

引用格式:黄宰胜,陈钦. 基于造林成本法的林业碳汇成本收益影响因素分析[J]. 资源科学, 2016, 38(3):0485-0492. [Huang Z S, Chen Q. Influencing factors analysis of forestry carbon sequestration cost-benefit based on afforestation cost methods[J]. *Resources Science*, 2016, 38(3):0485-0492]. DOI: 10.18402/resci.2016.03.11

基于造林成本法的林业碳汇成本收益影响因素分析

黄宰胜¹, 陈 钦^{1,2}

(1. 福建农林大学经济学院, 福州 350002; 2. 国家林业局杉木工程技术研究中心, 福州 350002)

摘 要:林业碳汇市场化进程缓慢,碳汇成本是关键影响因素之一。本文借鉴Benítez固碳模型,考虑土地利用的机会成本和木制品的碳释放成本,构建了基于造林成本法的林业碳汇成本模型,并对浙江省瑞安市20年期的湿地松碳汇造林项目进行实证分析。文中动态分析了轮伐期、木材价格、贴现率和劳动力价格等因素对碳汇成本收益的影响,结果表明:随着轮伐期的增加,湿地松碳汇成本先下降再上升,若考虑木材收益,20年期的碳汇成本为21.86元/t,可获得碳汇收益;若不考虑木材收益,其碳汇成本则为670.33元/t,高于国际和国内市场高位碳汇价格,将不能获得收益;此外,碳汇成本还与木材价格负相关,与贴现率和劳动力价格正相关,文中还分别分析了其保本点的木材价格、贴现率和劳动力价格。

关键词:造林成本法;林业碳汇;成本收益;因素分析

DOI: 10.18402/resci.2016.03.11

1 引言

林业碳汇具有多重效益和成本较低、经济可行等优点,是应对全球气候变化的重要措施^[1]。林业碳汇价值评价常用的方法,一种是从成本角度评价的方法,如造林成本法、人工固定CO₂成本法和碳税法等;另一种是从市场效益角度评价的方法,如市场价值法、成本效益法和支付意愿法等。目前,由于碳汇交易的不完备和尚未征收碳税,林业碳汇价值多用造林成本法来近似估算^[2]。造林成本法涉及的林业碳汇成本主要包括机会成本、造林成本、管护成本和交易成本等四部分^[3]。国内外学者运用造林成本法对碳汇成本或固碳成本进行了大量研究。侯元兆等较早利用造林成本数据计算得出中国人工造林固定CO₂的平均成本为273.3元/t^[4]。Van Kooten等对全球森林碳汇成本研究进行了文献回顾和分析,得出大部分森林碳汇成本在(3~280)美元/t^[5]。SoEun Ahn运用土地利用的经济计量模型和省级面板数据,对韩国的林业碳汇单位固碳成本

进行了模拟分析,研究得出韩国的林业碳汇的成本在(122~486)美元/t,增加林业碳汇在韩国是经济可行的减排政策,虽然其成本不是最低的^[6]。

在碳汇成本影响因素方面,Galik等认为交易成本占整个实施成本的比例一般不到25%^[7],Pearson等指出由于未考虑交易成本,现有碳汇价格的估计值比实际值最大降低30%^[8]。Dang Phan等对发展中国家1995-2012年之间的32个主要研究项目的277个对象进行了面板回归,分析发现避免毁林的单位固碳成本影响因素包括项目面积大小、碳汇计量方法、经营期限、交易成本、土地利用方式和农业在GDP中的比重等^[9]。Torres等考虑《京都议定书》清洁发展机制(下简称CDM)碳汇造林项目缺乏有效激励而受到限制的背景,运用平均成本曲线和经济收支分析法,分析了基于部分市场均衡的墨西哥两个自愿市场农林造林和再造林项目的碳汇供应成本,研究得出由于规模经济和机会成本的原因,碳汇成本和碳汇造林面积的关系曲线呈“U”型^[9]。

收稿日期:2015-08-26;修订日期:2015-11-28

基金项目:国家自然科学基金项目(71273052)。

作者简介:黄宰胜,男,浙江瑞安人,博士生,主要从事森林生态经济研究。E-mail:66173001@qq.com

通讯作者:陈钦,E-mail:956585977@qq.com

上述案例多为大尺度的森林,从投入产出视角的具体碳汇造林项目研究较少,在成本归集上大多忽视机会成本、交易成本和碳释放成本。因此,对国内来讲,需要更多的碳汇造林项目案例研究,以确定不同树种、立地条件、项目规模和经营方式条件下的碳汇成本,从而丰富林业碳汇生产的理论和实践。鉴于此,本文借鉴 Benítez 的固碳模型^[10],考虑土地利用的机会成本和木制品的碳释放成本,构建林业碳汇成本模型,以浙江省瑞安市 20 年期的湿地松碳汇造林项目为研究对象,运用投入产出的林业碳汇成本收益分析框架,动态分析了轮伐期、木材价格、贴现率和劳动力价格等因素对林业碳汇成本收益的影响,以期为政府和林业碳汇生产者提供决策参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 林地净现值模型

林地净现值可表述为一块林地上无限轮伐期条件下的木材价值和非木材价值的净现值之和,其中非木材价值来源于森林的游憩价值、涵养水源、碳汇服务、生物的多样性和一些干鲜果等非木材产品,文中仅考虑碳汇价值。林地净现值与轮伐期密切相关,当木材处于最佳轮伐期时,该值最大,此时的林地净现值也称林地价格。因此,修正后的 Hartman 模型无限轮伐期条件下林地净现值模型表达式为^[11]:

$$NPV^{\infty} = NPV_t + NPV_c$$

$$= \frac{P_t Q(t) e^{-rt} + \int_0^t P_c Q'(t) e^{-rt} dt - C}{1 - e^{-rt}} \quad (1)$$

式中 NPV^{∞} 、 NPV_t 和 NPV_c 分别为无限轮伐期下的林地净现值、木材收益净现值和碳汇收益净现值; P_t 和 P_c 分别为木材价格和碳价格,本研究湿地松原木价格 P_t 取其平均价格 1 000 元/ m^3 ; $Q(t)$ 为树龄为 t 年时的单位面积蓄积量; $Q'(t)$ 为 $Q(t)$ 的导数,表示年蓄积生长量函数; r 为连续贴现率,文中贴现率 r 取银行长期存款利率 5%; C 为碳汇项目投入总成本,包括营造成本、计量监测成本、管护成本等。对公式(1)求关于树龄 t 的导数,并令其等于零,便可得到最佳轮伐期条件下的最大林地净现值。

碳汇造林项目投入总成本进一步细化为:

$$C = C_f + C_m + C_h \quad (2)$$

式中 C_f 为初始营林、抚育和计量监测等成本; C_m 为每年管护成本; C_h 为采伐运输成本。此外,为了便于研究,碳汇造林投入总成本可简化为:

$$C = wE \quad (3)$$

式中 w 为劳动力单位成本,即每工日的价格; E 为劳动力投入总量。假定碳汇项目是在裸地上造林,一个轮伐期结束后还需支付相同的造林成本,同时轮伐期内不进行任何形式的采伐。需对部分成本进行折现,同时考虑木材的出材率 δ ,湿地松的平均出材率取 0.75,则木材收益净现值为:

$$NPV_t = \frac{\delta P Q(t) e^{-rt} - C}{1 - e^{-rt}}$$

$$= \frac{\delta (P_t - C_h) Q(t) e^{-rt} - C_f - \frac{C_m (1 - e^{-rt})}{1 - e^{-rt}}}{1 - e^{-rt}} \quad (4)$$

同时,由于地下碳库和地面枯落物碳库数据难以获取,文中仅考虑地上生物量碳库。当考虑碳汇价值时,需将地上树干蓄积量转换为碳含量,同时考虑木制品的碳释放成本,因此碳汇收益净现值模型为:

$$NPV_c = \frac{\int_0^t \lambda P_c Q'(t) e^{-rt} dt - P_c (1 - \alpha) R \cdot e^{-rt}}{1 - e^{-rt}} \quad (5)$$

式中 λ 为碳转换系数,据《碳汇造林项目方法学》^[12],该值由基本木材密度、生物量扩展因子和生物量含碳率乘积所得,湿地松的碳转换系数 λ 为 0.350; R 为林木在一个轮伐期末采伐时的单位面积含碳量,也就是单位蓄积量 $Q(t)$ 和碳转换系统 λ 的乘积; α 为长期固定在木制品中的碳比例,当 $\alpha = 0$ 时,所有木制品中的碳在采伐时,便通过燃烧等途径,瞬间全部释放到大气中;当 $\alpha = 1$ 时,木材采伐后而转移的碳,全部长时间地贮藏在木制品中,并没有因腐烂而释放。文中把 α 看成是木制品腐烂速度的函数,木制品的腐烂导致的碳释放速度是关于时间 t 的指数方程^[13],则木制品中的碳含量 $W(t)$,其表达式如下:

$$W(t) = \beta \cdot R \cdot e^{-v_1(t-T)} + (1 - \beta) \cdot R \cdot e^{-v_2(t-T)} \quad (6)$$

式中 T 为轮伐期,则 $(t-T)$ 为林木采伐后的时间; v_1 为长期耐用木制品的腐烂速度,参考 Sohngen 等的

2016年3月

研究,湿地松的 v_1 取每年0.79%; v_2 为短期木制品的腐烂速度,湿地松的 v_2 取每年1.03%^[13]; β 为木制品中长期耐用品的比例,文中取50%^[10]。

对公式(6)求关于树龄 t 的导数,得到 $W(t)'$,即为木制品的碳释放速度,其表达式如下:

$$W(t)' = -\beta \cdot R \cdot v_1 \cdot e^{-v_1(t-T)} - (1-\beta) \cdot R \cdot v_2 \cdot e^{-v_2(t-T)} \quad (7)$$

假定木材采伐后的碳含量 R ,只贮藏在以下两部分木制品中:一部分是贮藏在长期耐用实木制品中,如建材、家具和锯材,这部分碳释放速度较慢;另一部分则贮藏在短期制品中,如包装材料等,这部分碳释放速度则较快。则碳汇收益净现值的一个轮伐期表达式为:

$$NPV_c = P_c \cdot R \cdot e^{-rT} - P_c \int_{t=T}^{\infty} W(t)' e^{-rt} dt \quad (8)$$

将公式(7)代入公式(8)中,并对其求解,可得:

$$NPV_c = \left[1 - \frac{v_1 \beta}{v_1 + r} - \frac{v_2 (1-\beta)}{v_2 + r} \right] \cdot P_c \cdot R \cdot e^{-rT} \quad (9)$$

由公式(5)可知,一个轮伐期条件下的碳汇收益净现值为:

$$NPV_c = P_c \cdot \alpha \cdot R \cdot e^{-rT} \quad (10)$$

则木材采伐后长期固定在木制品中的碳比例 α 为:

$$\alpha = 1 - \frac{v_1 \beta}{v_1 + r} - \frac{v_2 (1-\beta)}{v_2 + r} \quad (11)$$

结合公式(4)、公式(5)和公式(11)可知,轮伐期 t 不同,林地净现值也不同,只有 t 处于最佳轮伐期时,林地净现值最大,此时,其值可表述为:

$$NPV^\infty = \max(NPV_t + NPV_c) \quad (12)$$

2.1.2 农用地净现值

假定土地经营者可自由选择土地的利用方式,且只有两种可供选择的利用方式,即农业生产和林业碳汇生产。若 i 地区的土地用于农业生产,种植的农作物生产周期为1年,则1年内该地区土地单位面积(hm^2)的农业收益净现值 n_i 为:

$$n_i = Q_i - C_i \quad (13)$$

式中 Q_i 为1年内单位面积土地的农业生产总值(不含林牧渔业); C_i 为1年内单位面积农业种植成本,则其销售利润率 p_i 为:

$$p_i = n_i / Q_i \times 100\% \quad (14)$$

假定上述农业生产单位面积种植成本和收益不变,则无限个生产周期内的农用地净现值 A_i 为:

$$A_i = n_i \sum_{t=1}^{\infty} (1+r)^{-(t-1)} = n_i / r \quad (15)$$

文中假定单位面积土地的年农业收益利润率 p_i 与贴现率 r 相等,则根据公式(14)和公式(15)可以得到:

$$A_i = Q_i \quad (16)$$

即用于农业生产的单位面积土地的永久收益净现值等于其每年的农业总产值(不含林牧渔业)。案例地浙江温州市2013年单位面积农业总产值为32 926.03元/ hm^2 (根据2014温州市统计年鉴整理所得),即其农用地净现值 A 为32 926.03元/ hm^2 。

2.1.3 林业碳汇成本模型

当土地经营者在农业生产和碳汇生产作出选择时,作为“理性经济人”,其更倾向于土地收益净现值较高的利用方式,也就是说,只有当用于生产碳汇的永久收益净现值 $NPV^\infty \geq A$ 时,土地经营者才会从事碳汇生产。而当 $NPV^\infty = A$ 时,林业碳汇价格即林业碳汇成本最低,其表达式为:

$$P_c = \frac{A(1 - e^{-rT}) - \left[\delta(P_t - C_h)Q(t)e^{-rt} - C_f - \frac{C_m(1 - e^{-rT})}{1 - e^{-r}} \right]}{\int_0^T \lambda Q'(t)e^{-rt} dt - \lambda(1 - \alpha)Q(t)e^{-rT}} \quad (17)$$

公式(17)计算结果为单位固碳价格,目前碳市场交易均以每吨二氧化碳当量价格为计价单位^[14],1t碳等价于3.67t二氧化碳,公式(17)的计算结果需再除以3.67得到最低单位碳汇成本。一般情况下,碳汇生产只有在市场的碳汇价格高于碳汇成本的地区发生,碳汇成本越低则其碳汇收益就越高。

2.1.4 湿地松生长模型的选择

由于立地条件和经营水平的差异,会导致不同的湿地松生长状况。关于湿地松的生长模型相关研究较多,主要有林分模型和单株模型等^[15]。本文选用蓄积量和树龄的生长模型,根据欧玉林的研究成果^[16],湿地松单株蓄积量生长模型为:

$$Q(t) = 0.2023(1 - e^{-0.11t})^{3.991} \quad (18)$$

式中 $Q(t)$ 为单株树干蓄积量,在进行计算时,需乘以种植密度,转换成单位面积蓄积量。为验证该模型的适用性和有效性,选取当地湿地松小班数据进行拟合,这些小班立地条件、种植密度和抚育措施与本研究案例相近,拟合结果表明相关系数 $R^2 =$

0.916 8。因此,该生长模型适用本研究。

2.2 研究数据

浙江省瑞安市湿地松碳汇造林项目用地为中等立地条件,是2005年2月16日以来的无林地,种植密度为1 425株/hm²,总面积约50 hm²,碳汇计入期20年,计入期内不进行任何形式的采伐。经课题组于2014年10月对该项目的碳汇造林企业和林业主管部门问卷调查后,对单位面积每公顷湿地松碳汇造林成本进行整理和汇总,结果见表1,其中营林支出11 904元/hm²、当年及后续两年抚育支出1 456元/hm²、碳汇计量监测费525元/hm²(20年)。因此,其初始营林成本 C_f 为13 885元/hm²,每年管护费用 C_m 为1 050元/hm²,采伐运输成本 C_h 为60元/m³。

表1 单位面积(公顷)湿地松碳汇造林成本投入
Table 1 Per unit area(ha) afforestation costs of slash pine carbon sequestration forests

项目	数量	单价/元	总金额/元
营林支出	-	-	11 904
林地整理用工	43 工日	100	4 300
种植用工	16 工日	100	1 600
种苗	1 425 株	0.4	570
化肥	1 430 kg	3.8	5 434
抚育支出			1 456
补植用工	4 工日	100	400
补植种苗	140 株	0.4	56
抚育用工	10 工日	100	1 000
计量和监测费 ^a	一次性招标项	525	525
小计			13 885
管护费用	项	1 050	1 050
采伐运输支出 ^b	m ³	60	

注:a.单位面积计量和监测费用由整个项目的计量和监测费用除以项目总面积所得;b.单位面积采伐运输成本按实际单位面积原木蓄积量乘以该单价计算。

3 结果与分析

3.1 不同轮伐期条件下碳汇成本收益分析

由公式(17)可知,在其他参数不变的前提下,碳汇成本随轮伐期而变化。本文模拟计算了湿地松轮伐期从10年增加到20年,考虑木材收益和考虑木材收益两种情形时,其碳汇成本变化情况,并绘制成图1。随着轮伐期的增加,湿地松碳汇成本先下降再上升。当考虑木材价值时,在第17年最

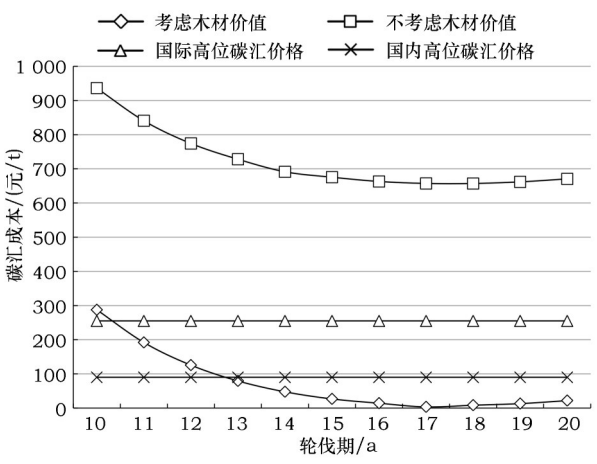


图1 不同轮伐期条件下的碳汇成本

Figure 1 The cost of carbon sequestration under various rotation periods

佳轮伐期时达到最低,碳汇成本为3.40元/t,但项目期内不进行采伐,因此20年期的碳汇成本为21.86元/t。当不考虑木材收益时,在第18年最佳轮伐期时,碳汇成本达到最低,其值为656.90元/t,20年期的碳汇成本为670.33元/t。

从当前的碳交易来看,碳汇交易较少,为便于研究,价格参照碳价格。根据中央财经大学发布的《2014中国碳金融发展报告》,国内自愿减排市场的单位二氧化碳排放权价格大多在(20~90)元/t之间波动;而国际碳交易市场的高位碳价格为30欧元/t,约255元/t,低位价格按照中国CDM项目减排量国际市场平均8欧元/t,即约68元/t^[17, 18]。若考虑木材收益,则20年期的湿地松碳汇收益在国内市场为(-1.86~68.14)元/t,在国际市场为(38.14~223.14)元/t。若不考虑木材收益,则20年期670.33元/t的湿地松碳汇成本,均高于国际和国内市场的高位碳价格,将不能获得碳汇收益。因此,在不考虑木材收益的条件下进行湿地松碳汇生产,从成本收益角度来讲并不可行。

3.2 碳汇成本对木材价格的敏感性分析

由上述分析结果可知,碳汇生产必须考虑木材收益,才具有可行性,而木材收益和木材价格直接相关。本文模拟计算了湿地松木材价格从400元/m³到1 300元/m³时,20年期湿地松碳汇成本变化情况,并形成图2。从图2中可知,碳汇成本和木材价格成线性负相关。也就是说,随着木材价格的升高,碳汇成本是呈线性下降的。当木材价格等于

2016年3月

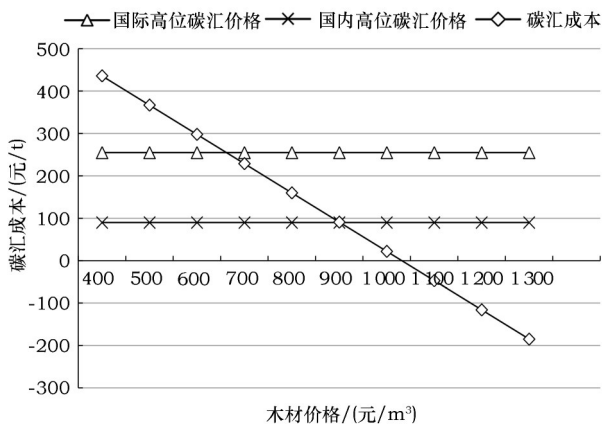


图2 不同木材价格条件下的碳汇成本

Figure 2 The cost of carbon sequestration under various timber prices

660元/m³时,碳汇成本等于国际市场高位碳价格255元/t,随后便逐渐低于后者。当木材价格从600元/m³上升到900元/m³,增长了50%时,碳汇成本则下降了69.50%,此时的碳汇成本等于国内市场高位碳价格90元/t。因此,在符合碳汇项目额外性的前提下,只有当木材价格分别超过660元/m³和900元/m³时,湿地松碳汇项目在相应的国际市场和国内市场才具有可行性。

3.3 碳汇成本对贴现率的敏感性分析

贴现率反映的是资金的时间成本,其值越大,碳汇成本将越高。本文模拟了贴现率从3%上升到10%时,20年期湿地松碳汇成本变化情况,并形成图3。经计算,当贴现率等于5.44%和6.38%时,碳汇成本分别等于国内和国际市场高位碳价格90元/t和255元/t。因此,只有当贴现率分别低于5.44%和

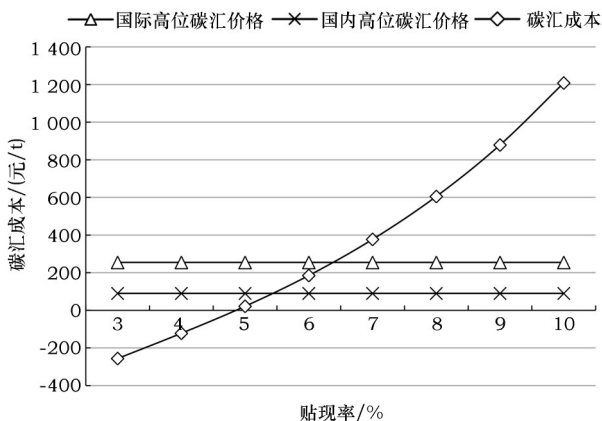


图3 不同贴现率条件下的碳汇成本

Figure 3 The cost of carbon sequestration under various discounts

6.38%时,湿地松碳汇项目在相应的国内市场和国内市场才具有可行性。此外,当贴现率从8%上升到10%,增长25%时,碳汇成本相应地从605.58元/t增加到1208.43元/t,增长了近1倍。当贴现率从8%下降到6%,下降25%时,碳汇成本相应地从605.58元/t下降到185.48元/t,下降了69.37%,贴现率对碳汇成本影响较敏感。

3.4 碳汇成本对劳动力价格的敏感性分析

根据公式(3),将表1中的各项投入转换为劳动力投入量。这样,当劳动力价格变化时,对碳汇成本的影响将更加明显。本文模拟计算了劳动力价格从50元/工日上升到250元/工日时,20年期湿地松碳汇成本的变化情况,并形成图4。从图4中可知,碳汇成本和劳动力价格成线性正相关。也就是说,随着劳动力价格的升高,碳汇成本呈线性上升的。当劳动力价格为116元/工日时,碳汇成本等于国内市场高位碳价格90元/t,随后便逐渐高于后者。当劳动力价格从116元/工日上升到155元/工日,增长了33.62%时,碳汇成本则增加了1.83倍,等于国际市场高位碳价格255元/t。因此,只有当劳动力价格分别低于116元/工日和155元/工日时,湿地松碳汇项目在相应的国内市场和国内市场才具有可行性。

4 结论与讨论

本文借鉴Benítez固碳模型,考虑土地利用的机会成本和木制品的碳释放成本,基于造林成本法构建了林业碳汇成本模型,并对浙江省瑞安市20年期

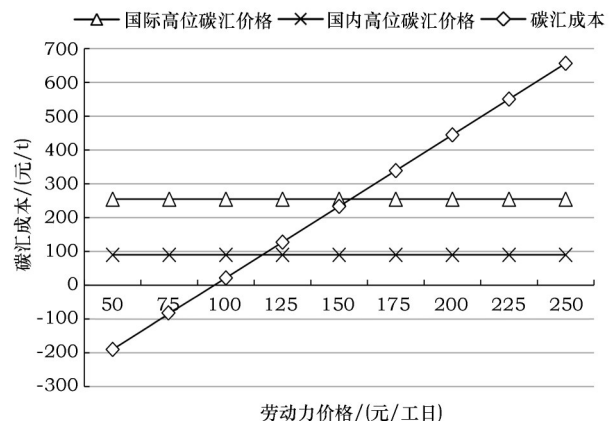


图4 不同劳动力价格条件下的碳汇成本

Figure 4 The cost of carbon sequestration under various labour prices

的湿地松碳汇造林项目进行实证分析,动态分析了影响林业碳汇成本收益的轮伐期、木材价格、贴现率和劳动力价格等因素,得出如下结论:

(1)随着轮伐期的增加,湿地松碳汇成本先下降再上升。在第17年最佳轮伐期时达到最低,此时,考虑木材收益的碳汇成本为3.40元/t,但项目期内不进行采伐,因此20年期的碳汇成本为21.86元/t。当不考虑木材收益时,在第18年碳汇成本达到最低,其值为656.90元/t,20年期碳汇成本为670.33元/t。因此,若不考虑木材收益,将不能获得碳汇收益。该成本高于张治军等研究得出的马尾松碳汇成本-83.35元/t(考虑木材收益)和47.28元/t(未考虑木材收益,均已折换成单位二氧化碳成本)^[19]。同时,该未考虑木材收益时的碳汇成本也高于吴庆全研究得出的桉树最低碳汇成本66.49元/t(已折换成单位二氧化碳成本)^[20]。主要原因除了树种生长模型、木材价格、营造林成本等方面的差异外,后者还考虑了间伐收入和在最佳轮伐期采伐,没有碳汇造林项目20年计入期的约束。此外,张治军等和吴庆全的研究均未考虑木制品的碳释放成本,这样也会使碳汇成本被低估^[19,20]。当然,该成本低于仲伟周和邢治斌利用Benítez固碳模型,研究得出的考虑木材收益的全国平均碳汇成本314.11元/t和浙江省平均碳汇成本3387.28元/t(均已折换成单位二氧化碳成本)^[21]。其原因除了研究假设条件不同外,可能是湿地松单位面积固碳能力要高于其所研究森林的平均水平。

(2)碳汇成本和木材价格成线性负相关。20年期的湿地松碳汇项目若要在国际和国内市场获得收益,其木材价格须分别超过660元/m³和900元/m³。碳汇成本随着贴现率的增加而增加,只有当贴现率分别低于5.44%和6.38%时,湿地松碳汇项目在国际市场和国内市场才能获得收益。当贴现率增长25%时,碳汇成本增加了近1倍;当贴现率下降25%时,碳汇成本下降了近70%,贴现率对碳汇成本影响较敏感。碳汇成本和劳动力价格成线性正相关。湿地松碳汇项目在国际市场和国内市场保本点的劳动力价格分别是155元/工日和116元/工日。

(3)林业碳汇由于方法学的复杂性和抵消碳排放受到一定比例的限制,其在碳市场的价格要低于

本文所参照的碳排放配额价格。由于本文研究的成本分摊并未考虑碳汇造林项目所具有的经济、社会和生态等多重效益的全部价值,仅考虑了碳汇价值和木材价值,这样就间接增加了碳汇成本。

(4)本文仅研究一个具体树种的碳汇成本,所得出的研究结果虽具有一定的参考价值,但也存在区域上的局限性。同时,鉴于文中研究假设条件的限制,影响碳汇成本收益的因素还有很多,如立地条件、林分结构、经营方式和相关政策因素等。因此,未来需要更多不同类型的碳汇成本收益研究,以期丰富林业碳汇生产理论和实践。

参考文献(References):

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report[EB/OL]. (2007-10) [2015-08-26]. http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri%3A%28bb219ee3bcfab121f7b11eb95da95aaa%29&filter=sc_longsign&tn=SE_xueshusource_2kduw22v&sc_vurl=http%3A%2F%2Fdigital.library.unt.edu%2Fark%3A%2F67531%2Fmetadc29351%2F&ie=utf-8.
- [2] 谢高地,李士美,肖玉,等. 碳汇价值的形成和评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(1): 1-10. [Xie G D, Li S M, Xiao Y, et al. Value of Carbon sink: Concept and evolution[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(1): 1-10.]
- [3] Phan T H, Brouwer R, Davidson M. The economic costs of avoided deforestation in the developing world: A meta-analysis[J]. *Journal of Forest Economics*, 2014, 20(1): 1-16.
- [4] 侯元兆,张佩昌,王琦. 中国森林资源核算研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. [Hou Y Z, Zhang P C, Wang Q. The Accounting Research of Chinese Forest Resources[M]. Beijing: China Forestry Press, 1995.]
- [5] Kooten G C X, Sohngen B. Economics of forest ecosystem carbon sinks: A review[J]. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 2007, 1(3): 237-269.
- [6] Ahn S E. How feasible is carbon sequestration in Korea? A study on the costs of sequestering carbon in forest[J]. *Environ Resource Econ*, 2008, 41(1): 89-109.
- [7] Galik C S, Cooley D M, Baker J S. Analysis of the production and transaction costs of forest carbon offset projects in the USA[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 112: 128-136.
- [8] Pearson T R H, Brown S, Sohngen B, et al. Transaction costs for carbon sequestration projects in the tropical forest sector[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2014, 19(8): 1209-1222.

2016年3月

- [9] Torres A B, Marchant R, Lovett J C, et al. Analysis of the carbon sequestration costs of afforestation and reforestation agroforestry practices and the use of cost curves to evaluate their potential for implementation of climate change mitigation[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(69): 469-477.
- [10] Benítez P C, Obersteiner M. Site identification for carbon sequestration in Latin America: A grid-based economic approach[J]. *Forestry Policy and Economics*, 2006, 8(6): 636-651.
- [11] 张道卫, 皮特·H·皮尔森. 林业经济学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013. [Zhang D W, Peter H P. Forest Economics[M]. Beijing: China Forestry Press, 2013.]
- [12] AR- CM-001-V01 碳汇造林项目方法学[EB/OL]. (2013-10) [2015- 08- 26]. <http://www.gsly.gov.cn/attachment/www/month-1501/20150105-105935-7874.pdf>. [AR- CM-001-V01 Methodology of Carbon Sequestration Forestation Project[EB/OL]. (2013- 10) [2015- 08- 26]. <http://www.gsly.gov.cn/attachment/www/month-1501/20150105-105935-7874.pdf>.]
- [13] Sohngen B, Sedjo R. Potential carbon flux from timber harvests and management on the context of a global timber market[J]. *Climatic Change*, 2000, 44(1-2): 151-172.
- [14] Man C D, Lyons K C, Nelson J D, et al. Cost to produce Carbon credits by reducing the harvest level in British Columbia, Canada[J]. *Forestry Policy and Economics*, 2015, 52: 9-17.
- [15] 李佳, 邵全琴, 黄麟, 等. 中国马尾松、杉木、湿地松生长方程研究进展[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 151-156. [Li J, Shao Q Q, Huang L, et al. Review on the growth equations of Pinus Massoniana, Cunninghamia Lanceolata and Pinus Elliottii in China[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(4): 151-156.]
- [16] 欧玉林. 岳阳市湿地松生长规律初步研究[J]. 湖南林业科技, 1993, 20(2): 17-21. [Ou Y L. A preliminary study on the growth rule of Pinus Elliottii in Yueyang City[J]. *Hunan Forestry Science and Technology*, 1993, 20(2): 17-21.]
- [17] 俞萍萍. 国际碳贸易价格波动对可再生能源投资的影响机制: 基于实物期权理论的分析[J]. 国际贸易问题, 2012, (5): 94-104. [Yu P P. Evaluating renewable energy investment options with uncertainty under volatile international carbon prices: A real options approach[J]. *Journal of International Trade*, 2012, (5): 94-104.]
- [18] 魏琦, 刘亚卓. 清洁发展机制下中国碳市场价格研究[J]. 生态经济, 2015, 31(6): 65-69. [Wei Q, Liu Y Z. Study on the price of Chinese carbon market under the clean development mechanism[J]. *Ecological Economy*, 2015, 31(6): 65-69.]
- [19] 张治军, 张小全, 朱建华, 等. 广西主要人工林类型固碳成本核算[J]. 林业科学, 2010, 46(3): 16-22. [Zhang Z J, Zhang X Q, Zhu J H, et al. Cost of carbon sequestration of main plantation types in Guangxi[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(3): 16-22.]
- [20] 吴庆全. 闽南地区桉树人工林固碳成本核算[J]. 桉树科技, 2011, 28(1): 44-47. [Wu Q Q. Cost of carbon sequestration of eucalypt plantation in South Fujian[J]. *Eucalypt Science and Technology*, 2011, 28(1): 44-47.]
- [21] 仲伟周, 邢治斌. 中国各省造林再造林工程的固碳成本收益分析[J]. 中国·人口资源环境, 2012, 22(9): 33-41. [Zhong W Z, Xing Z B. Analysis on cost and benefit of carbon sequestration in each province of China: Based on afforestation and reforestation project[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(9): 33-41.]

Influencing factors analysis of forestry carbon sequestration cost-benefit based on afforestation cost methods

HUANG Zaisheng¹, CHEN Qin^{1,2}

(1. College of Economics, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. The Fir Engineering Technology Research Center of National Forestry Administration Bureau, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The process of marketization of forestry carbon sequestration is slow and one of the key influencing factors is the cost of carbon sequestration. This paper builds a model of forestry carbon sequestration costs based on afforestation cost methods referencing Benitez's model for carbon sequestration that considered the opportunity cost of land use and the carbon release cost of wood products. We then conducted an empirical analysis over 20 years of the slash pine afforestation of carbon sequestration project in Ruian city, Zhejiang, China and analyzed factors (e.g. rotation period, timber price, discount rate, and the price of labor) influencing the carbon sequestration cost. The results showed that increasing the rotation period resulted in the cost of slash pine carbon sequestration declining and then rising. When the timber value was taken into account the lowest cost of carbon sequestration of 20 years slash pine was 21.86 CNY/t. When the timber value was not considered, its lowest carbon sequestration cost was 670.33 CNY/t, which was higher than the carbon price in both international and domestic carbon markets and would not receive benefits from carbon sequestration. We also found that costs of carbon sequestration and the timber price were negatively correlated, while the discount rate and labor price were positively correlated. We focus on the break-even point of timber price, discount rate and labor price of carbon sequestration afforestation, and the critical value was 660 CNY/m³, 5.44% and 155 CNY per day, respectively, in the international carbon market; in the domestic carbon market these values were 900 CNY/m³, 6.38% and 116 CNY per day, respectively.

Key words: afforestation cost method; forestry carbon sequestration; cost benefit; influencing factor analysis