

## 浙江省嘉兴市高速公路造林碳汇计量

李 梦<sup>1,2</sup>, 施拥军<sup>1,2</sup>, 周国模<sup>1,2</sup>, 周大勇<sup>3</sup>, 张 娇<sup>1,2</sup>, 张英海<sup>3</sup>

(1. 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 临安 311300; 2. 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 嘉兴市交通投资集团有限责任公司, 浙江 嘉兴 314000)

**摘要:** 在全球气候变化背景下, 森林碳汇能力成为国际减缓气候变暖的重要措施之一。随着碳汇林业的开展, 碳汇计量日益受到国际社会重视。依据《造林项目碳汇计量与监测指南》, 对浙江省嘉兴市高速公路互通枢纽区进行碳汇造林及碳汇计量, 计量期为 2011–2031 年。结果表明: 该项目在 2011 年表现为碳源, 累计项目碳汇量为 -81.59 t (二氧化碳当量), 自 2012 年开始有碳汇, 项目净碳汇累计量为 1 747.84 t (二氧化碳当量), 2017 年项目累计量达到 11 396.84 t (二氧化碳当量), 到 2031 年累计量达到 45 886.07 t (二氧化碳当量), 年均净碳汇量为 2 294.30 t (二氧化碳当量), 释放 O<sub>2</sub> 为 2 031.00 t, 固碳效果明显, 生态效益显著。图 4 表 2 参 17

**关键词:** 森林测计学; 造林; 碳汇计量; 碳储量; 嘉兴市

中图分类号: S727.9 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2014)03-329-07

## Measurement of carbon sequestration of highway afforestation in Jiaxing, Zhejiang, China

LI Meng<sup>1,2</sup>, SHI Yongjun<sup>1,2</sup>, ZHOU Guomo<sup>1,2</sup>, ZHOU Dayong<sup>3</sup>, ZHANG Jiao<sup>1,2</sup>, ZHANG Yinghai<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Jiaxing Communication Investment Group Co., Ltd., Jiaxing 314000, Zhejiang, China)

**Abstract:** In the context of global climate change, forest carbon sequestration has become one of important measures of international mitigation of climate warming. With the development of carbon sequestration afforestation, forest carbon sequestration measurement has drawn more and more international attention. According to the *Guidelines for Carbon Accounting and Monitoring in the Afforestation Projects*, carbon sequestration afforestation and carbon sequestration measures were carried out in the highway interchange hub area in Jiaxing City, Zhejiang Province, and the accounting period would last from 2011 to 2031. The result indicated that the project was a carbon source in 2011, the cumulative amount of net carbon sequestration being -81.59 t (CO<sub>2</sub> equivalent, i.e., CO<sub>2</sub>e). It became a carbon sequestration from 2012 and the cumulative amount of net carbon sequestration was 1 747.84 t (CO<sub>2</sub>e). The cumulative amount of net carbon sequestration would reach 11 396.84 t (CO<sub>2</sub>e) in 2017. By 2031, the cumulative amount of net carbon sequestration would reach 45 886.07 t (CO<sub>2</sub>e), the average annual net carbon sequestration would be 2 294.30 t (CO<sub>2</sub>e), and the oxygen emission would be 2 031.00 t. It would have huge carbon sequestration potentials and significant ecological benefits.

收稿日期: 2013-09-03; 修回日期: 2013-10-09

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(61190114); 浙江省重点科技创新团队项目(2010R50030); 浙江省科技厅科技计划项目(2011H22)

作者简介: 李梦, 从事森林碳汇研究。E-mail: zylldream16@163.com。通信作者: 施拥军, 副教授, 从事森林碳汇计量与监测研究。E-mail: syjwwh@163.com

[Ch, 4 fig. 2 tab. 17 ref.]

**Key words:** forest mensuration; afforestation; carbon sequestration measurement; carbon storage; Jiaxing City

森林通过同化作用吸收二氧化碳(CO<sub>2</sub>),以生物量的形式将其固定在植被和土壤中,使森林成为陆地生态系统最重要的碳汇或碳库<sup>[1]</sup>,其碳增汇成为缓解全球气候变暖的重要途径<sup>[2]</sup>。国际社会高度重视森林生态系统的碳汇作用及其贡献,在《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》中确定了森林在气候变化中的独特作用,并以世界气象组织(IPCC)为主开展了广泛的林业碳汇计量研究,总结出多种计量方法<sup>[3]</sup>。中国在森林碳汇方面开展了大量的研究。在森林碳储量方面,一些学者<sup>[4-8]</sup>分别基于不同时间段的森林资源清查资料,分析了中国森林植被的碳源汇功能。结果表明:中国碳储量总体呈增加趋势,中国森林将是一个潜在的巨大碳库;在提高森林固碳量方面,张林等<sup>[9]</sup>指出固碳能力在很大程度上取决于森林面积和碳储量的大小,通过封山育林以及合理的人为栽植等手段能够在一定程度上增加碳汇能力;王春梅等<sup>[10]</sup>认为树种和造林模式的选择是增加森林生态系统碳储量的重要管理决策;陈泮勤等<sup>[11]</sup>对中国陆地生态系统增汇技术方法及碳减排方案做了研究。在林业碳汇项目及计量方面,张颖等<sup>[12]</sup>通过蓄积量转换法建立了森林碳汇核算的回归模型,欧光龙等<sup>[13]</sup>对云南省临沧市膏桐能源林造林项目进行了碳汇计量,党晓宏等<sup>[14]</sup>对沙棘经济林进行碳汇计量研究。此外,中国进行了相关的碳汇造林活动,2005年广西项目成为全球第1个被批准的清洁发展机制(CDM)造林再造林项目方法学,并于2006年获CDM执行理事会批准项目实施<sup>[15]</sup>,2008年出版了《造林项目碳汇计量与监测指南》,指导相关造林项目的碳汇计量与监测工作<sup>[16]</sup>。浙江省嘉兴市地处浙江省交通要道,路网建设规模、速度和平均密度都处于全省前列,公路沿线、互通枢纽区用地的绿化已成为嘉兴市平原绿化的重要工作内容。目前,凡已建成通车的高速公路不同程度地实施了绿化与美化措施,但以景观性绿化和防眩、防风、防尘、防噪等为要点,忽略了植被的生态防护性和林木的碳汇功能。本研究在浙江省嘉兴市高速公路互通枢纽区,引入森林碳汇和林业碳汇的先进理念,依据《造林项目碳汇计量与监测指南》,按照碳汇林的要求实施碳汇造林,并对项目区2011年和2012年的碳汇林进行碳汇计量,并以此预估碳汇林在未来20a的碳储量变化及累计量,对浙江省更新绿化理念,提高平原绿化水平,增强固碳释氧和其他生态功能具有重要意义,同时为相关造林项目碳汇计量及监测提供借鉴。

## 1 研究区概况

嘉兴市位于浙江省东北部、长江三角洲杭嘉湖平原腹心地带,是长江三角洲重要城市之一。市境介于30°21'~31°02'N,120°18'~121°16'E,东临大海,南倚钱塘江,北附太湖,西接天目之水,大运河纵贯境内。陆地面积为3 915 km<sup>2</sup>,以平原地形为主,面积为3 477 km<sup>2</sup>。嘉兴市地处北亚热带南缘,属东亚季风气候区,冬夏季风交替,四季分明,气温适中,雨水丰沛,日照充足,具有春湿、夏热、秋燥、冬冷的特点,因地处中纬度,夏令湿热多雨的天气比冬季干冷的天气短得多,年平均气温为15.9℃,年平均降水量1 168.6 mm,年平均日照2 017.0 h。项目规划区位于嘉兴市秀洲区、南湖区、平湖市、海宁市、海盐县、嘉善县等地的高速公路互通枢纽地块。

## 2 研究方法

本研究依据《造林项目碳汇计量与监测指南》《中国绿色碳汇基金碳汇项目造林技术暂行规定》及项目规划区碳汇造林作业设计,对嘉兴市高速公路8个互通枢纽区碳汇林进行计量。项目规划时间尺度为20a,即2011-2031年。

### 2.1 土地合格性及碳库选择

依据《造林项目碳汇计量与监测指南》,项目所涉及的造林地点权属清晰,项目造林地经踏查、检验均符合碳汇造林项目土地合格性要求。

项目造林地在造林前一直为非林业用地,基线情景下调落物和粗木质残体碳库中的碳储量将保持不变,从成本效益考虑,可忽略;而在荒地上进行碳汇造林,土壤有机质变化比较复杂,不能忽略土壤有机碳库。因此,本项目根据实地踏查情况,确定地上部分、地下部分及土壤碳库为计量碳库选择。

## 2.2 碳储量变化研究方法

2.2.1 项目区事前分层 浙江省嘉兴市碳汇造林项目中 8 个互通枢纽区的土地均为无林地，无植被覆盖，故基线无需分层。该项目是在高速公路互通枢纽区进行平原绿化造林，不仅要坚持生态优先，最大程度地积累碳汇，还要兼顾林分景观美化问题。树木配置方式很不规则，区域内部小块状界线不明显，根据传统以小班或面积因子对项目进行分层不适合平原绿化造林项目，所以按造林区域进行事前项目分层。

2.2.2 基线碳储量变化 基线情景下，可以合理假定土壤有机碳、凋落物和枯死木碳库处于稳定状态或退化状态，即这 3 个碳库的碳储量将保持不变或继续降低<sup>[16]</sup>，在计量期内，其碳存量变化量不需要考虑，仅仅需要测量项目基准年的碳储量。因此，该项目 8 个互通枢纽区的基线碳储量可保守地假定土壤有机碳、凋落物和粗木质残体 3 个碳库中的碳储量变化为 0，而只考虑项目绿化造林树木生长引起的活生物量碳库(地上生物量和地下生物量碳库)中碳储量的变化。

2.2.3 嘉兴市碳汇造林项目碳储量变化 考虑到该项目于高速公路互通枢纽区造林的特殊性，绿化造林选择多种乔木、竹子及灌木。因此，该项目的碳储量变化从这 3 类碳储量进行统计。以项目枢纽区为单位，计算并累计各种规格乔木、灌木和竹子(亚层)的碳储量变化量，得到各个项目区(碳层)的项目碳储量变化量，项目碳储量变化量等于各项目碳层林木碳储量变化之和。乔木碳储量变化：收集分析浙北平原地区 2 期胸径和材积清查数据，获得各类树种单株材积生长率与胸径之间的方程。嘉兴市 8 个互通枢纽区的乔木碳储量变化可根据其树种各自的单木材积生长公式得出其每年的材积量，乘以相关的木材密度国家缺省值和生物量扩展因子及含碳率得到该树种地上部分碳储量，地下生物量根据 IPCC 树木根茎比缺省值获得。竹子和灌丛碳储量变化：通过不同阶段的单位生物量和竹子、灌木数量来估算。在碳储量的计量预测中，可认为所营造的竹子和灌木丛到一定年龄阶段后，其生长状况会处于相对稳定状态。本项目中，生长达到稳定时，竹子和灌木丛生物量采用收获调查法来获取。不同种类的灌木丛生长稳定状态时的生物量根据实际调查数据(地径、高度和分枝数)，采用浙江省灌木生物量模型计量和测算： $W=0.409\ 59D^{1.061\ 5}H^{0.542\ 7}$ ， $R^2=0.868\ 5$ 。其中： $W$  为生物量， $D$  为胸径， $H$  为株高。该项目造林中，边界内温室气体排放主要考虑燃油机械使用引起的二氧化碳排放和施用含氮肥料引起的一氧化氮( $N_2O$ )直接排放；边界外温室气体泄漏主要考虑苗木、肥料、竹木材、运输消耗燃料引起的二氧化碳排放。该项目为环境保护林，在计量期内不会对林木进行主伐利用，又不施用肥料，造林项目的运输工具主要涉及运输苗木。因此边界外泄漏仅考虑造林当年由于苗木运输而造成的排放量。项目净碳汇量=项目碳储量变化量-(项目基线碳储量变化量+项目边界内增加的排放量+造林项目引起的泄漏)。

## 3 结果与分析

### 3.1 事前项目分层

碳汇造林项目边界内的碳储量及其变化往往因造林地的土地利用方式、土地覆被状况、土壤和立地条件的变异，而呈现较大的空间变异性。为满足一定的精度要求并遵循成本有效性的原则，需对项目区进行分层，减少层内的变异性，以便能以较低的抽样强度达到所需的精度。山地造林时，项目分层主要依据造林和管理模式，主要指标包括树种、造林时间、间伐、轮伐期等。但由于本研究是在 8 个公路互通枢纽区进行平原绿化造林，绿化树种种类繁多、规格多样，苗木树龄不统一且难以确定。同时考虑层次结构和景观需要，主要采用造园、造景手法，平原绿化的树木种植配置方式会很不规则，区域内部的小块状界线也不明显，因此，本研究以 8 个互通枢纽区为一级碳层，在各碳层中又按树种(组)类型(松类、软阔、硬阔、杉类、灌木)和种植初始规格为指标分为亚层，以方便碳汇计量，并在后续碳汇监测中，能以较低的抽样强度达到所需的监测精度。据此，该项目共分 8 个一级碳层和 234 个亚层。8 个项目区共实施碳汇造林面积 126 947 8 m<sup>2</sup>(表 1)。

### 3.2 树种碳储量变化

在有限的造林面积上提高碳储量是中国面临的现实问题<sup>[10]</sup>。树种的选择是增加森林生态系统碳汇的重要管理决策之一。树种从几个方面影响生态系统的碳库，包括生物量的积累、凋落物和土壤碳储存，以及木材密度、碳储量等<sup>[5]</sup>。因此分析不同树种碳储量变化对绿化造林中树种的选择具有重要意义。

### 3.2.1 相同规格不同类型树种的碳储量变化

史红文等<sup>[17]</sup>研究表明:单株乔木的日固碳能力强于灌木,乔木在平原绿化的生态功能方面发挥主要作用,因此,乔木生物量的研究对森林碳储量具有重要意义。乔木碳储量变化采用生物量扩展因子法计算,估算项目实施后不同碳层、不同树种和不同规格的林木在项目期内的地上生物量和地下生物量碳库中的碳储量。该研究碳汇造林以中小径树种为主,所选择的硬阔、软阔、松类、杉类这几种类型树种的规格并不统一,为此,以胸径为4.5 cm和11.0 cm树种为例,分析不同类型的造林树种规格相同时,

单株木在计量期内的累计碳储量变化。乔木往往表现为分段异速生长状态,即不同的生长阶段生长速率不一样。计量时各规格树种(亚层)不同年份时的单株材积采用分段测算获得,以5 a为1个生长阶段,每个阶段内年生长量假设相同。在单株材积的基础上,计算生物量和碳储量。由图1可以看出:在该项目计量期内,树种碳储量变化随年份的变化呈上升趋势,但不同类型的树种累计碳储量的变化幅度不同。小径木树种累计碳储量变化最大的是软阔类,最小的是杉类,到2031年累计碳储量分别为0.094 26 t·株<sup>-1</sup>, 0.042 37 t·株<sup>-1</sup>。计量期结束累计碳储量大小依次为软阔类>松类>硬阔类>杉类。中径木树种碳储量变化最大的是杉类,到2031年累计碳储量达到0.484 10 t·株<sup>-1</sup>,累计碳储量变化最小的是硬阔类,到2031年累计碳储量为0.105 51 t·株<sup>-1</sup>,计量期结束累计碳储量变化大小依次为杉类>软阔类>松类>硬阔类。

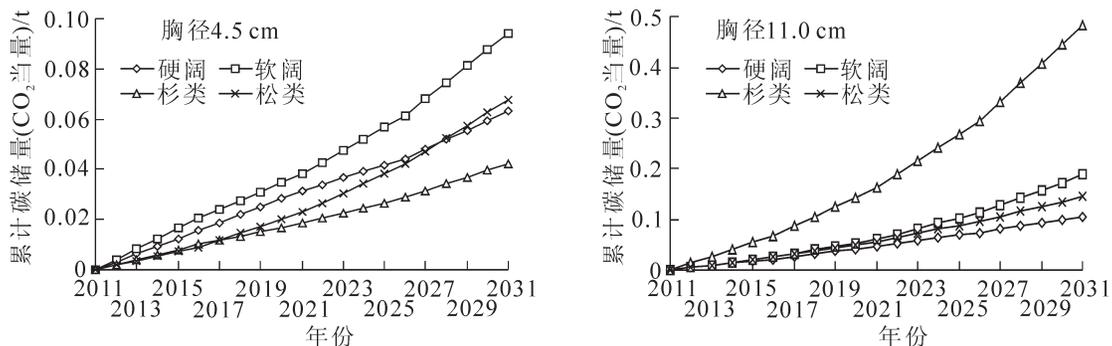


图1 相同规格不同类型树种的累计碳储量变化

Figure 1 Cumulative carbon stocks change of the same specifications and different types of trees

3.2.2 不同规格同类型树种的碳储量变化 同一造林树种规格不同时,固定碳的能力会有所差异。该研究造林以中小型树种为主,分别以同类型树种(中小径木)不同胸径的树木为例,分析不同规格的树木累计碳储量的变化(图2)。在该项目计量期内,4种类型的造林树种累计碳储量大小随年份的增加而增加。同一类型不同规格的树木累计碳储量有所差异,并表现出规律性的变化,即在同一年份下,累计碳储量和胸径大小呈正比。硬阔类、软阔类、杉类树种,中径木和小径木相比累计碳储量随胸径的增大增加幅度较大,即这几类树种,胸径大的树木在相同的年份下可以积累更多的碳;松类树种小径木和中径木累计碳储量大小变化幅度较为均匀。

### 3.3 嘉兴市碳汇造林项目碳储量变化

以嘉兴市碳汇造林项目枢纽区为单位,计算并累计各种规格乔木、灌木和竹子(亚层)的碳储量变化量,得到各个项目区(碳层)的项目碳储量变化量。根据嘉兴市8个互通枢纽区的碳层碳储量变化计算结果,汇总得到嘉兴市高速公路互通枢纽区整个碳汇造林项目2011-2031年的碳储量变化,项目总碳储量按照地上部分和地下部分分别计量。在计入期内通过林木生长,可累计吸收存储二氧化碳45 973.60 t,平均2 298.68 t·a<sup>-1</sup>,可吸收二氧化碳为18.11 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。计入期内,每年的地上、地下生物量碳储量变

化见图3。

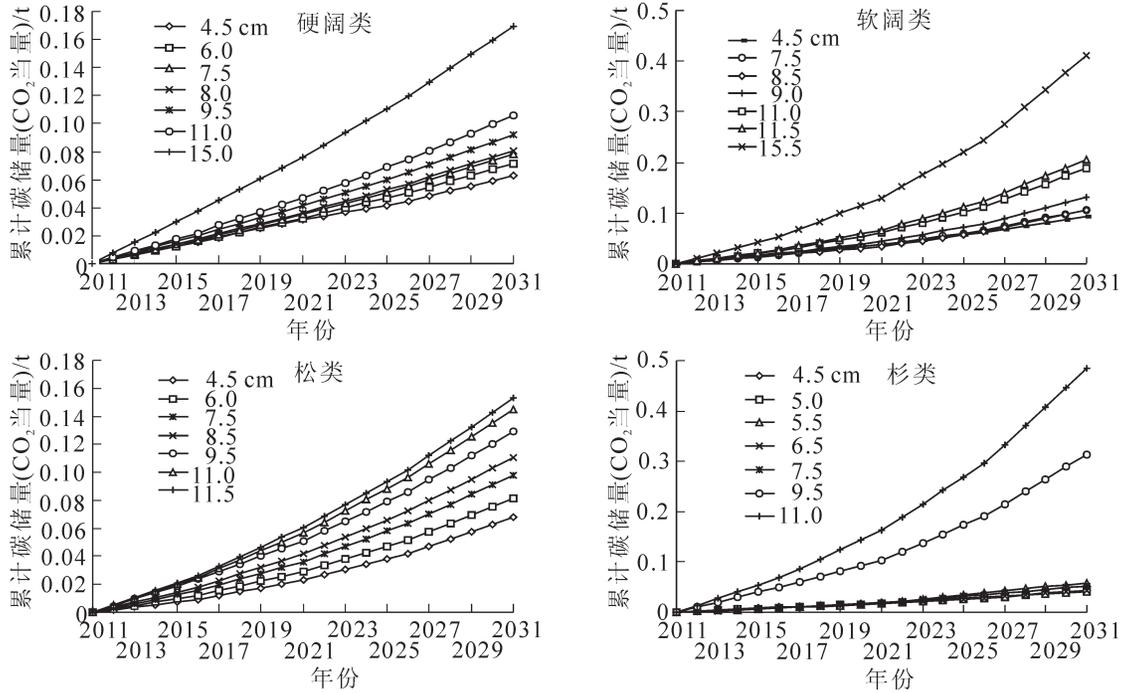


图 2 不同规格相同类型树种的累计碳储量变化

Figure 2 Cumulative carbon stocks change of the different specifications and same types of trees

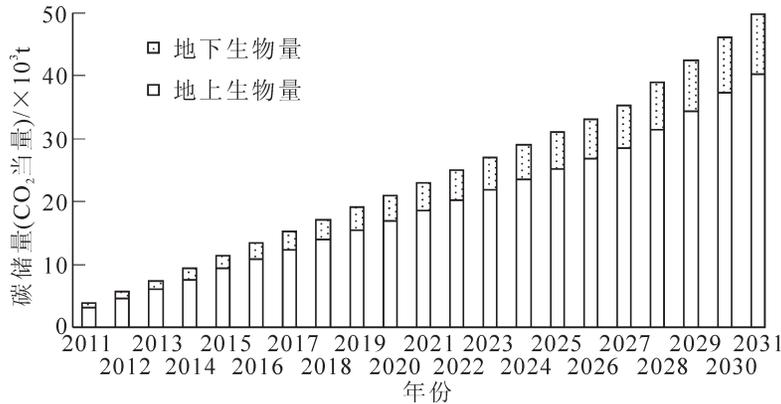


图 3 嘉兴市碳汇造林项目碳储量变化

Figure 3 Annual carbon stock of carbon sink afforestation project in Jiading City

### 3.4 嘉兴市碳汇造林项目碳泄漏变化

该项目营造环境保护林，在计量期内不会对林木进行主伐利用，又不进行肥料施用，造林项目的运输工具主要涉及运输苗木。在 2011 年苗木运输中，运输乔木产生的二氧化碳排放共计 35.333 7 t；运输灌木产生的二氧化碳排放共计 52.197 2 t；因此，嘉兴市整个造林绿化项目使用运输工具产生的二氧化碳排放共计 87.530 9 t(表 2)。

### 3.5 嘉兴市碳汇造林项目净碳汇量

该研究基线碳储量变化为 0，项目边界内增加的排放量为 0，所以，该项目净碳汇量=项目碳储量变化量-造林项目引起的泄漏。由图 4 可知，该项目在 2011 年为碳源，累计项目碳汇量为-81.58 t(二氧化碳当量)，自 2012 年开始有碳汇，项目净碳汇量为 1 747.84 t(二氧化碳当量)，到 2031 年累计量将达到 45 886.07 t(二氧化碳当量)。从年际变化来看，2011 年为负增长，2012-2031 年年变化量均为正，并在 2027 年将达到年增长量最大，为 31 431.64 t(二氧化碳当量)。

表2 嘉兴市碳汇造林项目边界外的温室气体泄漏

Table 2 Greenhouse emission outside the boundaries of carbon sink afforestation project in Jiaxing City

交通区	单程运输距离/km	乔木/株	灌木/丛	乔木运输趟数	灌木运输趟数	单位耗油量/(L·km <sup>-1</sup> )	排放量(CO <sub>2</sub> 当量)/t	总计(CO <sub>2</sub> 当量)/t
步云枢纽	70	22 492	43 398	112	87	0.12	13.320 3	
海盐枢纽	90	40 201	124 132	201	248	0.12	38.614 7	
王江泾互通	25	7 688	174 910	38	350	0.12	9.269 7	
观音桥互通	20	46 608	139 334	233	279	0.12	9.773 6	87.530 9
新塍互通	15	12 069	235 698	60	471	0.12	7.617 2	
油车港互通	35	2 185	39 249	11	78	0.12	2.989 0	
嘉绍1号枢纽	30	6 604	8 158	33	16	0.12	1.413 5	
嘉绍2号枢纽	40	15 680	20 132	78	40	0.12	4.533 0	

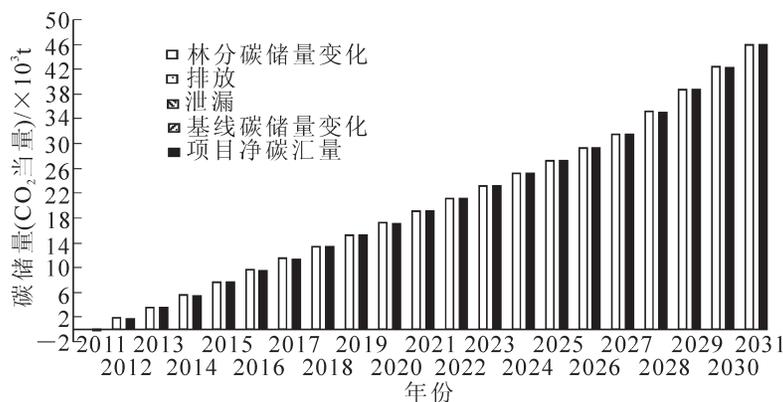


图4 嘉兴市碳汇造林项目净碳汇量变化

Figure 4 Change of net carbon amount of carbon sink afforestation project in Jiaxing City

## 4 结论与讨论

嘉兴市碳汇造林项目计量期内造林规格相同的不同类型树种在相同的年份固定碳的能力不同,小径木(4.5 cm)到2031年单株累计碳储量将为软阔类>松类>硬阔类>杉类,中径木(11 cm)将为杉类>软阔类>松类>硬阔类。造林规格不同的同类型树种,在项目计量期内累计碳储量随年份的增加而增加,并与胸径大小呈正比。因此,如何根据造林项目情况选择合适的树种,并结合其他管理措施(造林模式等)最大化碳汇,有待进一步研究。

该项目在2011年为碳源,累计项目碳汇量为-81.58 t(二氧化碳当量),自2012年开始有碳汇,为1 747.84 t(二氧化碳当量),到2031年,该项目将可累计实现净碳汇量45 886.07 t(二氧化碳当量),年均净碳汇量为2 294.30 t(二氧化碳当量),释放氧气为2 031.0 t。该项目实施后,将为嘉兴市新增生态功能良好的森林面积近127 hm<sup>2</sup>,提高嘉兴市森林覆盖率0.14个百分点,固碳效果明显,生态效益显著。

嘉兴市碳汇造林项目是在平原地区进行绿化造林,营造时除注意景观美化,更要注重生态优先,最大程度地积累碳汇;绿化树种种类繁多、规格多样,树木种植配置方式会很很不规则,区域内部的小块状界线不明显。因此,不能以小班或面积对项目进行事前分层,故按造林区域进行事前项目分层。但计量采用的方法是基于《造林项目碳汇计量与监测指南》,计量结果可为其他林业造林项目碳汇计量提供借鉴和参考;此外,本研究对项目碳汇进行估算和预测也存在一定的不确定性,如森林火灾引起的温室气体排放、病虫害降低树木固碳能力、抚育管理实施情况对林木的碳积累等,这些不确定性因素还要开展进一步碳汇监测研究。

### 参考文献:

- [1] CIAIS P, TANS P, TROLIER M. A large northern hemisphere terrestrial CO<sub>2</sub> sink indicated by <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C of atmospheric CO<sub>2</sub> [J]. *Science*, 1995, **269**: 1098 - 1102.

- [2] 魏殿生. 造林绿化与气候变化: 碳汇问题研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [3] 李怒云, 吕佳. 林业碳汇计量[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [4] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, **20**(5): 733 – 740.  
LIU Guohua, FU Bojie, FANG Jingyun. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, **20**(5): 733 – 740.
- [5] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J]. 植物学报, 2001, **43**(9): 967 – 973.  
FANG Jingyun, CHEN Anping. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance [J]. *Acta Bot Sin*, 2001, **43**(9): 967 – 973.
- [6] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (1): 13 – 16.  
WANG Xiaoke, FENG Zongwei, OUYANG Zhiyun. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12**(1): 13 – 16.
- [7] 赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析[J]. 地理科学, 2004, **24**(1): 50 – 54.  
ZHAO Min, ZHOU Guangsheng. Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factors [J]. *Sci Geogr Sin*, 2004, **24**(1): 50 – 54.
- [8] 徐新良, 曹明奎, 李克让. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J]. 地理学进展, 2007, **26**(6): 1 – 10.  
XU Xinliang, CAO Mingkui, LI Kerang. Temporal-spatial dynamics of carbon storage of forest vegetation in China [J]. *Prog Geogr*, 2007, **26**(6): 1 – 10.
- [9] 张林, 王礼茂, 王睿博. 长江中上游防护林体系森林植被碳储量及固碳潜力估算[J]. 长江流域资源与环境, 2009, **18**(2): 111 – 115.  
ZHANG Lin, WANG Limao, WANG Ruibo. Estimation of forest carbon storage and sequestration of shelterbelt in upper and middle reaches of the Yangtze River [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2009, **18**(2): 111 – 115.
- [10] 王春梅, 王汝南, 蔺照兰. 提高碳汇潜力: 量化树种和造林模式对碳储量的影响[J]. 生态环境学报, 2010, **19** (10): 2501 – 2505.  
WANG Chunmei, WANG Runan, LIN Zhaolan. Carbon sequestration estimation by different tree species and reforestation types in forest ecosystem [J]. *Ecol Environ Sci*, 2010, **19**(10): 2501 – 2505.
- [11] 陈泮勤, 王效科, 王礼茂. 中国陆地生态系统碳收支与增汇对策[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [12] 张颖, 吴丽莉, 苏帆, 等. 中国森林碳汇核算的计量模型研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, **32** (2): 194 – 200.  
ZHANG Yin, WU Lili, SU Fan, *et al.* An accounting model for forest carbon sinks in China [J]. *J Beijing For Univ*, 2010, **32**(2): 194 – 200.
- [13] 欧光龙, 唐军荣, 王俊峰, 等. 云南省临沧市膏桐能源林造林碳汇计量[J]. 应用与环境生物学报, 2010, **16**(5): 745 – 749.  
OU Guanglong, TANG Junrong, WANG Junfeng, *et al.* Carbon accounting of *Jatropha curcus* energy forest in Lincang, Yunnan, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2010, **16**(5): 745 – 749.
- [14] 党晓宏, 高永, 誉毅, 等. 沙棘经济林碳汇计量研究[J]. 水土保持通报, 2011, **31**(6): 134 – 138.  
DANG Xiaohong, GAO Yong, YU Yi, *et al.* Measurement of carbon sequestration of *Xanthoceras sorbifolia* forest plantation [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2011, **31**(6): 134 – 138.
- [15] 李怒云. 中国林业碳汇[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [16] 国家林业局应对气候变化和节能减排工作领导小组办公室. 造林项目碳汇计量与监测指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [17] 史红文, 秦泉, 廖建雄, 等. 武汉市 10 种优势园林植物固碳释氧能力研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, **31**(9): 87 – 90.  
SHI Hongwen, QIN Quan, LIAO Jianxiong, *et al.* Study on carbon fixation and oxygen release capabilities of 10 dominant garden plants in Wuhan City [J]. *J Cent South Univ For & Technol*, 2011, **31**(9): 87 – 90.