

不同经营类型毛竹林经营效益及固碳能力分析

孟海月, 刘 强, 吴伟光

(浙江农林大学 经济管理学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 基于农户地块水平毛竹 *Phyllostachys edulis* 林投入产出数据, 比较分析了不同经营类型毛竹林经营效益及相应的固碳能力。结果表明: ①在当前经营技术与市场环境下, 如果考虑经营者自身劳动投入成本, 材用毛竹林与笋竹两用毛竹林的经营效益没有明显差异, 两者成林后年均净收益分别为 5 500 和 5 800 元·hm⁻²。②以 60 a 经营周期计算, 材用毛竹林与笋竹两用毛竹林年均固碳量为 6.51 和 5.26 t·hm⁻²·a⁻¹, 分别为同等立地适生条件下速生杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林的 1.87 倍和 1.51 倍。今后需要加强毛竹伐后固碳效率研究, 以便对毛竹综合固碳能力做出更为全面准确的评估; 随着森林碳汇价值上升, 经营材用林的比较效益会进一步提高, 有利于提高竹林固碳。表 3 参 17

关键词: 林业经济学; 毛竹林; 经营类型; 经营效益; 固碳能力

中图分类号: S7-98

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2014)06-0959-06

Study on the cost-benefit and carbon sequestration capacities of *Phyllostachys edulis* plantations under different types of management

MENG Haiyue, LIU Qiang, WU Weiguang

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

Abstract: Based on the *Phyllostachys edulis* plantation input-output data collected from farmer households, this paper analyzed the cost-benefit of *Phyllostachys edulis* plantations and their carbon sequestration capacities under different types of management. The results had the following indications: (1) under the current market and technology conditions, if the labor cost being included, the annual net incomes of *Phyllostachys edulis* plantations under different types of management were quite close, which were 5 500 yuan per hectare for stem *Phyllostachys edulis* plantation and 5 800 yuan per hectare for stem and shoot *Phyllostachys edulis* plantation. (2) The annual carbon sequestration capacities were 6.51 and 5.26 ton per hectare for stem bamboo forest plantation, and timber and shoot bamboo plantation respectively, in a 60 year management duration, which were 1.87 times and 1.51 times of the fast-growing Chinese firs grown in the similar land sites and climate conditions. In the future, the study on bamboo product carbon storage need to be further improved, in order to evaluate *Phyllostachys edulis* carbon sequestration more accurately. With the gradually increasing value of carbon sequestration, stem bamboo plantation may become more profitable than stem and shoot bamboo plantation in the future, which will improve *Phyllostachys edulis* plantation's carbon sequestration capacity. [Ch, 3 tab. 17 ref.]

Key words: forest economics; *Phyllostachys edulis* forest; management type; cost-benefit; carbon sequestration

收稿日期: 2013-12-19; 修回日期: 2014-03-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71273245, 71073148); 浙江省高校人文社科基地资助项目(RWSKZD01-2012ZB); 浙江农林大学人才启动基金资助项目(2011FR001); 浙江农林大学研究生科研创新基金资助项目(3122013240185)

作者简介: 孟海月, 从事资源与环境经济学研究。通信作者: 吴伟光, 教授, 博士, 从事资源与环境经济学领域研究。E-mail: wuwgccap@126.com

capacity

随着全球气候变化趋势日趋明显,竹子作为世界上生长与更新速度最快而且分布十分广泛的森林资源,其碳汇功能及其在应对气候变化中的作用,开始受到了国内外学者与国际组织的广泛关注^[1-2]。竹子生长与更新速度极快,对于毛竹 *Phyllostachys edulis* 单株一般 1 a 内完成生长,6 a 达到成熟可采伐;对于新造毛竹林一般 7~10 a 可郁闭成林,成林后可持续采伐(2 a 1 次)并迅速更新,从而获得持续而稳定的收益。竹子经营对于山区农民维持生计与脱贫致富具有重要作用^[3]。据统计,在全球森林资源急剧下降情况下,竹林面积却以每年 3% 的速度递增,全球竹林面积已达 3 150 万 hm²,约有 25 亿人口以各种方式在经营利用竹子资源^[4-5]。鉴于竹子具有极强的生长与更新能力,在全球气候变化日趋明显的背景下,除了竹子的经济功能以外,竹林固碳能力及其在应对气候变化中的作用,开始受到国内外学者广泛关注。毛竹是目前开发利用程度最高的竹子品种之一。近年来,国内外众多学者围绕包括毛竹在内的竹林碳汇问题开展了许多研究,取得了不少研究成果。目前的研究主要集中于区域层面竹林固碳水平估算^[6-8];不同竹子品种之间、毛竹与其他树种(如杉木 *Cunninghamia lanceolata*)固碳能力差异比较^[2,11-12],以及不同经营措施对毛竹林固碳能力的影响等方面^[8,10,13]。其中,周国模等^[8]专门研究了集约经营与粗放经营毛竹林固碳能力的差异,Kuehl 等^[10]探讨了采伐与不采伐两者经营模式下毛竹林固碳能力的差异,唐晓鹿等^[13]则分析了复垦、劈草、使用除草剂对抚育措施等竹林碳储量的影响。上述相关研究对于科学认识与评价竹林固碳能力以及对后续相关研究的开展均具有重要的指导与借鉴作用,但也还存在值得进一步提升的空间。主要表现为已有研究主要是从纯生物学角度对竹林固碳能力(产出)做出评估,并没有考虑不同经营模式或措施的成本(投入)差异。事实上,不同经营模式或经营措施下,不仅是竹林产出水平存在较大的差异,其投入成本也存在较大的不同;换句话说,即使在技术上是可行的经营措施,并不一定意味着在经济上也是可行的,只有对某一经具体的营模式或措施的技术可行性与经济可行性同时做出评价,才能为生产经营提供可行的决策依据。为此,本研究拟基于实际生产中农户层面毛竹经营投入产出数据,在对不同经营类型竹林的经济效益进行评价的基础上,对其相应的固碳能力进行对比分析,以期从经济可行性与技术可行性 2 个维度,对不同经营类型竹林的适宜性做出全面分析,为不同政策与市场环境条件下,竹林生产经营决策提供科学可行的依据。

1 研究数据

本研究将毛竹林分为材用毛竹林(以下简称:材用林)和笋竹两用毛竹林(以下简称:两用林)2 类(事实上,毛竹林还包括笋用毛竹林,但目前所占比例较小,本研究暂不考虑)。根据《笋竹两用毛竹林培育技术规程》(2012 年)的定义,两用林是指把竹材和竹笋同时作为主产品进行经营的毛竹林;材用林则以竹材作为主要产品进行经营的毛竹林。需要指出的是,人工栽植毛竹林经营过程可划分为造林、成林前与成林后 3 个阶段,但是在毛竹成林之前一般不区分经营类型,在竹林成林以后,经营者会根据市场和自身生产条件选择经营类型;如果选择两用林一般还需要进行竹林改造。

为了获得本研究所需要的数据资料,项目组于 2012 年 7-8 月,以浙江省龙游县与安吉县 2 个在毛竹经营方面具有代表性的地区为样本县;在每个县选择 2 个毛竹栽植面积大、历史长的乡镇为样本乡镇;在每个乡镇选择 2 个毛竹栽植面积大、历史长的村庄为样本村庄;在每个样本村庄选择 6~8 个农户(科技示范户)的毛竹经营地块作为调查对象。同时,还对 8 个样本村的基本情况和 5 位毛竹经营专家进行了问卷调查。

农户调查问卷内容主要涉及毛竹种植地块特征、毛竹经营类型、立竹密度、毛竹造林投入、毛竹成林前投入、毛竹成林后投入与产出状况等,其中,对普通毛竹经营户主要调查毛竹造林当年投入和最近 2 a (2010-2011 年)毛竹投入产出情况;对毛竹经营科技示范户,因为其一般有较为详细的投入产出记录,调查人员详细询问毛竹经营历年投入产出情况。对毛竹经营专家则主要根据其毛竹试验林数据以及长期经验积累,对不同经营类型毛竹林地的平均投入产出状况做出判断。对村干部主要询问村经济社会基本情况,当地林地资源、劳动力价格和土地租金等方面内容。

考虑到立地条件对竹林经营具有重要影响,为了使得分析结果更具可比性,本研究在上述调查样本

中选择立地条件相似的地块作为分析对象，共计涉及 48 个农户(其中科技示范户 18 户)，61 块毛竹种植地块(两用林 29 块，材用林 32 块)投入产出详细数据。

2 不同经营类型毛竹林经营效益

2.1 林地经营效益评价方法

林地经营效益评价方法主要包括林地期望价值、净现值、内部收益率和利润最大化等方法；不同评价方法在本质上是一致的，但适用条件有所不同。林地期望价值反映的是土地要素报酬，适用于土地市场发育欠完善的情形；内部收益率主要反映的是资本报酬，适用于资本市场发育不完善的情形；利润最大化则是一般化的评价方法。其中，林地期望价值法和净现值法是评价林地效益和确定最佳轮伐期最为普遍的方法。考虑到中国林地市场并不发达，而且毛竹为典型的异龄林，没有明显的轮伐期(毛竹成林后，可隔年采伐 1 次，在相当长时期内实现稳定经营，没有明显的轮伐期；但毛竹林会因开花而出现集中死亡现象，据观测开花周期至少在 67 a 以上 [15])。为了避免高估竹林经营效益与固碳能力，本研究在计算毛竹经营年均效益或年均固碳指标时，假定毛竹林经营周期为 60 a)。本研究采用净现值法来评价毛竹林经营效益(当林地经营期限足够长时，净现值与林地期望价值趋于一致)。具体公式如下：

$$V_{NP}=V_{NPb}+V_{NPm}=\sum_{t=1}^{T_b}\frac{\bar{X}_tP_x}{(1+r)^{t1}}+\sum_{t=T_b+1}^T\frac{(P_yV_{ht}\bar{X}_tP_x)}{(1+r)^{t1}}。$$
 (1)

式(1)中： V_{NP} 为竹林经营净收益现值， V_{NPb} 成林前净收益现值， V_{NPm} 为成林后净收益现值， t 为年数， T_b 为成林前抚育所需年数， T 为竹林经营周期， V_{ht} 为第 t 年竹材(竹笋)采伐量， P_y 为竹材(笋)价格向量， P_x 为投入要素价格向量， $\bar{X}_t$ 为投入要素(包括劳动、肥料、种苗等)， r 为贴现率。当 T 趋向于 ∞ 时，净现值(V_{NP})趋向于林地期望价值(V_{IE})。

2.2 不同经营类型毛竹林经营效益比较

表 1 是不同经营类型人工种植毛竹林在各经营阶段的投入与产出情况。如前所述，在造林和成林前抚育阶段，毛竹没有划分经营类型，其投入是一致的；但对于两用林还需要竹林改造投入，并且成林以后(第 9 年以后)，不同经营类型毛竹林在劳动、肥料投入，竹材与竹笋产出等指标均有显著差异(表1)。

表 1 不同经营类型毛竹林投入与产出状况
Table 1 Inputs and outputs status of different types moso bamboo per hectare

林种	造林(第 0 年)					成林前(第 1~7 年)	
	林地整理用工/ (工日·hm ⁻²)	种植用工/ (工日·hm ⁻²)	抚育管理用工/ (工日·hm ⁻²)	母竹株数/ (株·hm ⁻²)	化肥用量/ (kg·hm ⁻²)	抚育管理用工/ (工日·hm ⁻²)	化肥用量/ (kg·hm ⁻²)
材用林	39.4	30.9	14.1	395	124	12.3	200
两用林	39.4	30.9	14.1	395	124	12.3	200
林种	竹林改造用工 成林后(第 9 年以后)						
	(第 8 年) / (工日·hm ⁻²)	抚育用工/ (工日·hm ⁻²)	采伐用工/ (工日·hm ⁻²)	挖笋用工/ (工日·hm ⁻²)	化肥用量/ (kg·hm ⁻²)	竹材产量/ (kg·hm ⁻²)	竹笋产量/ (kg·hm ⁻²)
材用林	0	5.4	14.0	1.9	118	10 091	273
两用林	30	9.1	10.0	12.0	304	7 933	1 987

说明：根据调查数据整理。①毛竹林成林前投入为年均投入量，根据调查毛竹种植后第 7 年开始有一定的竹笋与竹材收入，但数量较少，基本可以忽略不计。②竹林改造用工是指在竹林成林时，将其改造为笋竹两用林所需投入的用工。③竹笋包括春笋与冬笋。

基于上述投入与产出情况，以及相应的投入要素与产成品价格参数，采用式(1)可以计算出不同经营类型毛竹经营效益(表 2)。各投入要素与产出品价格根据调查获得，劳动力雇工平均工资为 125.00 元·工日⁻¹；母竹价格为 15.00 元·株⁻¹；化肥平均价格为 2.71 元·kg⁻¹；竹材平均价格为 0.79 元·kg⁻¹；春笋平均价格为 1.29 元·kg⁻¹，冬笋价格为 15.90 元·kg⁻¹；贴现率为 5.0%。

从表 2 可以看出：①在考虑经营者自身劳动力成本的情况下，不同经营类型竹林年均净收益比较接近，其中，用材林为 5 500.00 元·hm⁻²，两用林为 5 800.00 元·hm⁻²。这一结论与人们通常所认为两用林

经营效益远高于材用林并不一致。究其原因,主要就在于尽管成林后两用林的年均收益水平高于材用林,但相应的投入水平特别是劳动投入成本相对较高,而以往在计算竹林经营效益指标时,往往未将经营者自身劳动投入作为成本扣除。②如果按照毛竹林经营期限为 60 a 计,材用林与两用林的累计纯收益净现值分别为 45 783.00 元·hm⁻² 和 48 409.00 元·hm⁻²;如果按照无限期经营计算,林地期望价值将分别到达 48 510.00 元·hm⁻² 和 51 929.00 元·hm⁻²。

表 2 不同经营类型毛竹林经营效益状况

Table 2 The cost and benefit of different management types bamboo plantation

经营类型	造林成本	成林前抚育成本	竹林改造	成林后年均净收	60 a 累计纯收益	林地期望
材用林	16 787.00	13 415.00	0.00	5 500.00	45 783.00	48 510.00
两用林	16 787.00	13 415.00	3 750.00	5 800.00	48 409.00	51 292.00

说明:根据调查数据整理。①竹林改造投入是指在竹林接近成林后,按照笋竹两用毛竹林经营技术要求,对竹林进行翻耕等将其改造为两用林的投入。②除竹林改造与成林后年均净收益为当年值外,其他为以种植年份为基期的贴现值。

3 不同经营类型毛竹林固碳能力对比分析

3.1 竹林固碳能力计算方法

竹林固碳包括地上固碳和地下生固碳 2 个部分。鉴于竹林生态系统地下生物量较为稳定^[9],本研究假定竹林地下部分固碳量保持不变,并且竹林地上部分固碳量采伐后能以耐用竹制品形式得以保持。根据调查,毛竹成林以后,为了保持林分结构稳定实现持续经营,一般根据采伐量等于生长量的原则确定竹材采伐量,因此,毛竹成林以后年均固碳量可以根据实际竹材采伐量来推算。对于成林之前,因缺乏相关调查数据,本研究根据已有相关文献研究结果进行推算^[10,16]。具体计算公式如下:

$$C_{AG}=C_{AG}^b+C_{AG}^m=\sum_{t=1}^{T_b} Q_t \delta + \sum_{t=T_b+1}^T V_{lw} B_{ef} D_w \delta \quad (2)$$

式(2)中: C_{AG} 单位面积毛竹林地上部分固碳量, C_{AG}^b 为成林前单位面积毛竹林固碳量, C_{AG}^m 为成林后单位面积毛竹林固碳量, t 为年份, T_b 为成林前抚育年数, T 为竹林经营周期, Q_t 为成林前第 t 年毛竹(地上部分)年生长量, V_{lw} 为成林后年均毛竹(竹竿)采伐量, δ 为毛竹碳密度系数,取 0.504 2^[9], B_{ef} 为毛竹地上部分与竹竿的比例,取 1.54^[16], D_w 为毛竹干物质比率,取 0.55^[16]。

此外,根据公式(2)计算得到毛竹林地上生物量以后,可以利用公式(3)计算得出毛竹全株固碳量。

$$C_w=C_{AG}/R \quad (3)$$

式(3)中: R 为地上生物量占毛竹全株生物量的比例,取 0.625^[8]。

3.2 不同经营类型竹林固碳能力对比分析

表 3 为不同经营类型竹林固碳能力状况。可以看出:①材用林固碳能力高于两用林。假定经营期限为 60 a,材用林地上部分年均固碳量为 4.07 t·hm⁻²,是两用林的 1.24 倍。之所以材用林固碳能力比两用林强,其主要原因在于,为了提高竹笋产量,一般两用林林地留竹密度较材用林要低。如果考虑化肥施用而导致的额外排放,那么这一差距可能还会更大,因为两用林化肥施用量要高于材用林。②毛竹林年

表 3 不同经营类型毛竹固碳能力比较

Table 3 An comparison of carbon sequestration capacity of different management types bamboo plantation

地上/全株	经营类型	毛竹固碳能力/(t·hm ⁻²)		
		成林前年均	成林后年均	60 a 平均
地上部分①	材用林	2.57	4.30	4.07
	两用林	2.57	3.40	3.29
毛竹全株②	材用林	4.11	6.88	6.51
	两用林	4.11	5.44	5.26

说明:根据调查数据计算得到。①地上部分指毛竹竹竿、竹枝叶;②毛竹全株包括竹竿、竹枝叶、竹兜、竹根等。

均固碳能力高于同等立地适生条件下速生杉木林的固碳能力。假定经营周期为 60 a，材用林与两用年均全株林固碳量分别是同等立地适生条件下速生杉木林的 1.87 倍和 1.51 倍^[17]，这一结果与周国模等^[9]研究结论毛竹林年均固碳量是速生杉木林的 1.46 倍比较接近。

4 主要结论与讨论

本研究基于浙江省龙游与安吉县农户调查数据，就材用林与两用林的经营效益及其相应的固碳能力进行了分析，结果表明：第一，在当前经营技术与市场环境下，如果考虑经营者自身劳动投入成本，毛竹材用林与两用林的经营效益没有明显差异，成林后材用林年均净收益为 5 500.00 元·hm⁻²，两用林为 5 800.00 元·hm⁻²。如前所述，尽管两用林收益水平高于材用林，但其投入水平特别是用工投入成本也远高于材用林，随着劳动力成本进一步上涨，用材林经营效益甚至可能超过两用林；当然两者之间的比较效益变化，还取决于主要投入要素(劳动、土地、资本)和主要产出(竹材与竹笋)相对价格的变动关系。第二，在 60 a 经营期限内，材用林与两用林的年均全株固碳能力分别 6.51 t·hm⁻² 和 5.26 t·hm⁻²，分别是同等立地同等适生条件下速生杉木林的 1.87 倍和 1.51 倍。其中，材用林固碳能力高于两用林的主要原因是，两用林林地留竹密度一般要小于材用林林地留竹。另外，需要指出的是，竹林属于异龄林成林后可以连续间伐并始终保持林地覆盖，一般不会造成林地水土流失等问题,这与杉木等同龄林相比具有一定的优势。

基于上述研究结果，笔者认为：①与同等立地同等适生条件下速生杉木林相比，毛竹林具有较强的年均固碳能力，是较为理想的森林碳汇树种。但因竹林为异龄林，成林后每 2 a 采伐 1 次，毛竹所固定的碳因连续采伐发生转移，但目前对毛竹伐后竹材竹制品固碳机理相关研究尚比较薄弱，因此，今后需要加强对竹子伐后竹制品固碳相关研究，以便于对毛竹综合固碳能力做出更为全面可靠的评价。②随着森林碳汇价值的日益凸显，以及中国劳动力成本的不断提高，可能会促使更多的经营者选择材用林，这对于增加竹林固碳具有正面作用。由于材用林固碳能力强于两用林，在其他条件不变的情况下，如果森林碳汇价值能够得以实现，材用林经营效益提高幅度将大于两用林，相反由于两用林劳动投入强度相对较大，如果劳动力成本上升，两用林经营效益的下降幅度要大于材用林。当然，如果劳动力成本继续大幅度上升，经营者还将可能放弃竹林经营，这将对增加竹林固碳具有负面作用。

参考文献：

- [1] 周国模. 毛竹林生态系统中碳储量、固定及其分配与分布的研究[D]. 杭州：浙江大学，2006.
ZHOU Guomo. *Carbon Storage, Fixation and Distribution in Mao Bamboo (Phyllostachys pubescens) Stands Ecosystem*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [2] LOU Yiping. *Bamboo Forest's Role in Mitigating Climate Change* [R]. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2009.
- [3] MARSH J, SMITH N. *New Bamboo Industries and Pro-poor Impacts: Lessons from China and Potential for Mekong Countries* [EB/OL]. [2013-12-15].<http://www.jeevika.org>.
- [4] Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Global Forest Resources Assessment 2010: Main Report* [M]. New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010.
- [5] SCURLOCK J M O, DAYTON D C, HAMES B. Bamboo: an overlooked biomass resource [J]. *Biomass & Bioenergy*, 2000, **19**(4): 229 – 244.
- [6] 陈先刚, 张一平, 张小全, 等. 过去 50 年中国竹林碳储量变化[J]. 生态学报, 2008, **28**(11): 5218 – 5227.
CHEN Xiangang, ZHANG Yiping, ZHANG Xiaoquan, *et al.* Carbon stock changes in bamboo stands in China over the last 50 years [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(11): 5218 – 5227.
- [7] CHEN Xiangang, ZHANG Xiaoquan, ZHANG Yiping, *et al.* Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years [J]. *For Ecol Manage*, 2009, **258**(7): 1489 – 1496.
- [8] 周国模, 吴家森, 姜培坤. 不同管理模式对毛竹林碳储量的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, **28**(6): 51 – 55.
ZHOU Guomo, WU Jiasen, JIANG Peikun. Effects of different management models on carbon storage in *Phyl-*

- lostachys pubescens* forests [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, **28**(6): 51 – 55.
- [9] 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 *Phyllostachys pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40**(6): 20 – 24.
- [10] KUEHL Y, LI Y, HENLEY G. Impacts of selective harvest on the carbon sequestration potential in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) plantations [J]. *For Tree Livelihoods*, 2013, **22**(1): 1 – 18.
- [11] 肖复明, 范少辉, 汪思龙, 等. 毛竹、杉木人工林生态系统碳储量及其分配特征[J]. 生态学报, 2007, **27**(7): 2794 – 2801.
XIAO Fuming, FAN Shaohui, WANG Silong, *et al.* Carbon storage and spatial distribution in *Phyllostachys pubescens* and *Cunninghamia lanceolata* plantation ecosystem [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27**(7): 2794 – 2801.
- [12] YEN T M, LEE J S. Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model [J]. *For Ecol Manage*, 2011, **261**(6): 995 – 1002.
- [13] 唐晓鹿, 范少辉, 漆良华. 不同经营措施对毛竹林碳储量及碳分配影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, **34**(4): 736 – 742.
TANG Xiaolu, FAN Shaohui, QI Lianghua. Effect of different managements on carbon storage and carbon allocation in moso bamboo forest (*Phyllostachys pubescens*) [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2012, **34**(4): 736 – 742.
- [14] GUO Zhimei, ZHANG Yaoqi, DEEGEN P, *et al.* Economic analyses of rubber and tea plantations and rubber-tea intercropping in Hainan, China [J]. *Agrofor Syst*, 2006, **66**(2): 117 – 127.
- [15] SHIBATA S, KUMAR A, RAO I V R, *et al.* Flowering of *Phyllostachys pubescens* and germination of caryopses [EB/OL]. [2013-12-15]. <http://www.cabdirect.org/abstracts/20033051060.html;jsessionid=95489D7904CC11C06EAB0580A4D4A7C>.
- [16] 陈双林, 吴柏林, 吴明, 等. 退化低丘红壤新造毛竹林地上部分生物量的研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, **26**(4): 527 – 531.
CHEN Shuanglin, WU Bolin, WU Ming, *et al.* A study on aboveground biomass of young bamboo stands of *Phyllostachys pubescens* in degenerative hill soil area [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2004, **26**(4): 527 – 531.
- [17] 方晰, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、储量和分布[J]. 林业科学, 2002, **38**(3): 14 – 19.
FANG Xi, TIAN Dalun, XIANG Wenhua. Density, storage and distribution of carbon in Chinese fir plantation at fast growing stage [J]. *Sci Silv Sin*, 2002, **38**(3): 14 – 19.