

浙江省安吉县 CCER 竹林经营碳汇交易项目经济效益分析

李 佳¹, 顾 蕾^{1,2,3}, 朱玮强¹, 施拥军³, 计 薇¹, 郑轶枫⁴

(1. 浙江农林大学 经济管理学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学 浙江省农民发展研究中心, 浙江 杭州 311300; 3. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 杭州 311300; 4. 南京农业大学 经济管理学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 基于《竹林经营碳汇项目方法学》和改进的项目经济效益评价模型, 对浙江省安吉县中国核证减排量(CCER)竹林经营碳汇交易项目的经济效益进行定量评估, 并在不同情景下对项目净现值进行敏感性分析。结果表明: 在当前市场条件下, 竹林经营碳汇交易项目在 30 a 周期内净现值为 19 567.52 万元, 年均净现值为 652.25 万元·a⁻¹, 单位面积净现值为 13.72 万元·hm⁻², 相比传统竹林经营增加了 42.05%; 项目累计二氧化碳减排量为 249 658 t, 年均减排量 8 322 t·a⁻¹, 单位面积减排量 175 t·hm⁻², 项目减排量累计现值 465.40 万元, 年均现值 15.51 万元·a⁻¹, 单位面积现值 0.33 万元·hm⁻²。在相同因素变化率的情景下, 项目净现值的敏感程度大小依次为竹材价格>贴现率水平>劳动力价格>碳汇价格。根据研究结论, 从碳汇价格、农民增收和市场环境等 3 个方面为更好地持续开展竹林经营碳汇交易项目提出了相关建议。表 9 参 16

关键词: 林业经济学; 中国核证减排量(CCER); 竹林经营碳汇; 经济效益评估; 敏感性分析; 安吉县

中图分类号: S7-98 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2018)04-0581-08

Economic benefit of carbon sequestration project of CCER bamboo forest management in Anji County, Zhejiang Province

LI Jia¹, GU Lei^{1,2,3}, ZHU Weiqiang¹, SHI Yongjun³, JI Wei¹, ZHENG Yifeng⁴

(1. College of Economics and Management, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Province Farmer Development Research Center, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystem Carbon Sequestration, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 4. College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: Based on *The Bamboo Forest Management Carbon Sequestration Project Methodology* and improved project economic benefit evaluation model, this research conducted a quantitative evaluation of the economic benefits of CCER bamboo forest management carbon sequestration project and analyzed the sensitivity of the net present value under different scenarios. The results showed that the net present value of bamboo forest management carbon sequestration project was 195.675 2 million yuan in total, 6.522 5 million yuan per year and 137 200 yuan per hectare under the current market conditions, which was 42.05 per cent higher than that of the traditional bamboo forest management. Total carbon dioxide emission reduction was 249 658 t; the average annual emission reduction was 8 322 t; the amount of emission reduction per hectare was 175 t·hm⁻². The net present value of the project emission reduction was 4.654 0 million yuan in total, 155 100 yuan per year

收稿日期: 2017-08-23; 修回日期: 2017-11-08

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(18BGL174); 国家自然科学基金资助项目(31370637); 浙江省大学生新苗人才计划项目(2018R412043); 浙江农林大学学生科研训练基金资助项目(2013200046); 中国绿色碳汇基金会资助项目(201610200218)

作者简介: 李佳, 从事森林碳汇研究。E-mail: 839887911@qq.com。通信作者: 顾蕾, 副教授, 从事森林碳汇、林产品碳储量和碳足迹研究。E-mail: gulei@zafu.edu.cn

and 3 300 yuan per hectare. The degree of sensitivity of the net present value of the project was bamboo price > discount rate > labor price > carbon price in the same rate of change scenarios. On the basis of the research findings, the relevant suggestions were put forward from three perspectives, namely, carbon price, farmer's income, and market environment, to carry out bamboo forest management carbon sequestration project better. [Ch, 9 tab. 16 ref.]

Key words: forestry economics; CCER; bamboo forest management carbon sequestration; economic benefit assessment; sensitivity analysis; Anji County

以二氧化碳为主的温室气体排放引起的全球气候变暖已成为当今世界所面临的最具挑战性的环境问题之一。通过“森林增汇”的方式应对气候变化不仅潜力巨大,而且成本较低^[1]。中国政府提出2020年森林面积比2005年增加4 000万hm²,2030年森林蓄积量比2005年增加45亿m³的“森林增汇”目标。国家林业局制定了《关于推进林业碳汇交易工作的指导意见》,要求积极发展林业碳汇和重点探索林业碳汇自愿减排交易。竹林作为中国重要森林资源,在增汇减排方面有着天然的优势^[2]。根据第八次全国森林资源调查数据,中国现有竹林面积为601万hm²。近年来,国内外不少学者围绕竹林生态系统的固碳特征、固碳潜力和影响竹林固碳能力的主要因素等展开了一系列研究,并且取得了丰硕的成果。在竹林固碳特征方面,毛竹 *Phyllostachys edulis* 的平均碳密度为0.504 g·g⁻¹,不同器官中的碳储量由高到低依次为竹秆、竹根和竹叶,竹林乔木层年固碳量为5.097 t·hm⁻²^[2]。在过去的100 a间,中国竹林固碳量呈现持续上升的趋势,1999–2003年中国竹林固碳量达到6.315 8亿t^[3]。集约经营下,毛竹林单位面积固碳能力是粗放经营情景下毛竹林的1.56倍,毛竹林的固碳能力显著提高,同时集约竹林年平均固碳量是同等立地条件下杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、马尾松 *Pinus massoniana* 林以及热带雨林的2~4倍,毛竹林是森林固碳的优势林种^[4];与无经营抚育措施相比,施肥、清兜除鞭和除草翻耕等经营抚育措施能增加毛竹林乔木层的固碳量,进而提高了毛竹林总的固碳量^[5-6]。从长期来看,定期对毛竹林进行适度采伐能够提高毛竹林的固碳能力^[7]。此外,毛竹生长速度快、更新周期短、生长量大、成林后可隔年连续采伐,毛竹林经营对提高竹林主产区农民收入与增加森林碳汇都具有重要作用^[8-10]。尽管竹林经营在增汇减排方面展现出很大优势,但是基于《竹林经营碳汇项目方法学》(编号:AR-CM-005-V01,以下简称《方法学》)开展的安吉县中国核证减排量(CCER)竹林经营碳汇交易项目为全国首次,项目投资价值及潜力如何尚不确定,各因素对项目经济效益的影响程度如何也有待研究。鉴于此,本研究基于《方法学》和改进的项目经济效益评估模型对浙江省安吉县竹林经营碳汇交易项目经济效益进行定量评估,并在不同情景下对项目净现值进行敏感性分析,以期为中国竹林主产区的CCER竹林经营碳汇交易项目开发决策及政府实现“森林增汇”目标政策制定提供参考依据。

1 项目概况及数据来源

1.1 项目概况

安吉县地处长江三角洲腹地,是浙江北部一个极具发展特色的生态县,有“中国第一竹乡”“中国竹地板之都”之美誉,森林资源丰富,其中竹林面积约7.0万hm²。毛竹林面积约5.5万hm²,占竹林面积的78.57%,立竹量1.71亿株,是当地最重要的适生竹种。2015年安吉县竹产业总产值达190亿元^[11],成为当地社区农民的主要收入来源,为竹林经营碳汇开发提供了良好的自然条件和经济基础。安吉县于2016年1月1日起在山川乡和天荒坪镇实施竹林经营碳汇交易项目,2016年5月11日,该项目在中国自愿减排交易信息平台公示。根据《安吉县竹林经营碳汇交易项目设计文件》,竹种类型为毛竹林,经营规模为1 426.27 hm²,项目在30 a运行期内预计产生249 658 t减排量,年均减排量为8 322 t·a⁻¹。

该项目将通过6~8 a的调整,毛竹竹龄结构由3度竹变为4度竹,林分胸径增加到11.0~11.5 cm,立竹密度增加到4 100~4 200株·hm⁻²,以提高项目区内竹林的生物量,从而实现竹林经营增汇的目的。根据《方法学》和项目设计文件的要求,基线分层和项目分层主要根据预期达到的目标林分结构状况(如立竹密度、平均胸径、竹龄结构等)及调整年限来划分碳层。整个项目划分为7个碳层(表1),基线分层和项目分层主要用于项目减排量、竹材和竹笋产出计算。

表 1 竹林经营碳汇交易项目基线分层和项目分层

Table 1 Baseline stratification and project stratification of bamboo forest management carbon sequestration project

碳层编号	调整年限/a	基线林分胸径/cm	项目林分胸径/cm	基线林分年龄结构/度	项目林分年龄结构/度	基线林分立竹密度/(株·hm ⁻²)	项目毛竹立竹密度/(株·hm ⁻²)	面积/hm ²
PROJ-1	6	9.11	11.50	3	4	3 025	4 100	118.38
PROJ-2	6	8.85	11.00	3	4	3 200	4 200	153.63
PROJ-3	6	8.75	11.00	3	4	3 075	4 200	361.71
PROJ-4	6	9.25	11.50	3	4	3 100	4 100	143.00
PROJ-5	6	9.12	11.50	3	4	3 050	4 100	95.53
PROJ-6	6	8.56	11.00	3	4	3 250	4 200	37.85
PROJ-7	8	8.01	11.00	3	4	2 850	4 200	516.18

说明：数据来源于调查数据整理；基线林分年龄结构为 1 度:2 度:3 度=1:1:1，项目林分年龄结构为 1 度:2 度:3 度:4 度=1:1:1:1

1.2 数据来源

2016 年 8 月，首先通过对项目实施地安吉县山川乡高家堂村、大里村、马家弄村、山川村 140 户农户问卷调查以及合作社理事长的关键信息人访谈，获得竹林经营投入、竹材竹笋产量和销售情况等数据。其次，通过二手数据收集，获得安吉县竹林经营碳汇交易项目设计文件和竹林经营实施方案等基本信息，包括竹林经营规模、项目减排量、项目分层、竹林经营措施以及项目开发费用等。

2 竹林经营碳汇交易项目经济效益分析

2.1 产出分析

根据《方法学》，为了改善竹林结构和维持竹林健康持续生长，在项目经营周期内需要隔年挖笋和竹林择伐作业，除项目减排量外，竹材竹笋也是竹林经营碳汇交易项目的重要产出。计算竹材产出，首先利用单株毛竹生物量模型^[12][式(1)]估算各碳层单株毛竹生物量，进一步根据竹秆干质量比 0.44^[13][式(2)]，计算得到各碳层单株毛竹鲜质量(表 2)，最后使用式(3)计算得出竹材产出。本研究在计算过程中林分结构调整阶段各碳层毛竹立竹密度和单株毛竹质量取项目目标与基线水平的平均值。各碳层基线 and 项目单株毛竹鲜质量计算公式为：

$$M_i=747.787D_i^{2.771}\left(\frac{0.148A}{0.028+A}\right)^{5.555}+3.772, \tag{1}$$

$$M_{PROJ_i}=M_i/0.44. \tag{2}$$

式(1)~式(2)中： M_i 为第 i 碳层毛竹单株生物量(干质量， $\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$)， D_i 为第 i 碳层毛竹胸径(cm)， A 为竹龄(度)； M_{PROJ_i} 为林分结构稳定阶段第 i 碳层单株毛竹质量($\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$)。

竹材、竹笋产出计算公式为：

$$V_{ht}=\sum_{i=1}^7(N_iW_{PROJ_i}+N_{Ti}V_{PROJ_i})I_{C,PROJ_i}A_{PROJ_i}, \tag{3}$$

$$V_{jt}=\sum_{i=1}^7(N_iF_{C,PROJ_i}+N_{Ti}F_{D,PROJ_i})A_{PROJ_i}. \tag{4}$$

式(3)~式(4)中： V_{ht} 为第 t 年竹材产出(kg)， N_i 为林分结构稳定阶段第 i 碳层毛竹立竹密度(株·hm⁻²)； N_{Ti} ，

表 2 各碳层单株毛竹质量

Table 2 Individual bamboo's weight of each carbon layer

碳层编号	基线单株毛竹平均质量/(kg·株 ⁻¹)	项目单株毛竹平均质量/(kg·株 ⁻¹)	项目调整阶段单株毛竹平均质量/(kg·株 ⁻¹)	项目调整阶段毛竹立竹密度/(株·hm ⁻²)	碳层编号	基线单株毛竹平均质量/(kg·株 ⁻¹)	项目单株毛竹平均质量/(kg·株 ⁻¹)	项目调整阶段单株毛竹平均质量/(kg·株 ⁻¹)	项目调整阶段毛竹立竹密度/(株·hm ⁻²)
	PROJ-1	26.67	43.53	35.10		3 562	PROJ-5	26.72	43.53
PROJ-2	25.27	39.48	32.38	3 700	PROJ-6	23.80	39.48	31.64	3 725
PROJ-3	24.75	39.48	32.12	3 637	PROJ-7	21.24	39.48	30.36	3 525
PROJ-4	27.45	43.53	35.49	3 600					

V_{PROJ_i} 分别为林分结构调整阶段第 i 碳层毛竹立竹密度 ($\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$) 和单株毛竹质量 ($\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$); $I_{C,PROJ_i}$ 为第 t 年第 i 碳层项目情景竹林择伐强度, 数值为 25%; $V_{j,t}$ 为第 t 年竹笋产出 (kg); $F_{C,PROJ_i}$ 和 $F_{D,PROJ_i}$ 分别为项目林分结构稳定阶段与调整阶段第 i 碳层挖笋强度, 数值为 30% 和 25%, A_{PROJ_i} 为项目边界内第 i 碳层毛竹的面积 (hm^2)。基于式(3)和式(4), 并结合基线分层和项目分层(表 1), 单株毛竹质量(表 2)以及相关参数, 计算得出竹林经营碳汇交易项目与传统竹林经营竹材竹笋产出(表 3), 竹材、竹笋产值和项目减排量收益均为各年现金流量, 并假设竹材、竹笋以及碳汇价格以 2016 年为基准保持不变。项目 30 a 周期内累计二氧化碳减排量为 249 658 t, 年均减排量 8 322 t, 单位面积减排量 175 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$; 竹材总产量为 83 954.44 万 kg, 年均 2 798.48 万 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$, 单位面积 58.86 万 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 相比传统竹林经营提高了 63.66%; 竹笋产量为 2 508.34 万 kg, 年均 83.61 万 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$, 单位面积 1.76 万 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 相比提高了 18.10%。

表 3 竹林经营碳汇交易项目与传统竹林经营产出分析

Table 3 Output analysis of bamboo forest management carbon sequestration project and traditional bamboo forest management

时间	竹林经营碳汇交易项目						传统竹林经营			
	竹材产量/ 万 kg	竹材产值/ 万元	竹笋产量/ 万 kg	竹笋产值/ 万元	项目减排 量/t	减排量收 益/万元	竹材产量/ 万 kg	竹材产值/ 万元	竹笋产量/ 万 kg	竹笋产值/ 万元
第 1 年	4 135.98	2 233.43	128.07	320.17	7 042	21.13	3 419.79	1 846.69	141.60	353.99
第 2 年	0.00	0.00	0.00	0.00	18 757	56.27	0.00	0.00	0.00	0.00
第 3 年	4 135.98	2 233.43	128.07	320.17	20 156	60.47	3 419.79	1 846.69	141.60	353.99
第 4 年	0.00	0.00	0.00	0.00	18 757	56.27	0.00	0.00	0.00	0.00
第 5 年	4 135.98	2 233.43	128.07	320.17	25 328	75.98	3 419.79	1 846.69	141.60	353.99
第 6 年	0.00	0.00	0.00	0.00	18 757	56.27	0.00	0.00	0.00	0.00
第 7 年	5 266.69	2 844.01	159.09	397.73	15 973	47.92	3 419.79	1 846.69	141.60	353.99
第 8 年	0.00	0.00	0.00	0.00	5 990	17.97	0.00	0.00	0.00	0.00
第 9 年	6 025.44	3 253.74	178.64	446.60	10 809	32.43	3 419.79	1 846.69	141.60	353.99
第 10 年	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
...
第 29 年	6 025.44	3 253.74	178.64	446.60	10 809	32.43	3 419.79	1 846.69	141.60	353.99
第 30 年	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合计	8 3954.44		2 508.34		249 658		51 296.89		2 123.93	
年平均	2 798.48		83.61		8 322		1 709.90		70.80	
单位面积量	58.86		1.76		175		35.97		1.49	

说明: 根据调查, 竹材、竹笋平均价格分别为 0.54 和 2.50 元 $\cdot\text{kg}^{-1}$; 根据 2016 年中国碳市场信心指数(CMCI), 碳汇价格取值 30.00 元 $\cdot\text{t}^{-1}$; 传统竹林经营竹材采伐强度和挖笋强度为 33%, 1 株竹笋平均质量为 1.0 kg; 第 9~30 年为竹林结构稳定期, 未给出的奇数年竹材竹笋产出与减排量收益同第 9 年, 偶数年同第 10 年

2.2 投入分析

竹林经营碳汇交易项目因其经营目标的特殊性, 竹林采伐、除草翻耕、清兜除鞭和施肥等经营技术措施采取人工作业的方式, 所有的竹林经营措施从项目第 1 年开始实施。根据调查, 除草翻耕(林地垦复+割灌除草+施肥)4 a 进行 1 次, 单位面积用工 15.0 工日 $\cdot\text{hm}^{-2}$; 清兜除鞭工作 15 a 进行 1 次, 单位面积用工 22.5 工日 $\cdot\text{hm}^{-2}$; 竹林采伐和挖笋均 2 a 进行 1 次, 单位面积用工分别为 15.0 和 7.0 工日 $\cdot\text{hm}^{-2}$; 单位面积施肥 600 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 化肥价格按 2016 年化肥市场平均价格 3.00 元 $\cdot\text{kg}^{-1}$ 计算; 劳动力价格采用 2015 年《安吉统计年鉴》中农业劳动者平均报酬, 取值 143.80 元 $\cdot\text{工日}^{-1}$ 。

此外, 竹林经营碳汇交易项目于 2016 年 1 月 1 日起正式实施, 项目开发及管理费用共计 180.00 万元, 其中竹林经营作业设计费 10.00 万元, 项目设计文件 20.00 万元, 项目审定费 10.00 万元(第 1 年支付); 项目监测与监测报告编写费 60.00 万元(分 3 期支付), 项目核证费 30.00 万元(分 3 期支付)和项目管理费(含检查、监理、验收、宣传、管护等费用)50.00 万元(分 3 期支付)。表 4 为竹林经营碳汇交易项目各年经营投入现金流量。

表 4 竹林经营碳汇交易项目投入分析

Table 4 Input analysis for bamboo forest management carbon sequestration project

时间	除草/万元	竹材/万元	挖笋/万元	清兜/万元	化肥/万元	项目开发及管理/万元	合计/万元
第 1 年	307.65	307.65	143.57	461.47	256.73	90.00	1 567.06
第 3 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	0.00	451.21
第 5 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	0.00	1 015.59
第 7 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	0.00	451.21
第 9 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	0.00	1 015.59
第 11 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	40.00	491.21
第 13 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	0.00	1 015.59
第 15 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	0.00	451.21
第 16 年	0.00	0.00	0.00	461.47	0.00	0.00	461.47
第 17 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	0.00	1 015.59
第 19 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	0.00	451.21
第 21 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	50.00	1 065.59
第 23 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	0.00	451.21
第 25 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	0.00	1 015.59
第 27 年	0.00	307.65	143.57	0.00	0.00	0.00	451.21
第 29 年	307.65	307.65	143.57	0.00	256.73	0.00	1 015.59

说明：表中未给出的年份竹林经营投入现金流量为 0

2.3 竹林经营碳汇交易项目净现值分析

目前，大部分研究者主要从净现值、内部收益率和林地期望值 3 个角度研究林地经营效益，其中净现值法是最为常用的方法^[14-16]。同时，竹林经营碳汇交易项目运行周期较长，在评估项目经济效益时需要考虑资金的时间价值，因此本研究选择的是净现值法。改进后的项目经济效益评估模型可表示为：

$$N_{\text{净}} = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta C_{\text{NET},t} P_C + P_a V_{\text{材},t} + P_b V_{\text{笋},t} - X_t P_f A_{\text{PROJ},t} - L_t P_l A_{\text{PROJ},t} - K_t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

式(5)中： $N_{\text{净}}$ 竹林经营碳汇交易项目净现值(万元)； T 为项目运行周期，取值 30 a； t 为项目活动开始后的年数； r 为贴现率。本研究根据银行长期存款利率取值 5%； $\Delta C_{\text{NET},t}$ 为项目第 t 年减排量(t)； P_C 为碳汇价格(元·t⁻¹)，本研究根据 2016 年中国碳市场信心指数(CMCI)，现取值 30 元·t⁻¹； $V_{\text{材},t}$ 、 $V_{\text{笋},t}$ 为第 t 年竹材、竹笋产出(kg)； P_a 、 P_b 为 2016 年竹材、竹笋平均价格(元·kg⁻¹)，根据调查数据，数值为 0.54 和 2.50 元·kg⁻¹； X_t 为第 t 年项目边界内单位面积肥料使用量(kg·hm⁻²)； L_t 为第 t 年单位面积劳动力投入量(工·hm⁻²)； P_f 、 P_l 为肥料价格(元·kg⁻¹)和劳动力价格(元·工日⁻¹)； $A_{\text{PROJ},t}$ 为项目边界内第 i 碳层毛竹的面积(hm²)； K_t 为第 t 年项目开发及管理费。

基于净现值公式(5)，并结合竹林经营碳汇交易项目和传统竹林经营各年产出现金流量(表 3)，竹林经营投入现金流量(表 4)以及相关计量参数，可以计算出 30 a 周期内竹林经营碳汇交易项目和传统竹林经营的净现值(表 5)。结果表明：在当前市场条件下，竹林经营碳汇交易项目在 30 a 周期内净现值为 19 567.52 万元，年均 652.25 万元·a⁻¹，单位面积 13.72 万元·hm⁻²，与传统竹林经营相比提高了 42.05%。其中，项目减排量累计现值 465.40 万元，年均 15.51 万元·a⁻¹，单位面积 0.33 万元·hm⁻²；项目竹材累计现值 22 675.20 万元，年均 755.84 万元·a⁻¹，单位面积 15.90 万元·hm⁻²，提高了 55.95%；竹笋累计现值 3 152.98 万元，年均 105.10 万元·a⁻¹，单位面积 2.21 万元·hm⁻²，提高了 13.12%。竹材竹笋收益明显增加。同时，竹林经营碳汇交易项目累计投入 6 726.07 万元，年均投入 224.20 万元·a⁻¹，单位面积投入 4.72 万元·hm⁻²，相比增加 89.32%，大幅度上升。根据项目协议，项目产生的竹材收益归合作社所有，由其负责分配，所以农户将获得项目的大部分收益。这说明在 CCER 碳排放交易市场条件下，竹林经营碳汇交易项目开发与交易不仅有利于实现竹林碳汇功能的经济补偿，而且大大提升了竹林产品产量和收益，增加农民收入。这为竹林主产区政府相关部门制定扶贫政策提供了新方向。

表5 竹林经营碳汇交易项目和传统竹林经营净现值分析

Table 5 Net present value analysis of bamboo forest management carbon sequestration project and traditional bamboo forest management

经济效益	竹林经营碳汇交易项目			传统竹林经营		
	30 a 周期/万元	单位面积/(万元·hm ²)	年平均/(万元·a ⁻¹)	30 a 周期/万元	单位面积/(万元·hm ²)	年平均/(万元·a ⁻¹)
碳汇收益	465.40	0.33	15.51			
竹材收益	22 675.20	15.90	755.84	14 540.26	10.19	484.68
竹笋收益	3 152.98	2.21	105.10	2 787.19	1.95	92.91
经营投入	6 726.07	4.72	224.20	3 552.73	2.49	118.42
净现值	19 567.52	13.72	652.25	13 774.72	9.66	459.16

说明：根据农户调查，传统竹林经营为粗放经营，基本无竹林管理措施，因此除采运成本以外的成本忽略不计，竹林采伐与挖笋用工分别为 15.0 和 7.0 工日·hm⁻²

3 竹林经营碳汇交易项目净现值敏感性分析

竹林经营碳汇交易项目周期长，未来竹林经营要素投入价格、竹林产品价格、碳汇价格和贴现率的变化都将影响项目净现值产生，最终可能影响企业投资开发竹林经营碳汇交易项目的积极性及竹林碳汇供给水平。为了研究市场环境变化对项目净现值的影响，本研究就碳汇价格、贴现率、竹材和劳动力价格因素变化对竹林经营碳汇交易项目净现值的可能影响进行定量分析。

3.1 碳汇价格变化对项目净现值的敏感性分析

随着碳交易市场的构建和完善，碳汇交易已经在中国部分区域形成良好的发展态势，碳汇价格不断上涨。从表 6 可以看出：随着碳汇价格提高，项目累计净现值和年平均净现值均呈上升趋势。具体而言，在其他因素不变的条件下，当碳汇价格上升 50%(碳汇价格为 45.00 元·t⁻¹)时，项目净现值和年平均净现值上升到 19 800.20 万元和 660.00 万元·a⁻¹，分别提高 1.19%；当碳汇价格下降 50%(碳汇价格为 15.00 元·t⁻¹)时，项目净现值和年平均净现值下降 1.19%。

3.2 贴现率变化对项目净现值的敏感性分析

表 7 显示：贴现率变化对项目净现值具有负影响。具体而言，当贴现率水平提高 50%(贴现率为 7.5%)时，项目净现值和年均净现值下降到 14 632.20 万元和 487.70 万元，分别下降了 25.22%；而当贴现率水平降低 50%(贴现率为 2.5%)时，项目净现值与年均净现值上升到 27 310.20 万元和 910.30 万元·a⁻¹，分别提高了 39.57%。

3.3 竹材价格变化对项目净现值的敏感性分析

竹材、竹笋价格的变化都会对项目净现值产生影响。从表 8 可以看出：竹材价格变化对项目净现值具有正影响。当竹材价格上涨 50%(竹材价格为 0.81 元·kg⁻¹)时，项目净现值和年均净现值将分别增加到 30 905.10 万元与 1 030.20 万元·a⁻¹，相比当前市场条件下项目净现值提高 57.94%；当竹材价格下降 50%(竹材价格为 0.27 元·kg⁻¹)时，项目净现值和年均净现值皆下降 57.94%。

表 6 碳汇价格变化对竹林经营碳汇交易项目净现值影响

Table 6 Impact of change in carbon price on net present value of bamboo forest management carbon sequestration project

变化率/%	碳汇价格/(元·t ⁻¹)	项目净现值/万元	项目年均净现值/万元	净现值敏感程度/%
-50	15.00	19 334.80	644.50	-1.19
-30	21.00	19 427.90	647.60	-0.71
-10	27.00	19 521.00	650.70	-0.24
0	30.00	19 567.50	652.30	0.00
+10	33.00	19 614.10	653.80	0.24
+30	39.00	19 707.10	656.90	0.71
+50	45.00	19 800.20	660.00	1.19

说明：变化率中“+”表示上升，“-”表示下降

表 7 贴现率变化对竹林经营碳汇交易项目净现值影响

Table 7 Impact of change in discount rate on net present value of bamboo forest management carbon sequestration project

变化率/%	贴现率/%	项目净现值/万元	项目年均净现值/万元	净现值敏感程度/%
-50	2.5	27 310.20	910.30	39.57
-30	3.5	23 770.70	792.40	21.48
-10	4.5	20 841.90	694.70	6.51
0	5.0	19 567.50	652.30	0.00
+10	5.5	18 402.50	613.40	-5.95
+30	6.5	16 357.50	545.30	-16.40
+50	7.5	14 632.20	487.70	-25.22

说明：变化率中“+”表示上升，“-”表示下降

3.4 劳动力价格变化对项目净现值的敏感性分析

从表 9 可以看出：劳动力价格变化对竹林经营碳汇交易项目净现值具有负影响。当劳动力价格上涨 50% (劳动力价格为 215.70 元·工日⁻¹) 时，项目净现值和年均净现值分别下降到 16 812.80 万元和 560.40 万元·a⁻¹，相比当前市场条件下净现值下降 14.08%；当劳动力价格下降 50% (劳动力价格为 71.90 元·工日⁻¹) 时，项目净现值和年均净现值将分别增长 14.08%。

表 8 竹材价格变化对竹林经营碳汇交易项目净现值影响

Table 8 Impact of change in bamboo price on the net present value of bamboo forest management carbon sequestration project

变化率/ %	竹材价格/ (元·kg ⁻¹)	项目净现 值/万元	项目年均净 现值/万元	净现值敏 感程度/%
-50	0.27	8 229.90	274.30	-57.94
-30	0.38	12 848.90	428.30	-34.34
-10	0.49	17 468.00	582.30	-10.73
0	0.54	19 567.50	652.30	0.00
+10	0.59	21 667.10	722.20	10.73
+30	0.70	26 286.10	876.20	34.34
+50	0.81	30 905.10	1 030.20	57.94

说明：变化率中“+”表示上升，“-”表示下降

表 9 劳动力价格变化对竹林经营碳汇交易项目净现值影响

Table 9 Impact of change in labor price on the net present value of bamboo forest management carbon sequestration project

变化 率/%	劳动力价格/ (元·工日 ⁻¹)	项目净现 值/万元	项目年均净 现值/万元	净现值敏 感程度/%
-50	71.90	22 322.20	744.10	14.08
-30	100.70	21 218.80	707.30	8.44
-10	129.40	20 119.20	670.60	2.82
0	143.80	19 567.50	652.30	0.00
+10	158.20	19 015.80	633.90	-2.82
+30	186.90	17 916.20	597.20	-8.44
+50	215.70	16 812.80	560.40	-14.08

说明：变化率中“+”表示上升，“-”表示下降

4 结论与建议

4.1 结论

本研究基于《方法学》和改进的项目经济效益评估模型，以浙江省安吉县竹林经营碳汇交易项目为例，对当前条件下项目经济效益进行了定量评估，并对不同情景下项目净现值的变化进行了敏感性分析。研究表明：①在当前市场条件下，竹林经营碳汇交易项目减排效果明显，项目经济效益与传统竹林经营相比显著提高。项目 30 a 累计减排量为 249 658 t，年均减排量 8 322 t·a⁻¹，单位面积减排量 175 t·hm⁻²；项目净现值为 19 567.52 万元，年均 652.25 万元·a⁻¹，单位面积 13.72 万元·hm⁻²，与传统竹林经营相比提高了 42.05%，但相对竹材和竹笋收益来说竹林碳汇收益较低，因此竹林碳汇收益有待进一步提高。②碳汇价格、贴现率、竹材和劳动力价格的变化对项目净现值的影响程度存在明显差异，在因素变化率相同的情景下，项目净现值敏感程度大小依次为竹材价格>贴现率水平>劳动力价格>碳汇价格，说明竹林经营碳汇交易项目经济效益受竹林产品市场环境变化的影响较大。

4.2 建议

基于上述研究结论，提出以下建议：①目前，中国 30.00 元·t⁻¹ 左右的碳交易价格与国际上 100.00~200.00 元·t⁻¹ 的碳汇价格相比还有很大的差距，这也为未来竹林经营碳汇交易项目的开展提供了很大的空间与可能性。为充分发挥竹林在应对气候变化中的作用，政府应继续培育碳交易市场及完善相关配套服务，提升碳汇价格，进一步提升项目的碳汇收益，激发企业投资开发竹林经营碳汇交易项目的积极性，增加竹林碳汇供给水平。②与传统竹林经营相比，竹林经营碳汇交易项目显著提高了竹林经营经济效益。因此，综合运用网络、电视、报纸等媒介以及组织林业相关部门或高校相关专业学生进入基层对碳汇相关知识及竹林经营碳汇交易项目进行宣传介绍，特别是加大在竹林主产区农村社区的宣传力度，提高农户碳汇意识和竹林经营碳汇认知程度，规范农户的竹林经营方式，提升竹林产品的产量和质量，促进农民增收。③总体来说，竹林产品价格、贴现率等市场因素变化对竹林经营碳汇交易项目经济效益影响较大，因此，在建立全国统一碳市场的基础上，继续完善各项配套制度，充分利用碳市场调节政策，为 CCER 竹林经营碳汇交易项目持续开展创造稳定的市场环境。

5 参考文献

- [1] 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]. *Am J Agric Econ*, 1995, **77**(2): 365 – 374.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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 *Phyllostachys pubescens* forests [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, **28**(6): 51 – 55.
- [5] 漆良华, 刘广路, 范少辉, 等. 不同抚育措施对闽西毛竹林碳密度、碳储量与碳格局的影响[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(8): 1482 – 1488.
QI Lianghua, LIU Guanglu, FAN Shaohui, et al. Effects of different tending measures on *Phyllostachys pubescens*'s carbon density, carbon storage and carbon pattern in Minxi [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28**(8): 1482 – 1488.
- [6] 唐晓鹿, 范少辉, 漆良华, 等. 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, et al. Effect of different managements on carbon storage and carbon allocation in Moso bamboo forest (*Phyllostachys pubescens*) [J]. *J Jiangxi Agric Univ*, 2012, **34**(4): 736 – 742.
- [7] KUEHL Y, LI Yanxia, HENLEY G. Impacts of selective harvest on the carbon sequestration capacity in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) plantations [J]. *For Trees Livelihoods*, 2013, **22**(1): 1 – 18.
- [8] LOU Yiping, LI Yanxia, BUCKINGHAM K, et al. *Bamboo and Climate Change Mitigation: A Comparative Analysis of Carbon Sequestration* [R]. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 2013.
- [9] HOGARTH N J, BELCHER B. The contribution of bamboo to household income and rural livelihoods in a poor and mountainous county in Guangxi, China [J]. *Int For Rev*, 2013, **15**(1): 71 – 81.
- [10] WU Weiguang, LIU Qiang, ZHU Zhen, et al. Managing bamboo for carbon sequestration, bamboo stem and bamboo shoots [J]. *Small Scale For*, 2015, **14**(2), 233 – 243.
- [11] 张健, 张宏亮, 易秀琴, 等. 经济新常态下竹产业发展对策思考: 以安吉为例[J]. 世界竹藤通讯, 2016, **14**(5): 34 – 38.
ZHANG Jian, ZHANG Hongliang, YI Xiuqin, et al. Countermeasures and thoughts on bamboo industry development under the new economic development pattern: a case study of Anji [J]. *World Bamboo Ratt*, 2016, **14**(5): 34 – 38.
- [12] 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. *Study on Carbon Storage, Fixation and Its Distribution and Distribution in Bamboo Forest Ecosystem* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [13] 顾蕾, 沈振明, 周宇峰, 等. 浙江省毛竹竹板材碳转移分析[J]. 林业科学, 2012, **48**(1): 186 – 190.
GU Lei, SHEN Zhenming, ZHOU Yufeng, et al. Analysis of carbon transfer in Moso bamboo plank in Zhejiang Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2012, **48**(1): 186 – 190.
- [14] ZHANG Yaoqi. Multiple-use forestry vs. forestland-use specialization revisited [J]. *For Policy Econ*, 2003, **7**(2): 143 – 156.
- [15] 吴伟光, 刘强, 朱臻. 考虑碳汇收益情境下毛竹林与杉木林经营的经济学分析[J]. 中国农村经济, 2014(9): 57 – 70.
WU Weiguang, LIU Qiang, ZHU Zhen. An economic analysis of the management of *Phyllostachys pubescens* and *Cunninghamia lanceolata* in the situation of carbon sequestration [J]. *Chin Rural Econ*, 2014(9): 57 – 70.
- [16] 苏立娟, 张谱, 何友均. 森林经营综合效益评价方法与发展趋势[J]. 世界林业研究, 2015, **28**(6): 6 – 11.
SU Lijuan, ZHANG Pu, HE Youjun. Comprehensive benefit evaluation on forest management and its development trend [J]. *World For Res*, 2015, **28**(6): 6 – 11.