

碳汇林业的木材收益与碳汇收益评价的实证分析

齐 岩 吴保国

【提 要】碳汇林业建设在全球经济、政治、社会和生态方面发挥越来越重要的作用。中国作为发展中国家的代表,已成为碳汇供给的主力之一,碳汇林业建设更具战略意义。在碳汇交易的利益导向下,对碳汇林业的收益进行评价是推进碳汇林业建设的关键。采用 Hartman 木材与生态舒适性产出评价模型,对河北省邢台市任县永福庄乡林业的木材收益及碳汇收益进行评价,可以得出当地碳汇林的最优轮伐期为 10 年,并计算得出最优化的综合收益预期值。

【关键词】碳汇林业 Hartman 模型 木材收益 碳汇收益

〔中图分类号〕 F316.2 **〔文献标识码〕** A **〔文章编号〕** 1000—2952 (2011) 04—0060—05

一、碳汇林业建设助推 低碳经济发展

在倡导可持续发展的时代,碳汇已经不是陌生词汇。简单地讲,碳汇就是减少空气中的二氧化碳的过程,即固碳;而固碳的一个重要途径是造林,即发展“碳汇林业”。“碳汇林业”的提法出现于《中共中央国务院关于 2009 年促进农业稳定发展农民持续增收的若干意见》中,是指发挥森林的碳汇功能,吸收和固定大气中的二氧化碳,以达到调节气候的目标。^①

碳汇林业具有改善生态环境、缓解贫困、促进经济发展等促进可持续发展的功能。^② 现今全世界都认识到人类社会的发展不能依赖对资源的过度开发和利用,更不能以破坏生态环境为代价,因为这样的发展是不可持续的。全球气候的变化以及自然灾害的频发为人类社会敲响警钟,人类必须改变原有的生产、生活方式,“低碳经济”应运而生。

低碳经济是要建立一个提取地球资源的利息而不是本金的社会,这个形象的类比道出了低碳经济的本

质,而碳汇林业建设是推动低碳经济发展的重要途径之一。^③ 浙江省的实践经验可以证明碳汇林业对低碳经济发展起积极的推动作用。^④

根据中国国情,充分发挥林业的碳汇功能是发展低碳经济的重要内容和最容易的途径之一。通过碳汇林业建设发展低碳经济,具有成本低、综合效益好的特点,是实现我国经济社会的可持续发展、维护国家生态安全的重要途径。因此,需要认真理解并积极贯彻全国人大在《关于积极应对气候变化的决议》中提出的“实施重点生态建设工程,增强碳汇能力,继续推进植树造林,积极发展碳汇林业,增强森林碳汇功能”。^⑤

①⑤ 李怒云、杨炎朝、陈叙图:《发展碳汇林业 应对气候变化》,《中国水土保持科学》2010 年第 1 期。

② 李怒云、龚亚珍、章升东:《林业碳汇项目的三重功能分析》,《世界林业研究》2006 年第 3 期。

③ 黄忠平、许英鹏:《发展低碳经济 促进可持续发展》,《珠海市行政学院学报》2010 年第 5 期。

④ 张健康、宋绪忠:《碳汇林业助推低碳经济发展》,《浙江林业》2010 年第 1 期。

二、碳汇交易兴起亟待 量化碳汇价值

全球气候变化引起了世界各国对于可持续发展的高度关注和深度思考。1997 年在日本京都诞生的《京都议定书》建立了旨在减排温室气体的三个灵活合作机制，即国际排放贸易机制、联合履行机制和清洁发展机制。通过这三种机制将森林碳汇作为商品，在市场上通过碳信用自由转换成温室气体排放权，帮助某国家完成温室气体减排义务，这就形成了森林碳汇服务市场，即所谓的碳汇交易，通过市场机制最终达到有效地调节温室气体在全球的排放总量的目的。^①

中国现在主要参与的是清洁发展机制（CDM），其基本要义是由发达国家提供资金、技术、设备，帮助发展中国家企业的工艺流程改造、实现减排目标，而由此产生的减排额度则作为提供资助的一方履行《京都议定书》所规定的一部分权利，还可以将此排放额度放到碳市场进行交易。CDM 的本质是发展低碳经济的动力机制和运行机制，通过实体经济的技术革新和结构转型，减少对化石燃料的依赖，降低温室效应。^②

在目前国际主要的碳交易市场上，发达国家普遍活跃，因为发达国家创建了绝大多数的碳汇交易市场。在供求关系上，以美国为代表的发达国家对于碳汇额度的需求较大，美国已经成为碳汇二级市场上最大的需求方，享有较强的主动权；而以中国为代表的发展中国家向碳交易市场提供了较大额度，中国成为众多发展中国家中碳汇交易的主要供给者。由此可见，中国在国际碳汇交易市场上的战略考虑应该以增加供给为导向，力求构建具备国际碳资产定价权的世界碳交易平台。达到低成本、高附加值的效果，是中国近年来构建碳交易市场的要务。^③

在碳汇交易兴起的背景下，固碳价值的评估无论从呼吁公众加强对碳汇功能的重视、还是从碳汇的量化进而促进碳汇交易发展的角度讲，都将发挥重要的作用。从我国在世界碳汇市场的地位来看，碳汇价值的量化对我国尤为必要和重要。

三、碳汇林业木材收益及碳汇 收益评价方法

总结现有的森林生态系统碳储量的评价方法，为人们系统地认识现有的碳汇评价方法提供了便利。现有的评价方法有以下几种：微气象学法，就是通过

边界层内的风向、风速、温度等与从地表到林冠上层二氧化碳浓度的垂直梯度变化的测定，估算二氧化碳在生态系统中的输入和输出流量；样地清查法，根据碳的计算基础的不同，这种方法又可分为平均生物量法、生物量转换因子法和生物量转换因子连续函数法。^④ 碳汇价值被定义为碳蓄积价值和碳固定价值之和，其中针对碳固定价值量，目前比较成熟的评价方法有碳税法、排放许可市场价格法和人工固定二氧化碳成本法等。碳蓄积价值量目前可以通过仓储成本法、温室效应损失法、人工储存成本法等来近似估算。^⑤

现有的研究对林业碳汇价值使用不同方法进行评价，目的是通过评价结果证明并量化林业的碳汇功能，但是仅对林业碳汇现有的碳汇储量进行评价，而不着重于林业建设实践的应用或经营决策的辅助，不利于生产经营实践的科学决策。本研究尝试使用 Hartman 木材与生态舒适性产出评价模型对河北省邢台市任县永福庄乡的林业经营进行木材及碳汇收益的评价，更重要的是能够通过最优轮伐期的选择为碳汇林业建设提供有力的经营决策辅助和支持。

Hartman 木材与生态舒适性产出评价模型，以下将简称为 Hartman 模型，是由 Richard Hartman 在 20 世纪 70 年代中期基于对 Faustmann 最优轮伐期模型的发展和延伸而提出的，它是将森林创造的生态舒适性引入传统的单方面考虑经济收益的森林综合收益评价模型。Hartman 模型是综合考量森林的经济收益和生态收益的最优轮伐期模型。在 Richard Hartman 提出该模型后，也得到众多学者的认可与追随，并在 Hartman 模型基础上，对其进行发展和延伸。^⑥

包括林木的木材收益和碳汇收益评价在内的 Hartman 模型表达式如下：

- ① 何英、张小全、刘云仙：《中国森林碳汇交易市场现状与潜力》，《林业科学》2007 年第 7 期。
- ② 周志勇、蒋小敏：《〈京都议定书〉和碳交易》，《教师博览》2010 年第 4 期。
- ③ 于同申、张欣潮、马玉荣：《中国构建碳交易市场的必要性及发展战略》，《社会科学辑刊》2010 年第 2 期。
- ④ 王秀云、孙玉军：《森林生态系统碳储量估测方法及其研究进展》，《世界林业研究》2008 年第 5 期。
- ⑤ 谢高地、李士美、肖玉、祁悦：《碳汇价值的形成和评价》，《自然资源学报》2011 年第 1 期。
- ⑥ Amacher G. S., Ollikainen M., Koskela E. A., Economics of Forest Resources, Cambridge: The MIT Press, 2009.

$$\max_{T \geq T_0} LEV(T) = \frac{1}{1 - e^{-rT}}$$

$$\left[-C + p(T)V(T)e^{-rT} + \sum_{t=1}^T p_c g(t) \right] \\ \left[e^{-n} - e^{-rT} \sum_{t=1}^T p_c V(T)q(t)e^{-n} \right] \quad (1-1)$$

其中,

C 为营林成本 (regeneration cost),

$p(T)$ 为木材价格 (stumpage price at age T),

p_c 为碳汇价格 (social benefits of carbon sequestration),

r 为贷款利率或折现率 (discount rate),

$V(T)$ 为在轮伐期 T 年的活立木蓄积 (growing stock of timber at age T),

$g(t)$ 为活立木 t 年的生长量 (timber growth at age t),

$q(t)$ 为 t 年采伐的木材的腐烂速度 (rate of decay of harvested timber at time t) (%),

d 为采伐的木材完全腐烂的时间长度 (time period during which the harvested timber completely decays)。

四、应用 Hartman 模型评价木材收益及碳汇收益的实例分析

笔者采用河北省邢台市任县永福庄乡的碳汇林业建设实践作为实证研究对象, 被调研的农户拥有林地的使用权, 树种选择的是生产周期相对短、经济效益较高的杨树, 种植密度平均为 120 株/亩, 这和河北省林业调查规划设计院的“杨树造林技术规程”当中关于杨木纸浆用材林的种植密度相仿。^① 当地生产经营成本和相关市场价格如下:

a) 土地租金即土地使用的机会成本为 250 元/亩·年, 也就是说该经营者若将此土地出租给他人使用, 则可获得每年每亩 250 元的租金收入。

b) 初始经营时经营者的预期资本收益率为 10.35%。

c) 营林成本:

①造林成本: 整地费 80 元/亩 (包括客土)、苗木费 4 元/株、栽植费 80 元/亩、机畜动力费 40 元/亩, 合计造林成本为 584 元/亩;

②抚育和管护成本: 20 元/亩·年;

③化肥、病虫害防治为 180 元/亩。

d) 商品材销售价格 (主伐期): 杨树为 500 元/立方米。

e) 参考杨树速生丰产林的生长模型,^② 考虑到本实例中的杨树属于人工培育的同龄用材林, 造林的立地条件相似, 单位面积上的造林株数即密度有所限定, 因此本研究采用单株木的材积收获模型对纯林经营模式及林农复合经营模式下的林分收获量进行评价和预估。由于是单株木模型, 为了得到每亩杨树的材积收获量, 本研究将单株木的材积乘以每亩栽培的杨树的株数。下面给出三个级别的杨树胸径一年龄模型和树高一胸径模型:

1 级胸径一年龄模型:

D1

$$= \text{EXP} (2.7712458 + 0.9588566 * \text{LOG} (1 - \text{EXP} (-0.117 * A), 2.718282))$$

1 级树高一胸径模型:

H1

$$= 17.43851 * (1 - \text{EXP} (-0.036 * D))^{-1.09160}$$

3 级胸径一年龄模型:

D3

$$= \text{EXP} (3.4191903 + 1.0525998 * \text{LOG} (1 - \text{EXP} (-0.117 * A), 2.718282))$$

3 级树高一胸径模型:

H3

$$= 24.61143 * (1 - \text{EXP} (-0.036 * D))^{-0.84239}$$

5 级胸径一年龄模型:

D5

$$= \text{EXP} (3.80012 + 1.09051 * \text{LOG} (1 - \text{EXP} (-0.117 * A), 2.718282))$$

5 级树高一胸径模型:

H5

$$= 32.19667 * (1 - \text{EXP} (-0.036 * D))^{-0.75939}$$

① 河北省林业调查规划设计院: “杨树造林技术规程” (2005 年), 河北省地方标准 DB13/T654—2005。

② B. Wu, Y. Qi, C. Ma, H. Zhang, Harvest Evaluation Model and System of Fast-Growing and High-Yield Poplar Plantation. Mathematical and Computer Modelling, vol. 51, no. 11 (2010), pp. 1444—1452.

二元材积模型：
$$V = 0.00006405 * D^2.013964 * H^0.758265$$

为了考察一般立地条件下的林木生长状况，本研究采用 3 级胸径一年龄模型和 3 级树高一胸径模型计算材积，以期取得对生长收获量较为平均的预测。

f) 将杨树的蓄积量转化为生物量依据公式 $B = a * V$ ，其中 B 为总生物量，V 为林木蓄积量，a 为系数，根据杨树的生物量结构，a 可以设为 1.49，则 $B = 1.49 * V$ 。^{①②}

g) 将林地上的总生物量转化为碳汇储量，国际上通常采用 0.5 的转化率，这样可以得出以下公式，碳汇储量=生物量 * 0.5。^③
h) 碳汇价格可以采用城市森林固碳的造林成本值 273.3 元/吨。^④

应用 Hartman 模型，即公式 (1-1) 对当地单纯经营杨树人工林的经营模式在各年的收益进行评价，可得到各种轮伐期的木材收益和碳汇收益，在本研究中仅提取轮伐期为 1~20 年的各年木材收益和碳汇收益，则可得表 1 中的数据。

表 1 河北省邢台市任县永福庄乡杨树经营木材与碳汇收益评价结果
Tab. 1 The Assessment Results of Poplar Timber and Carbon Sequestration Income of Yongfuzhuang Village Ren County Xingtai City Hebei Province

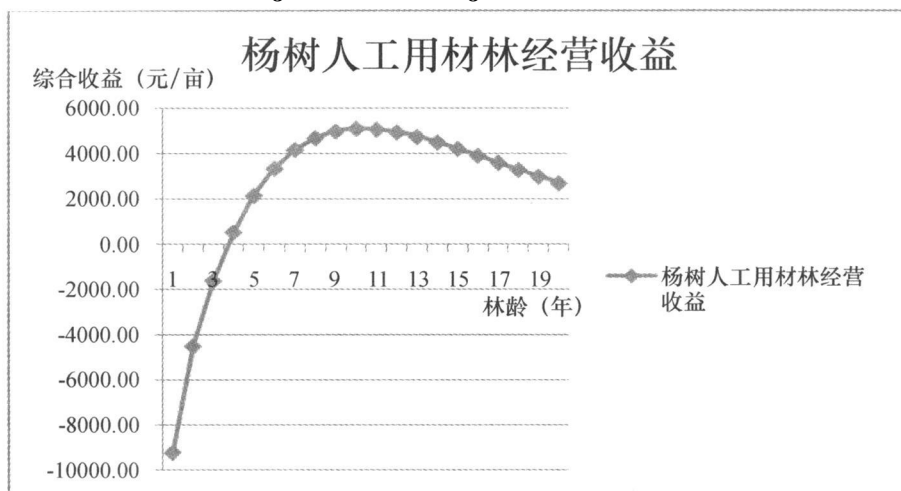
林龄 (年)	林木蓄积 (m ³ /亩)	累积营林 成本现值 (元/亩)	累积碳汇 收益现值 (元/亩)	累积杨木 收益现值 (元/亩)	杨木收益 期望价值 (元/亩)	碳汇收益 期望价值 (元/亩)	综合收益 (元/亩)	折现率
1	0.186435	405.75	0	-905.7	-9211.41	0	-9211.41	0.901676
2	1.067301	771.61	145.82	-921.74	-4929.63	432.24	-4497.4	0.81302
3	2.754274	1101.5	397.62	-675.95	-2532.4	923.04	-1609.36	0.73308
4	5.148211	1398.95	719.81	-281.46	-830.28	1371.42	541.15	0.661001
5	8.084873	1667.15	1076.18	158.17	391.53	1770.44	2161.97	0.596009
6	11.394027	1908.99	1438.27	568.63	1229.22	2117.66	3346.88	0.537407
7	14.923607	2127.04	1786.5	904.7	1755.22	2415.13	4170.35	0.484567
8	18.547829	2323.66	2108.92	1144.32	2032.26	2667.31	4699.57	0.436922
9	22.167918	2500.94	2399.3	1281.72	2114.92	2879.59	4994.52	0.393962
10	25.70961	2660.79	2655.46	1321.57	2049.67	3057.49	5107.16	0.355226
11	29.119487	2804.93	2877.84	1274.55	1875.16	3206.14	5081.3	0.320299
12	32.361172	2934.89	3068.46	1154.16	1622.85	3330.18	4953.03	0.288806
13	35.411798	3052.07	3230.21	974.71	1317.91	3433.63	4751.54	0.260409
14	38.258952	3157.74	3366.32	749.96	980.09	3519.94	4500.03	0.234805
15	40.89813	3253.01	3480.09	492.43	624.68	3592.01	4216.69	0.211718
16	43.330658	3338.91	3574.64	213.02	263.28	3652.28	3915.56	0.190901
17	45.562042	3416.37	3652.85	-79.06	-95.49	3702.77	3607.28	0.172131
18	47.600667	3486.22	3717.27	-376.25	-445.38	3745.16	3299.78	0.155206
19	49.456793	3549.19	3770.16	-672.56	-781.99	3780.85	2998.85	0.139946
20	51.141795	3605.97	3813.45	-963.29	-1102.4	3810.96	2708.56	0.126186

① 姜东涛：《森林制氧固碳功能与效益计算的探讨》，《华东森林经理》2005 年第 2 期。
②④ 范九生、郑芷青：《广州市“万亩果园”固碳制氧生态价值的估算》，《现代农业科学》2008 年第 11 期。
③ 徐天蜀：《基于遥感信息的森林生物量、碳储量估测技术研究》，《林业调查规划》2008 年第 3 期。

从表1中可以看出,该农户经营的杨树人工用材林的包括木材收益和碳汇收益在内的最大综合收益期望值将在轮伐期为10年的时候取得,最大值为5107.16元/亩,其中,木材收益为2049.67元/亩、碳汇收益为3057.49元/亩。数据可以用图1的形式更为直观地来描述。

由此可见,通过使用Hartman木材与生态舒适性产出评价模型能够为农民或林业工作者提供经营综合收益期望值的预测或评价,而且这种评价是货币化的、切实贴近农民和林业工作者的直观利益,可以通过该评价或预测结果选择最优轮伐期,从而为他们的经营实践提供参考和决策支持。

图1 河北省邢台市任县永福庄乡杨树人工用材林经营综合收益评价结果
Fig. 1 The Assessment Results of Comprehensive Income of Yongfuzhuang Village Ren County Xingtai City Hebei Province



本文作者: 齐岩是北京林业大学森林经理专业
2008级博士研究生, 中国农业大学国际学院

讲师; 吴保国是北京林业大学信息学院教授
责任编辑: 王姣娜

An Empirical Analysis of the Assessment on the Income of Timber and Carbon Sequestration from Carbon Sequestration Forestry

Qi Yan Wu Baoguo

Abstract: Carbon sequestration forestry construction has been playing a more and more important role in economy, politics, society and ecology across the world. China, especially, as a typical representative of developing countries, has become one of the major suppliers of carbon sequestration, so that carbon sequestration forestry construction is particularly important for China. Therefore, the assessment on the income of carbon sequestration forestry is the key given the profit-orientated carbon sequestration trade. By using the Hartman Models of Timber and Amenity Production to assess the income of timber and carbon sequestration in Yongfuzhuang Village, Ren County, Xingtai City, Hebei Province in China, the conclusion that the optimal rotation age is ten years can be reached and the optimal expected value of comprehensive income of carbon sequestration forests can be calculated.

Key words: carbon sequestration forestry; Hartman Models; timber income; income of carbon sequestration