

## 杉木碳汇的经济学分析：基于浙江省的调查

王 枫, 沈月琴, 朱 臻, 林建华, 王小玲

(浙江农林大学 经济管理学院, 浙江 临安 311300)

**摘要：**增加森林碳汇已经成为应对气候变化的重要举措。基于在中等立地条件和经营强度的土地类型上进行裸地造林的假设，运用杉木 *Cunninghamia lanceolata* 生长模型和修正的 Faustman-Hartman 模型分析碳补贴和碳税政策对杉木人工林的影响。研究表明：由于木材收益远大于碳汇收益，所以在较大的价格区间内碳汇价格增加对于最优轮伐期和碳供给的影响不显著，但最优轮伐期和碳供给量呈上升趋势；土地期望值与碳汇价格呈正相关。由于碳补贴和碳税政策的实施，林地的价值在增长，与其他土地利用类型如农业用地相比，更多的土地将被用作林业用地。图 5 表 1 参 16

**关键词：**林业经济学；杉木；最佳轮伐期；土地期望值；碳汇；碳供给

中图分类号：S7-05 文献标志码：A 文章编号：2095-0756(2012)05-0762-06

### Economic analysis of Chinese fir forest carbon sequestration: based on Zhejiang's survey

WANG Feng, SHEN Yue-qin, ZHU Zhen, LIN Jian-hua, WANG Xiao-ling

(School of Economic and Management, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Increasing forest carbon-sequestration has become an important measure to address the climate changes. Based on the assumptions of planting in bare lands with medium site conditions and management intensity, this research analyzed the impact of carbon subsidies and carbon tax policies on Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation through the Chinese fir growth model and the modified Hartman model. The research findings indicated that raising carbon price had little effect on the optimal rotation and carbon supply in a comparatively large price range because the profit from the wood was much higher than that from carbon sequestration. However, the optimal rotation and carbon supply showed a tendency to rise; the land expected value was positively correlated with the carbon price. Because of the implementation of carbon subsidies and carbon tax policies, the values of forest land had been increased. Compared with other types of land use such as agricultural land, more land should be used as forest land. [Ch, 5 fig. 1 tab. 16 ref.]

**Key words:** forestry economics; Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*); optimal rotation; land expected value; carbon sequestration; carbon supply

森林碳汇，是指森林生态系统吸收大气中的二氧化碳( $\text{CO}_2$ )并将其以有机物的形式固定在植被和土壤中，从而减少大气中二氧化碳浓度的过程<sup>[1]</sup>。森林生态系统每年固定的碳约占整个陆地生态系统的 2/3，在全球碳平衡中发挥巨大的作用。随着全球气候变化问题逐渐引起国际社会的普遍关注，森林碳汇潜力巨大且具有显著的成本优势<sup>[2-3]</sup>，应成为应对气候变化的重要选择。哥本哈根协议文件提出：“减少滥伐森林和森林退化引起的碳排放是至关重要的，有必要通过立即建立包括减少森林砍伐和退化造成的温室气体排放(REDD+)在内的机制，为这类举措提供正面激励”。中国也将森林碳汇作为应对气候变化

---

收稿日期：2011-10-31；修回日期：2012-01-12

基金项目：国家自然科学基金资助项目(71073148)；浙江农林大学研究生创新基金资助项目(2112010013)

作者简介：王枫，从事林业经济、资源与环境经济研究。E-mail: wfhn007@163.com。通信作者：沈月琴，教授，博士，从事林业经济理论与政策、气候变化与森林碳汇研究。E-mail: shenyueqin-zj@163.com

的重要选择, 并提出了相应的行动方案与发展目标。这些目标和方案的实施必将使中国森林碳汇能力进一步提高, 同时也迫切需要对森林的碳汇供给潜力进行研究。增加森林碳汇的途径在于提高森林经营水平。加入碳汇目标可能使原来的森林经营成本、收益和经营决策发生改变, 在现有森林经营技术水平下, 只有经济上可行, 才可能使森林经营者转变经营方式, 真正实现碳汇林的经营。而实证分析加入碳汇经营目标对现有的森林经营方式的影响以及刺激森林经营者在经营中考虑增加森林碳汇具有重要的研究价值和实际意义。

## 1 研究综述

目前, 国内外学者在森林碳汇经营决策方面已作了一定的研究。Hartman 于 1976 年推广了 Faustmann 模型, 将原来的木材效益推广到整个森林效益。这些效益包括水源涵养等环境效益和狩猎、徒步旅行等休闲娱乐功能。一些学者将 Faustmann-Hartman 模型用于最佳轮伐期和碳汇供给的多种形式碳支付的影响研究。Englin 等<sup>[4]</sup>研究了道格拉斯冷杉 *Pseudotsuga menziesii* 最佳轮伐期碳支付的影响。Hoens<sup>[5]</sup>和 Kooten 等<sup>[2]</sup>分别对斯堪的纳维亚森林和对加拿大西部森林的研究均发现了类似结果。Stainback 等<sup>[6]</sup>分析了湿地松 *Pinus elliottii* 碳汇价值与土地净现值的关系, 并估算了碳汇供给曲线。Nhung<sup>[7]</sup>以刺槐 *Robinia pseudoacacia* 和桉树 *Eucalyptus* sp. 为例, 分析了确保木材采伐和碳汇价值最大化条件下 2 个树种的森林经营模式, 比较分析了有无碳市场情况下林业经营的最佳方案。国外学者在碳汇概述、供给、政策等方面做了不少研究, 并取得了诸多成果, 一些学者开始尝试估算特定树种的碳汇供给曲线, 但基于经济学视角的碳汇供给能力研究较少。国内对于碳汇的研究起步较晚, 现有研究主要集中在森林固碳途径和计量方法等自然科学领域。周国模等<sup>[8]</sup>研究毛竹 *Phyllostachys edulis* 林的碳储量。支玲<sup>[9]</sup>采用换算因子连续函数法对三北防护林的碳汇价值量进行了评价。社会科学方面的研究主要集中在森林碳汇市场及政策方面。林德荣<sup>[10]</sup>提出建立中国森林碳汇服务自愿交易市场的设想, 并认为公众能否认可并接受是中国森林碳汇服务自愿交易市场是否可行和成功的关键。李怒云等<sup>[11]</sup>认为, 碳汇管理政策是碳汇管理的核心, 对具体的碳汇工作起着重要的指导作用。何英等<sup>[11]</sup>分析了中国森林碳汇交易市场现状与潜力, 指出中国森林碳汇交易市场具有较大的潜力。邱威等<sup>[12]</sup>研究了构建“非京都规则”森林碳汇市场的必要性, 以及扩大森林碳汇需求、保证森林碳汇供给和规范森林碳汇市场交易秩序的具体措施。国内学者对于碳汇市场交易下森林经营决策以及碳汇供给潜力方面缺乏系统的研究, 更缺少实证的分析。本研究在综述国内外森林碳汇研究和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林经营研究的基础上, 以“理性经济人”的合理假设, 基于浙江省典型林场的实证数据, 利用定量化的模型工具, 模拟出碳汇价格变化对森林经营轮伐期、土地期望值以及碳汇供给潜力的影响。

## 2 案例点、模型与研究假设

### 2.1 案例点

浙江省位于中国东部沿海, 森林资源丰富。全省森林面积为 601.90 万 hm<sup>2</sup>, 活立木蓄积量为 2.54 亿 m<sup>3</sup>。杉木是浙江省最重要的用材树种之一。浙江省现有杉木人工林 82.09 万 hm<sup>2</sup>, 杉木在增加森林碳汇方面有巨大的潜力, 因此, 选择杉木作为案例树种, 研究碳汇经营目标下的浙江省林地期望价值及碳供给, 具有典型性。本研究选取的案例点分别为开化林场、景宁林业总场、庆元实验林场和文成石垟林场。其中开化林场有林地为 8 375 hm<sup>2</sup>, 景宁林业总场有林地面积 5 870 hm<sup>2</sup>, 庆元实验林场有林地面积 8 105 hm<sup>2</sup>, 文成石垟林场有林地面积 5 295 hm<sup>2</sup>。这些林场都位于浙江省杉木经营的主产区域, 因此, 选择这些林场能够代表目前浙江省杉木林经营的投入产出水平。

### 2.2 模型与研究假设

**2.2.1 木材和碳收益模型** 本研究的前提是基于裸地造林的假设, 同时在构造木材和碳汇收益模型时考虑碳汇补贴和碳税的影响。这里笔者采用修进的 Faustmann-Hartman 模型(即为木材和碳收益模型), 计算木材经济成熟(土地期望价值最大化)情况下的蓄积量。模型如下:

$$V_{lev} = [P_f \cdot Q(t) e^{-rt} - C(Q(t)) e^{-rt} - R + \int_0^t \alpha P_c Q(t) e^{-rt} dt - P_c \alpha (1-\beta) Q(t) e^{-rt}] (1 - e^{-rt})^{-1}. \quad (1)$$

式(1)中： $V_{\text{lev}}$  为无限轮伐期下土地的期望值； $P_f$  为木材价格； $Q(t)$  为  $t$  年生林木采伐量，这里定义为皆伐； $t$  为轮伐期； $r$  为实际利率，这里采用银行长期存款利率 5.5%； $C(Q(t))$  是采伐成本和运输成本； $R$  为造林成本和历年的管护成本，由于本研究是基于浙江省来研究碳汇价格变化对碳汇供给的影响，而 Faustman-Hartman 模型的前提是在空地或者荒地上重新造林，所以这里的  $C(Q(t))$  和  $R$  是基于在中等立地类型和经营强度的林地进行裸地造林而得到的投入数据； $[P_f \cdot Q(t)e^{-rt} - C(Q(t))e^{-rt} - R](1 - e^{-rt})^{-1}$  为木材净收益； $\alpha$  为木材蓄积( $m^3$ )转换为碳( $t$ )的转换系数，这里采用的冷杉 *Abies fabri* 的转化系数 0.215； $P_c$  为碳价格； $\beta$  为未腐烂且固定下来的木材在总量中所占的比例，这里设定为 5%； $[\int_0^t \alpha P_c Q'(t) e^{-rt} dt - P_c \alpha (1 - \beta) Q(t) e^{-rt}] (1 - e^{-rt})^{-1}$  为碳汇的净收益。如果碳汇价值为 0，那么式(1)就是 Faustmann 模型。对修进的 Faustman-Hartman 模型求  $t$  的一阶导数，就可以获得最优条件下的森林经营者生产决策模型。当木材推迟 1 a 收获的机会成本等于木材和碳汇的边际净收益时，森林经营获得最优的轮伐期。在以木材生产为经营目标的杉木林经营中加入碳汇经营目标，由于考虑碳收益和碳税政策，木材收益和碳汇收益使森林收获的机会成本增加，碳汇收益依附于林木的生长，从而延长木材的轮伐期。另外，木材收获后的碳排放成本也将使轮伐期得以延长。

**2.2.2 木材生长收益模型** 目前，国内学者对于杉木的生长模型有诸多的研究<sup>[13-15]</sup>，然而，由于不同区域气候、立地指数、海拔、坡向等条件不同，杉木的生长模型也不相同。本研究所调查的林场位于开化、景宁、庆元、文成等浙江省杉木人工林的主产区，采用的杉木生长模型是基于周国模等<sup>[13]</sup>在 2001 年所提出的浙江省杉木人工林的生长模型。模型具体形式为：

$$\ln D = 4.504156 - 0.036179 I_{\text{SI}} - 0.084218 \ln N - 12.031347 / A; \quad (2)$$

$$\ln M = 1.638213 - 0.121188 I_{\text{SI}} + 0.524874 \ln N - 28.389612 / A. \quad (3)$$

式(2)和(3)中： $I_{\text{SI}}$  为立地指数； $N$  为单位面积( $hm^2$ )株数； $A$  为年龄； $D$  为杉木的平均胸径，相关系数为 0.9459； $M$  为林分材积或蓄积，相关系数为 0.8916。在模型(3)中，立地指数  $I_{\text{SI}}$  设定为 12 m。杉木栽植密度为 2500 株· $hm^{-2}$ ，轮伐期为 25 a。然而，这里的杉木人工林生长模型没有考虑间伐的情景，笔者在原有模型的基础上进行了修订，间伐以后密度发生了变化。具体为：

$$N = \begin{cases} N_s; & A \leq t \\ N_s; & A > t \end{cases}; \quad (4)$$

$$N_k = 40000 u e^{-2(G+J \ln D)} / \pi^{[16]}. \quad (5)$$

式(4)和(5)中： $N_s$  为初始栽植密度； $N_k$  为间伐后的保留密度； $t$  为间伐的年限，12 a； $u$  为 0.8； $G$  为 -0.2404； $J$  为 0.4723。因此，杉木林的生长曲线见图 1。

### 2.3 数据

笔者首先在每个案例林场分别选择中等立地条件和经营水平的林地类型，让林场经营杉木的技术人员根据以往的经验测算从 2010 年裸地造林的 1 个轮伐期内的投入数据。根据调查，杉木林经营的成本主要包括以下 3 个部分：①造林成本。包括第 1 年的整地成本、栽植成本、种苗及肥料成本、补植成本以及第 1~3 年的幼林抚育成本，其中劳动力工价为 100.00 元·工日<sup>-1</sup>。②历年的管护成本。③杉木的间伐和主伐

时采伐运输成本。目前，采运过程中已经无需缴纳各项税费。林场的成本计算采用首先贴现到相同的时间点，再求平均成本(表 1)。

另外，通过林场调查和二手资料的收集，这里取中间价作为各杉木材材种规格的价格。具体为：径阶 6 cm 以下 300.00 元· $m^{-3}$ ，6~8 cm 600.00 元· $m^{-3}$ ，8~12 cm 800.00 元· $m^{-3}$ ，12~16 cm 900.00 元· $m^{-3}$ ，16~20 cm 1000.00 元· $m^{-3}$ ，20 cm 以上 1200.00 元· $m^{-3}$ 。为了获得土地期望值最大的轮伐期，分别模拟不同碳汇价格下的最大土地期望值，进而获得最优的轮伐期以及碳汇供给量的变化。这里碳价格设定在 0~80.000 元· $t^{-1}$  的变动区间。

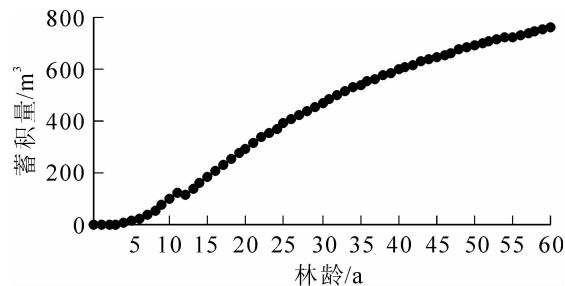


图 1 杉木的生长曲线

Figure 1 Growth curve of Chinese fir

表 1 杉木经营成本

Table 1 Management cost of Chinese fir

| 成本     |         | 发生年份        | 金额/(元·hm <sup>-2</sup> ) |
|--------|---------|-------------|--------------------------|
| 造林成本   | 整地成本    | 第 1 年       | 5 775.00                 |
|        | 栽植成本    | 第 1 年       | 2 437.50                 |
|        | 种苗成本    | 第 1 年       | 2 034.00                 |
|        | 肥料成本    | 第 1 年       | 637.50                   |
|        | 补植成本    | 第 1, 2, 3 年 | 525.00                   |
|        | 中幼林抚育成本 | 第 12 年      | 1 575.00                 |
| 历年管护成本 |         | 历年          | 330.00                   |
| 采伐成本   |         | 第 25 年      | 200.00                   |
| 运输成本   |         | 第 25 年      | 35.00                    |

资料来源: 问卷整理。

### 3 模拟结果

#### 3.1 碳价格与林地期望值

碳补贴和碳税的木材和碳汇收益模型提高了杉木经营的林地期望值。碳汇价格水平越高, 不同轮伐期的林地期望值变化范围越大。同时, 最佳轮伐期下的林地期望值也呈增长趋势。在利率为 5.5% 水平下, 当碳汇价格为 0 时, 土地期望值为 89 420.00 元·hm<sup>-2</sup>, 而碳汇价格增加到 450.00 元·t<sup>-1</sup> 时, 土地期望值变成 148 162.00 元·hm<sup>-2</sup>, 上升了 65.7%。碳价格和土地期望值之间的关系如图 2 所示。

#### 3.2 碳价格与轮伐期

利用修进的 Faustman-Hartman 模型计算最佳轮伐期。结果显示: 在碳汇价格为 0 元·t<sup>-1</sup>, 即传统的以木材经营为目标的最优轮伐期为 19 a。当碳汇价格从无到有逐渐上升的过程中, 价格变化在较长的价格范围内并没有对加入碳汇经营的杉木的最佳轮伐期产生影响, 只有当碳汇价格上升到 300.00 元·t<sup>-1</sup> 时, 杉木的最佳轮伐期才往后推移了 1 a, 为 20 a, 当碳汇价格继续上升到 450.00 元·t<sup>-1</sup> 时, 轮伐期变为 21 a(图 3)。这与先前的预期有一些出入, 其原因在于浙江省现在已经取消了杉木等木材经营的税费, 并暂缓征

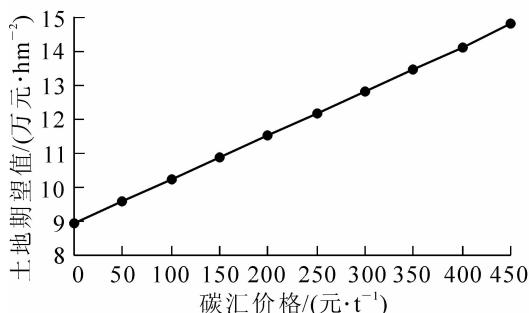


图 2 碳汇价格变化对杉木土地期望值的影响

Figure 2 Carbon price change's impact on Chinese fir's land expected value

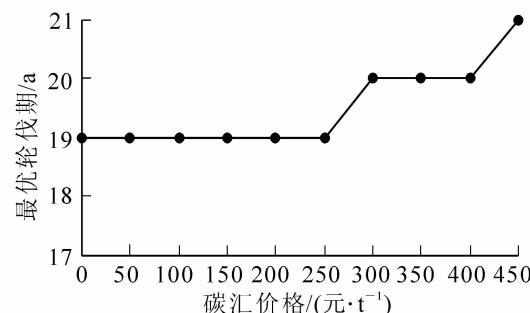


图 3 碳汇价格变化对杉木最优轮伐期的影响

Figure 3 Carbon price change's impact on optimal rotation period of Chinese fir

收育林基金。这样, 木材经营的成本降低了, 收益就大大提高了。当碳汇价格从 0 元·t<sup>-1</sup> 上升到 450.00 元·t<sup>-1</sup> 的过程中, 经营碳汇林的收益在土地期望值所占的比例也仅仅从 0% 上升到 40.7%(图 4), 对于土地期望值的贡献不大, 所以碳价格的变动在较大的价格区间内不会影响现有杉木林经营的轮伐期。但是总体来说, 随着碳价格的上升, 杉木林经营的轮伐期呈现了延长的趋势。

#### 3.3 碳价格与供给量

同样, 也预测了碳补贴和碳税收政策下土地所有者愿意供应的碳总量。在 5.5% 的利率水平下, 笔

者计算了在不同碳汇价格下最优轮伐期市的碳供给量，并绘出了碳供给曲线(图5)。可以发现：碳供给量没有因为碳价格的上升而显著增加，基本维持在同一水平，其原因和之前的类似。当碳价格上升到

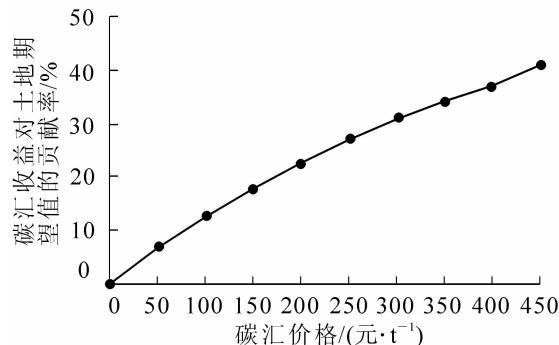


图4 碳汇收益对土地期望值的贡献率

Figure 4 Contribution rate of forest carbon income to land expected value

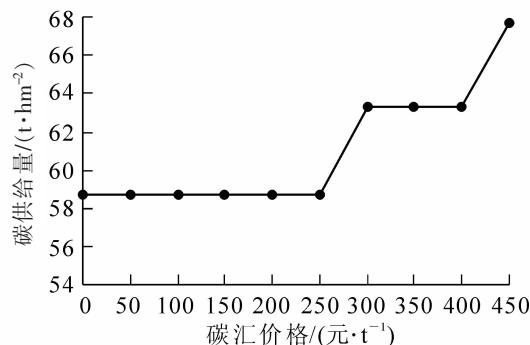


图5 碳汇价格变化对碳供给量的影响

Figure 5 Carbon price change's impact on carbon supply

300.00 元·t⁻¹ 时，碳供给量才从原先的  $58.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到  $63.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，增加了 7.75%。对于一些没有取消育林基金和林业税费的省份来说，碳价格变化对在这一区域内经营杉木碳汇林增加碳供给的影响更加显著。

#### 4 结论与讨论

森林碳汇已成为中国乃至全球应对气候变化的重要策略。如果在现有的杉木林经营目标中加入增加森林碳汇的经营目标，森林碳汇收益将对森林经营者的经营决策产生重要影响。基于本研究，可以得出以下结论：①提高碳汇价格将明显增加林地价值，林地价值的提高将会使森林经营者将更多的土地用于木材生产，从而增加木材供给。林地价值的增加也可能会减少林业用地转为其他用途的机会，如农业用地。②根据浙江省现有的林业政策，木材经营的成本较低，效益较高，森林碳汇收益对于森林经营者改变最优轮伐期和增加碳供给量的影响有限，但对于一些木材经营成本较高的省份来说，碳价格变化对于森林经营决策的影响可能更加显著。③在原来单一的木材经营目标中，基于土地期望值最大化的轮伐期为 19 a，而实际调查中杉木的轮伐期为 25 a，说明现有杉木林经营方式没有实现最优的收益。

存在一些需要改进之处在此说明：①本研究虽然考虑间伐对木材蓄积的影响，并模拟出考虑间伐的杉木生长曲线，但精确考虑间伐的杉木生长模型还需要更多实证的研究。②轮伐期仅是木材生产中众多关键因素之一。这里没有指明森林经营管理中在加入碳汇经营目标后的其他变化。例如，碳补贴和碳税政策很可能影响土地所有者采用的施肥量和林分密度；碳收益会促使森林经营者在轮伐开始时改变林分密度，以获取更多的碳收益等。

#### 参考文献：

- [1] 李怒云, 龚亚珍, 章升东. 林业碳汇项目的三重功能分析[J]. 世界林业研究, 2006, 19 (3): 1 – 5.  
LI Nuyun, GONG Yazhen, ZHANG Shengdong. Forestry carbon sequestration projects in China: a synergized strategy of mitigation, adaptation and sustainable development [J]. *World For Res*, 2006, 19 (3): 1 – 5.
- [2] van KOOTEN G C, BINKLEY C S, DELCOURT G. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services [J]. *Amer J Agric Econ*, 1995, 77 (2): 365 – 374.
- [3] MURRAY B C. Carbon values, reforestation, and ‘perverse’ incentives under the Kyoto protocol: an empirical analysis [J]. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 2000, 5 (3): 271 – 295.
- [4] ENGLIN J E, CALLAWAY J M. Global climate change and optimal forest management [J]. *Nat Resour Model*, 1993, 7 (3): 191 – 202.
- [5] HOEN H F, SOLBERG B. CO<sub>2</sub>-taxing, timber rotations, and market implications [J]. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 1997, 27 (supp): 151 – 162.

- [6] STAINBACK G A, ALAVALAPATI J R R. Economic analysis of slash pine forest carbon sequestration in the southern U.S. [J]. *J For Econ*, 2002, **8** (2): 105 – 117.
- [7] NHUNG N T H. Forest management for carbon sequestration: a case study of *Eucalyptus urophylla* and *Acacia mangium* in Yen Bai Province, Vietnam [R]. Singapore: EEPSEA, 2009.
- [8] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳储量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004, **40** (6): 20 – 24.  
ZHOU Guomo JIANG Peikun. Density, storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachy pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (6): 20 – 24.
- [9] 支玲, 许文强, 洪家宜, 等. 森林碳汇价值评价——三北防护林体系工程人工林案例[J]. 林业经济, 2008 (3): 41 – 44.  
ZHI Ling, XU Wenqiang, HONG Jiayi, et al. Evaluation of forest carbon-sink: a case study on artificial plantation of the three-north shelterbelt forest system program in China [J]. *For Econ*, 2008 (3): 41 – 44.
- [10] 林德荣, 李智勇, 支玲. 森林碳汇市场的演进及展望[J]. 世界林业研究, 2005, **18** (1): 1 – 5.  
LIN Derong, LI Zhiyong, ZHI Ling. The evolvement and prospect of forest carbon sinks market [J]. *World For Res*, 2005, **18** (1): 1 – 5.
- [11] 何英, 张小全, 刘云仙. 中国森林碳汇交易市场现状与潜力[J]. 林业科学, 2007, **43** (7): 106 – 111.  
HE Ying, ZHANG Xiaoquan, LIU Yunxian. Present status and potentiality of forest carbon trade market in China [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (7): 106 – 111.
- [12] 邱威, 姜志德. 我国森林碳汇市场构建初探[J]. 世界林业研究, 2008, **21** (3): 54 – 57.  
QIU Wei, JIANG Zhide. A preliminary research on the frame work of forest carbon-sink market [J]. *World For Res*, 2008, **21** (3): 54 – 57.
- [13] 周国模, 郭仁鉴, 韦新良. 浙江省杉木人工林生长模型及主伐年龄的确定[J]. 浙江林学院学报, 2001, **8** (3): 219 – 222.  
ZHOU Guomo, GUO Renjian, WEI Xinliang. Forest growth model and felling age of artificial Chinese fir in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang Coll For*, 2001, **8** (3): 219 – 222.
- [14] 吴载璋, 吴锡麟. 福建杉木人工林生长模型的研究[J]. 福建林业科技, 2004, **31** (4): 11 – 14.  
WU Zaizhang, WU Xilin. Studies of the growth model of *Cunninghamia lanceolata* plantation in Fujian [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2004, **31** (4): 11 – 14.
- [15] 陈则生. 杉木人工林经济成熟龄的研究[J]. 林业经济问题, 2010, **30** (1): 22 – 26.  
CHEN Zesheng. The research on age at economic maturity of Chinese fir plantations [J]. *Issu For Econ*, 2010, **30** (1): 22 – 26.
- [16] 汪传佳. 杉木定量抚育间伐技术研究[J]. 林业科技通讯, 1998 (1): 7 – 9.  
WANG Chuanjia. Quantitative study of Chinese fir thinning techniques [J]. *For Sci Technol*, 1998 (1): 7 – 9.