植被生物量评估技术体系和提高区域森林植被生物量评估准确度提供技术参考。

1 研究区概况

浙江省地处中国东南沿海，长江三角洲南翼，陆域面积为 10.18 万 km²，具有温暖湿润的亚热带季风气候特征。境内地貌以低山、丘陵为主。根据《中国植被》区划的划分，森林植被属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。常绿阔叶林是浙江省的地带性植被。

浙江省森林资源连续清查体系于 1979 年始建。2009 年，开展了全省森林资源连续清查第 6 次复查，调查固定样地 4 252 个。固定样地间距为 4 km × 6 km，样地面积 0.08 hm²，为正方形，边长 28.28 m。

2 野外数据采集

包括样地调查、样木(竹)调查和样方调查 3 个方面。

2.1 样地调查

所有样地均通过全球定位系统(GPS)导航定位，样地调查因子共有 80 项，包括样地属性因子、立地因子、林分因子、生态因子和植被因子等。

2.2 样木(竹)调查

样地内胸径 ≥ 5.0 cm 的生长正常的乔木树种(含乔木经济树种)、乔木型灌木树种(指有明显主干、树高 5 m 以上的灌木)和胸径 ≥ 2.0 cm 的毛竹，均要每木(竹)检尺。样木记载因子包括样木号、立木类型、检尺类型、树种名称、胸径等，样竹还应登记毛竹竹龄。

2.3 样方调查

样方调查对象为下木、灌木、草本。样方一般设于样地西南角向西 3 m 处，形状为边长 2 m × 2 m 的正方形。调查样方所代表的植被类型原则上应与样地一致。如果不一致，则按西北角、东北角、东南角的顺序设置调查样方。样方调查内容包括：下木(胸径 < 5 cm，高度 ≥ 2 m 的乔木幼树)的树种名称、高度、胸径；灌木(灌木树种及高度 < 2 m 的乔木幼树)的主要种名称、株数、平均高、平均地径、盖度；草本的主要种名称、平均高、盖度。

3 评估基础数据

评估使用的主要基础数据：①用于测算乔木单株生物量的 22.0 万余株样木调查数据；②用于测算毛竹单株生物量的 6.0 万余株毛竹调查数据和用于测算杂竹生物量的 7.9 万余株杂竹调查数据；③用于分析各类森林植被生物量属性的 4 252 个样地调查数据；④用于测算灌木林、林下植被生物量的 2 759 个样方调查数据，包括 3 400 余组下木、8 400 余组灌木和 3 200 余组草本实测资料；⑤用于拟合乔木、毛竹冠长模型和竹高模型的来自固定样地的 6 000 余组胸径、竹(树)高、冠长成对值实测数据。

4 评估方法

生物量测算按照“样木(方)→样地→总体”的技术路线。首先,以样地为评估基本单元,采用单株生物量模型法、单位面积生物量模型法和单位面积生物量法,分别植被类型测算样地水平的森林植被生物量。在此基础上,采用系统抽样统计方法,将样地水平的生物量测算结果转换到全省宏观尺度,评估全省总体的各类森林植被生物量及估计区间。

4.1 样地生物量测算

本次森林植被生物量评估对象既包括森林植被地上部分,也包括地下部分;既包括森林乔木层(竹林称为“优势层”),也包括下木层、灌木层和草本层。

浙江省已经开展过生物量模型的相关研究^[12-19]。其中浙江省林业科学研究院已在全省范围内的重点公益林区域,构建了松类、杉类、硬阔(I)、硬阔(II)、软阔、毛竹、杂竹、灌木(下木)、草本共9组主要树种(组)的相容性生物量模型^[12-14]。由于建模样本均来自浙江省内各地,模型具有较好适用性。此外,从乔木林质量看,全省平均蓄积为 $52.87 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,其中公益林为 $53.79 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,商品林为 $52.11 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,两者差异不大。因此,模型在浙江省内具有较好适用性和通用性,可用于全省范围的森林植被生物量估算。

松类、杉类、硬阔(I)、硬阔(II)、软阔、毛竹的相容性生物量模型中,采用胸径、树(竹)高、冠长为自变量测算单株生物量。而森林资源连续清查中,样木胸径均进行每木检尺,但树(竹)高、冠长调查采用的方法是选取3~5株平均胸径的样木(竹)进行测量,测量均值代表样地的平均树(竹)高和冠长。由于树(竹)高、冠长未进行每木(竹)调查,因此,为评估单株样木(竹)的生物量,还需建立树(竹)高和冠长回归模型。

4.1.1 林下植被生物量 林下植被是指乔木林、竹林中除乔木层(优势层)外的下木、灌木、草本。林下植被生物量测算,是以样方调查结果为基础数据,下木层、灌木层采用单株生物量模型法测算,草本层采用单位面积生物量模型法测算。将测算的下木层、灌木层、草本层生物量乘以面积扩大系数,即为该样地林下植被生物量。

4.1.2 一般乔木林 在研建树高和冠长回归模型的基础上,乔木层采用单株生物量模型法测算。样地内乔木层各单株乔木生物量累加值与林下植被生物量之和,即为该样地生物量。跨角林样地的乔木层生物量,根据跨角林样地调查记载的林种、起源、树种、龄组等,在统计汇总时归并到与之对应属性的一般乔木林中。冠长回归模型以样地实测资料为建模样本,分5个建模单元,采用非线性加权回归法进行参数估计^[20],各建模单元冠长模型及拟合参数见表1。浙江省在编制一元立木材积表时,已分别地理区域和树种组建立了胸径-树高模型^[21],并已经过多年实践检验。因此,评估时直接引用其建模结果,不再独立研建树高模型。

表1 各树种组冠长回归模型

Table 1 Crown length models of tree species groups in Zhejiang

树种(组)	模型	c_0	c_1	c_2
松类	$L=c_0H^{c_1}$	0.908 2	0.741 3	
杉类	$L=c_0D^{c_1}H^{c_2}$	0.487 0	0.170 7	0.897 1
硬阔	$L=c_0H^{c_1}e^{c_2H}$	0.631 6	1.180 1	-0.051 1
软阔	$L=c_0H^{c_1}e^{c_2H}$	0.441 3	1.377 0	-0.060 3
乔木经济树种	$L=c_0H^{c_1}e^{c_2H}$	0.618 9	1.204 8	-0.038 2

说明: L 为冠长, D 为胸径, H 为树高, c 为参数。

4.1.3 矮化乔木林 指因人工栽培而矮化的乔木经济林。乔木层采用单位面积生物量法,根据样地调查与测算结果,参考有关文献^[22-23],确定以 $20.42 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作为平均单位面积生物量。各样地单位面积生物量,根据平均单位面积生物量乘以各样地的植被状况系数计算得到。样地植被状况系数为:

$$K=0.3\frac{D_i}{D}+0.3\frac{h_i}{h}+0.4\frac{G_i}{G} \quad (1)$$

式(1)中： D_i, h_i, G_i 为某矮化乔木林样地的胸径、树高、郁闭度， $\bar{D}, \bar{h}, \bar{G}$ 为全省矮化乔木林样地的平均胸径、平均树高、平均郁闭度。测算的各样地乔木层单位面积生物量乘以样地面积(0.08 hm²)之积，再与林下植被生物量相加，就是该样地生物量。

4.1.4 毛竹林 优势层采用单株生物量模型法测算。生物量测算所需的冠长和竹高回归模型，以野外调查样地实测资料为建模样本，采用非线性加权回归法进行参数估计^[20]，模型及参数见表 2。样地内优势层单株毛竹生物量累加值与林下植被生物量之和，即为样地生物量。

表 2 毛竹冠长模型与竹高模型

Table 2 Height and crown length model of bamboo in Zhejiang

类型	模型	c_0	c_1	c_2
冠长模型	$L=c_0H^{c_1}e^{c_2H}$	0.705 6	1.174 8	-0.060 1
竹高模型	$H=c_0+\frac{c_1}{D+c_2}$	24.157 0	-233.809 9	8.434 3

说明： L 为冠长， D 为胸径， H 为竹高， c 为参数。

4.1.5 杂竹林 优势层采用单株生物量模型法测算。具体为：以样地调查的杂竹平均胸径和平均高作为自变量，利用杂竹单株生物量模型，测算得到样地水平的单株杂竹平均生物量。根据测算的单株杂竹平均生物量，乘以样地杂竹总株数，再加上林下植被生物量，得到该样地生物量。

4.1.6 一般灌木林 以样方调查资料为基础数据，下木、灌木采用单株生物量模型法测算，草本层采用单位面积生物量模型法测算。样地生物量计算方法，与林下植被生物量相同。

4.1.7 灌木经济林 下木和灌木采用单位面积生物量法，草本采用单位面积生物量模型法测算。参考有关文献^[22-23]，下木和灌木以 $17.75 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作为平均单位面积生物量。各样地下木灌木单位面积生物量，根据平均单位面积生物量乘以样地的植被状况系数计算得到。样地植被状况系数为：

$$K=0.4\frac{G_i}{G}+0.6\frac{h_i}{h} \quad (2)$$

式(2)中： G_i, h_i 为某样地的植被覆盖度、高度； \bar{G}, \bar{h} 为全省灌木经济林样地的植被平均覆盖度、平均高度。样地的下木灌木单位面积生物量测算值，乘以样地面积(0.08 hm²)，再加上样地草本生物量，就是该样地的总生物量。

4.1.8 其他地类 其他地类包括疏林地、未成林地、无立木林地、宜林地等地类，植被主要为零星乔木、毛竹，下木、灌木、草本等。样地中乔木、毛竹生物量计算方法，与一般乔木林和毛竹林相同。样地的下木层、灌木层、草本层生物量计算方法，与林下植被生物量相同。

4.1.9 散生四旁树(毛竹) 散生木(毛竹)、四旁树(毛竹)生物量，根据样木(毛竹)调查资料，采用单株生物量模型法测算。样地的全部样木(毛竹)生物量累加值，就是该样地的散生四旁树(毛竹)生物量。

4.2 总体抽样估计

采用系统抽样统计方法^[24]，将样地水平的微观尺度测算结果转换到全省宏观尺度，评估全省总体各类生物量估计值、估计精度及估计区间。各抽样指标计算公式为：

$$\text{总体中值估计值: } \hat{Y}=N\bar{y}=\frac{N}{n} \sum_{i=1}^n y_i; \quad (3)$$

$$\text{总体中值标准误估计值: } \hat{S}=\frac{NS_y}{\sqrt{n}}=\frac{N}{\sqrt{n}} \sqrt{1-\frac{n}{N}}=N \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right) \left(1-\frac{n}{N} \right)}; \quad (4)$$

$$\text{相对误差限: } E_a=\frac{\Delta_y}{\bar{y}} \times 100\%=\frac{t_a \times S_y}{\bar{y}} \times 100\%; \quad (5)$$

$$\text{估计精度: } P_a=100\%-E_a; \quad (6)$$

$$\text{总体估计区间: } (\hat{Y}-Nt_a s_y, \hat{Y}+Nt_a s_y)。 \quad (7)$$

式(3)~(7)中: y_i 为抽样调查样地生物量, n 为抽样调查样地数, N 为总体样本数, t_a 为可靠性指标, s_y 为样本标准误。

5 结果与分析

2009年,浙江省森林植被总生物量为 $37\,010.732 \times 10^4$ t。其中:乔木林群落为 $29\,096.269 \times 10^4$ t, 占78.61%;竹林群落 $3\,762.964 \times 10^4$ t, 占10.17%;灌木林群落 $1\,747.953 \times 10^4$ t, 占4.72%;其他地类(疏林地、未成林地等) 313.548×10^4 t, 占0.85%;散生木四旁树(竹) $2\,089.998 \times 10^4$ t, 占5.65%。乔木林群落中,一般乔木林群落为 $28\,604.018 \times 10^4$ t, 矮化乔木林群落 492.251×10^4 t;竹林群落中,毛竹林群落为 $3\,288.906 \times 10^4$ t, 杂竹林群落 474.058×10^4 t;灌木林群落中,一般灌木林群落为 308.346×10^4 t, 灌木经济林群落 $1\,439.607 \times 10^4$ t。可见,乔木林与竹林群落是构成森林植被生物量的主体。

从单位面积生物量分析,乔木林群落单位面积生物量为 66.17×10^3 kg·hm⁻², 其中一般乔木林群落为 68.05×10^3 kg·hm⁻², 矮化乔木林群落 25.39×10^3 kg·hm⁻²;竹林群落单位面积生物量为 45.15×10^3 kg·hm⁻², 其中毛竹林群落为 45.93×10^3 kg·hm⁻², 杂竹林群落 40.38×10^3 kg·hm⁻²;灌木林群落单位面积生物量为 18.67×10^3 kg·hm⁻², 其中一般灌木林群落为 20.10×10^3 kg·hm⁻², 灌木经济林群落 18.38×10^3 kg·hm⁻²;其他地类群落单位面积生物量为 7.12×10^3 kg·hm⁻²。

根据抽样估计理论与计算方法,在 $P<0.05$ 的可靠性保证下,主要森林植被类型生物量评估结果估计精度与估计区间计算结果见表3。可见,主要评估结果均有良好的精度保证。

表3 浙江省主要森林植被生物量估计精度与估计区间($P<0.05$)

Table 3 Estimation accuracy and interval of major forest vegetation types in Zhejiang ($P<0.05$)

植被类型	样本平均数/t	估计精度/%	总体估计区间/($\times 10^4$ t)
植被总生物量	2.908 5	96.64	35 767.171 ~ 38 254.293
乔木林群落	2.286 6	95.58	27 810.214 ~ 30 382.324
竹林群落	0.295 7	89.13	3 353.930 ~ 4 171.998
灌木林群落	0.137 4	90.00	1 573.158 ~ 1 922.748

6 结论与讨论

本研究以森林资源连续清查野外调查基础数据为数据源,以样地为评估基本单元,按照“样木(方)→样地→总体”的技术路线,采用单株生物量模型法、单位面积生物量模型法和单位面积生物量法,测算了样地水平的森林植被生物量;在此基础上,运用系统抽样统计方法,分别植被类型评估了全省森林植被生物量,并提供了评估结果的估计精度和估计区间。运用以上方法测算的浙江省各类森林植被生物量,具有较好可靠性和较高准确度,主要体现在以下几方面:①从评估结果看,各类森林植被生物量均有良好的精度保证。采用“样木(方)→样地→总体”的技术方法,提供了全省总体的各类生物量评估结果的数量化评价参数。结果表明:在 $P<0.05$ 的可靠性保证下,各类森林植被生物量的评估精度均较高。②从评估方法看,采用基于单株生物量模型为主的方法,具有较高的准确度和可信度,是较为理想的方法^[4]。评估中,将乔木、毛竹等生物量评估对象细化至每株检尺样木或样竹,再由单株生物量累加获得样地生物量,这样测算的样地乔木层(优势层)生物量准确度高。同样,下木、灌木均采用单株生物量模型法测算,草本生物量采用单位面积生物量模型法测算,这样评估的样地林下植被生物量,也具有较高的准确度和可信度。③从评估模型看,具有较好的适用性和通用性。生物量模型建模样本均选自浙江省内各地的各类森林中^[12-14],模型的建模区域和应用区域一致;从省内公益林区和商品林区的林分质量看,两者差异不大。因此,测算的全省森林植被生物量,有较高地预估精度保证。④从评估对象

看, 涵盖了森林植被的各个层次和部位, 评估内容全面。评估对象既包括森林乔木层, 也包括下木层、灌木层、草本层; 既评估了森林植被的地上部分, 也评估了地下部分。⑤从评估尺度转换方法看, 采用系统抽样统计方法是区域森林资源监测的公认方法, 具有成熟可靠的优点。通过系统抽样统计方法将样地微观数据转换为全省尺度宏观数据, 与浙江省现行的森林资源清查统计方法一致^[24], 技术方法成熟, 理论依据充分, 实践案例丰富, 是区域森林植被生物量评估的科学方法。

建立适合较大区域范围的通用性立木生物量模型是一项重要的基础工作^[25]。在国家级森林资源监测中增加森林生物量估计已成为必然趋势, 目前, 中国正在积极推进全国森林生物量调查建模和森林生物量表等相关数表的研建工作^[8]。今后, 可利用研建的全面覆盖测算区域的森林生物量模型进行评估, 进一步提高生物量估算精度和准确度。

在森林资源连续清查中, 为适应森林生物量专业化监测要求, 还可补充完善以下样地调查内容: 一是增加毛竹林、杂竹林跨角样地调查; 二是细化和充实矮化乔木林生物量调查内容; 三是生物量样方调查时, 分别类型调查和测算灌木层生物量。对于根径很小但株数很多的灌木, 运用盖度、高度为自变量的单位面积生物量模型测算; 对于根径较大的灌木, 运用地径、高度为自变量的单株生物量模型测算。

浙江省已经连续多年开展了森林资源年度监测。今后, 可结合浙江省已经开展的森林资源年度监测^[26], 启动森林植被生物量年度监测研究, 为生物量年度化监测提供技术支撑, 为评估省域年度森林碳收支和林业生态建设提供科学依据。

参考文献:

- [1] 赵敏, 周广胜. 基于森林资源清查资料的生物量估算模式及其发展趋势[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (8): 1468 - 1472.
ZHAO Min, ZHOU Guangsheng. Forest inventory data (FID) based biomass models and their prospects [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (8): 1468 - 1472.
- [2] 杨昆, 管东生. 珠江三角洲地区森林生物量及其动态[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (4): 705 - 712.
YANG Kun, GUAN Dongsheng. Forest biomass and its dynamics in Pearl River Delta [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (4): 705 - 712.
- [3] 张茂震, 王广兴, 刘安兴. 基于森林资源连续清查资料估算的浙江省森林生物量及生产力[J]. 林业科学, 2009, **45** (9): 13 - 17.
ZHANG Maozhen, WANG Guangxing, LIU Anxing. Estimation of forest biomass and net primary production for Zhejiang Province based on continuous forest resources inventory [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (9): 13 - 17.
- [4] 张茂震, 王广兴. 浙江省森林生物量动态[J]. 生态学报, 2008, **28** (11): 5665 - 5674.
ZHANG Maozhen, WANG Guangxing. The forest biomass dynamics of Zhejiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (11): 5665 - 5674.
- [5] 王兵, 魏文俊. 江西省森林碳储量与碳密度研究[J]. 江西科学, 2007, **25** (6): 681 - 687.
WANG Bing, WEI Wenjun. Carbon storage and density of forests in Jiangxi Province [J]. *Jiangxi Sci*, 2007, **25** (6): 681 - 687.
- [6] 陈利军, 刘高焕, 冯险峰. 运用遥感估算中国陆地植被净第一性生产力[J]. 植物学报: 英文版, 2001, **43** (11): 1191 - 1198.
CHEN Lijun, LIU Gaohuan, FENG Xianfeng. Estimation of net primary productivity of terrestrial vegetation in China by remote sensing [J]. *Acta Bot Sin*, 2001, **43** (11): 1191 - 1198.
- [7] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 2001, **292**: 2320 - 2322.
- [8] 李海奎, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 13 - 25.
- [9] 罗云建, 张小全, 王效科, 等. 森林生物量的估算方法及其研究进展[J]. 林业科学, 2009, **45** (8): 129 - 134.
LUO Yunjian, ZHANG Xiaoquan, WANG Xiaoke, *et al.* Forest biomass estimation methods and their prospects [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (9): 129 - 134.
- [10] 曾伟生, 夏忠胜, 朱松, 等. 贵州省人工马尾松立木材积和地上生物量方程研建[J]. 林业科学, 2011, **47**

- (3): 96 – 101.
- ZENG Weisheng, XIA Zhongsheng, ZHU Song, *et al.* Establishment of tree volume and aboveground biomass equations for masson pine plantation in Guizhou Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47** (3): 96 – 101.
- [11] 浙江省林业厅. 浙江省森林资源状况及其功能价值(2010)[N]. 浙江日报, 2011-01-16(12).
- [12] 袁位高, 江波, 葛永金, 等. 浙江省重点公益林生物量模型研究[J]. 浙江林业科技, 2009, **29** (2): 1 – 5.
- YUAN Weigao, JIANG Bo, GE Yongjin, *et al.* Study on biomass model of key ecological forest in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2009, **29** (2): 1 – 5.
- [13] 江波, 袁位高, 朱锦茹, 等. 森林生态体系快速构建理论与技术研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 92 – 121.
- [14] 彭镇华, 张守攻, 岳永德, 等. 浙江林业现代化发展战略研究与规划[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 203 – 206.
- [15] 刘其霞, 常杰, 江波, 等. 浙江省常绿阔叶生态公益林生物量[J]. 生态学报, 2005, **25** (9): 2139 – 2144.
- LIU Qixia, CHANG Jie, JIANG Bo, *et al.* The biomass of the evergreen broad-leaved ecological public-welfare forests in Zhejiang, East China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (9): 2139 – 2144.
- [16] 周国模, 姚建祥, 乔卫阳, 等. 浙江庆元杉木人工林生物量的研究[J]. 浙江林学院学报, 1996, **13** (3): 235 – 242.
- ZHOU Guomo, YAO Jianxiang, QIAO Weiyang, *et al.* Study on biomass models for Chinese fir plantation in Qingyuan County, Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1996, **13** (3): 235 – 242.
- [17] 杨同辉, 达良俊, 宋永昌, 等. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林生物量研究(I)群落结构及主要组成树种生物量特征[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (4): 363 – 369.
- YANG Tonghui, DA Liangjun, SONG Yongchang, *et al.* Biomass of evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province (I) Community structure and fresh weight biomass of main tree species [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (4): 363 – 369.
- [18] 杨同辉, 达良俊, 李修鹏. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林生物量研究(II)群落生物量及其分配规律[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (4): 389 – 395.
- YANG Tonghui, DA Liangjun, LI Xiupeng. Biomass of evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province (II) Aboveground biomass and its allocation pattern [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (4): 389 – 395.
- [19] 王震, 张晓丽. 浙江舟山地区马尾松地上生物量模型研究[J]. 林业调查规划, 2006, **31** (5): 103 – 105.
- WANG Zhen, ZHANG Xiaoli. Study on the models for overground biomass of *Pinus massoniana* in Zhoushan Region of Zhejiang [J]. *For Inventory Plan*, 2006, **31** (5): 103 – 105.
- [20] 骆期邦, 曾伟生, 贺东北. 林业数表模型理论、方法与实践[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2001: 378 – 388.
- [21] 刘安兴. 浙江省立木材积表的数学模型[J]. 浙江林业科技, 1986, **6** (4): 25 – 30.
- LIU Anxing. The mathematical model of volume table of standing timber in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1986, **6** (4): 25 – 30.
- [22] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, **16** (5): 497 – 508.
- FANG Jingyun, LIU Guohua, XU Songling. Biomass and net prouduction of forest vegetation in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 1996, **16** (5): 497 – 508.
- [23] 曾伟生. 云南省森林生物量与生产力研究[J]. 中南林业调查规划, 2005, **24** (4): 1 – 3.
- ZENG Weisheng. Research on forest biomass and productivity in Yunnan [J]. *Central South For Inventory Plan*, 2005, **24** (4): 1 – 3.
- [24] 肖兴威, 王祝雄, 陈雪峰, 等. 中国森林资源清查[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 30 – 32.
- [25] 曾伟生, 唐守正. 东北落叶松和南方马尾松地下生物量模型研建[J]. 北京林业大学学报, 2011, **33** (2): 1 – 6.
- ZENG Weisheng, TANG Shouzheng. Establishment of below-ground biomass equations for larch in northeastern and masson pine in southern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2011, **33** (2): 1 – 6.
- [26] 刘安兴. 浙江省森林资源动态监测体系方案[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (4): 449 – 453.
- LIU Anxing. Design of dynamic forest resources monitoring system of Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (4): 449 – 453.