

文章编号:1001-7380(2015)02-0015-04

江苏杨树人工林碳储量分析研究

邢 玮^{1,2}, 戚维隆¹, 赵 倩¹, 葛之葳^{1*}

(1. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153)

摘要:为了探究江苏杨树人工林碳储量分布情况,利用2010年江苏省森林资源清查主要数据,分析了江苏杨树人工林空间分布格局以及碳储量、碳密度与区域社会经济状况之间的相关性。结果显示:江苏杨树人工林碳储量区域差异大;国民生产总值与碳储量间的相关关系说明,随着社会经济条件的增长,人工林碳汇能力迅速下降,经济发达地区对于人工林碳汇贡献很低;各地区林业生产总值与碳密度间的相关关系说明,林业生产总值较低和较高的地区杨树人工林碳密度都偏低。建议通过建立完善的区域及行业间生态补偿机制和更科学的森林经营措施保障杨树人工林可持续发展。

关键词:杨树人工林;碳储量;碳密度;国民生产总值;林业生产总值

中图分类号:S750 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2015.02.004

Analysis on carbon storage of poplar plantation in Jiangsu Province

XING Wei^{1,2}, QI Wei-long¹, ZHAO Qian¹, GE Zhi-wei^{1*}

(1. College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

Abstract: In order to analyze the carbon storage distribution of poplar plantation of Jiangsu Province, the data of forest resources assessment in Jiangsu Province (2010) was analyzed in this paper. The correlations between the spatial distribution, carbon storage and density of poplar plantation and regional social economic status in Jiangsu Province were revealed. The results showed that there were large regional differences existing in the carbon storage of poplar plantation, and with regional social and economic developments, the carbon storage of poplar plantation declined sharply. The function relationship indicated that economical regions with poorer or better forestry produce had lower carbon density in poplar plantation. The possible solutions to existing issues on poplar plantation in Jiangsu Province included the establishment of ecological compensation mechanism among different regions and industries, and the improvement of forest management pattern.

Key words: Poplar plantation; Carbon storage; Carbon density; Gross domestic product; Forestry produce

森林植被储有地球陆地生态系统最大的碳量,约占陆地生物圈碳储量的60%^[1-2]。目前,人工林正成为世界森林资源的关键组分,并且在整个森林可持续经营中发挥着越来越重要的作用。随着对天然林结构与功能关系的认识,人们把实现人工林生态系统功能高效、稳定并可持续作为经营人工林的终极目标^[3-4]。据2010年最新森林资源清查数据

显示,作为中国人工林中的重要组成部分,长江中下游地区人工林栽培的主要树种——杨树人工林目前总面积已达757万hm²。2010年江苏省乔木林地137.603万hm²,其中杨树林面积92.773万hm²,占乔木林面积的67.42%。杨树人工林对于长江中下游地区生态环境建设意义重大,也是江苏省碳汇林业的主要部分。本研究根据2010年森林资源清查

收稿日期:2014-12-19;修回日期:2015-02-27

基金项目:江苏省基础研究计划(自然科学基金)青年基金项目“氮沉降对杨树人工林SOC同位素效应研究”(BK20130973);江苏省林业科学研究院青年科技基金项目“江苏速生杨树林固碳效益研究”(JAF-2009-3);江苏省林业三新工程项目“江苏主要造林树种碳汇计量模型构建与应用”(LYSX[2013]01)

作者简介:邢 玮(1981-),女,河北省高邑县人,助理研究员,博士研究生,主要研究方向:森林生态学。

*** 通信作者:**葛之葳(1981-),男,安徽省广德县人,讲师,博士,主要研究方向:森林生态系统碳库动态变化规律及影响因子分析。E-mail: nerrynor@163.com。

数据,以江苏杨树林生态系统为研究对象,估算其乔木层的碳储量,并分析了全省各地不同林龄杨树林碳储量的差异,旨在了解江苏杨树林碳储量现状,为江苏省和国家尺度的森林生态系统碳汇功能研究提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 研究资料

研究所采用的基本数据(江苏省以及各地市各类森林资源的龄组、面积和蓄积等)来源于江苏省2010年森林资源清查主要数据汇编^[5]。

1.2 森林碳储量及碳密度计算

目前推算区域尺度的森林生物量方法有3类:平均生物量法、平均换算因子法和换算因子连续函数法^[6-7]。其中,换算因子连续函数法是一种适用

于我国且能很好地利用我国森林资源清查资料,更准确地估算生物量的方法。研究利用其变形公式,即方精云等^[7]建立的各个林分类型生物量与蓄积量之间的回归方程,根据清查资料中已有的各林分蓄积量,计算其相应的生物量。

乔木林生物量的计算公式如下:

$$Y=0.4754x+30.6034$$

式中Y为每公顷生物量,x为每公顷蓄积量。

碳储量与生物量的换算系数(碳储量/生物量)采用大尺度换算常用系数0.5^[8]。

根据国家优势树种(组)龄组划分,南方杨树人工林龄组可划分为幼龄林(5a以下)、中龄林(6~10a)、近熟林(11~15a)、成熟林(16~25a)和过熟林(26a以上)。

碳密度=碳储量/面积。

表 1 2010 年江苏省各地区杨树碳储量和碳密度

| 地区 | 城市 | 面积/hm ² | 蓄积量/m ³ | 生物量/t | 碳储量/t | 碳密度/(t/hm ²) |
|------|---------|--------------------|--------------------|------------|------------|--------------------------|
| 长江流域 | 南京 | 24 012 | 2 367 090 | 1 125 345 | 562 673 | 23.43 |
| | 无锡 | 2 510 | 325 653 | 154 846 | 77 423 | 30.84 |
| | 常州 | 2 133 | 199 561 | 94 902 | 47 451 | 22.25 |
| | 苏南地区 苏州 | 1 089 | 118 661 | 56 442 | 28 221 | 25.92 |
| | 镇江 | 10 162 | 975 592 | 463 827 | 231 914 | 22.82 |
| | 合计 | 39 906 | 3 986 557 | 1 895 362 | 947 682 | |
| | 南通 | 5 853 | 689 296 | 327 722 | 163 861 | 28.00 |
| | 苏中地区 扬州 | 48 688 | 6 509 113 | 3 094 463 | 1 547 232 | 31.78 |
| | 泰州 | 15 427 | 1 909 904 | 907 999 | 454 000 | 29.43 |
| | 合计 | 69 968 | 9 108 313 | 4 330 184 | 2 165 093 | |
| 淮河流域 | 徐州 | 240 150 | 34 536 160 | 16 418 521 | 8 209 260 | 34.18 |
| | 连云港 | 106 942 | 13 767 073 | 6 544 897 | 3 272 448 | 30.60 |
| | 淮安 | 179 949 | 26 118 217 | 12 416 631 | 6 208 316 | 34.50 |
| | 苏北地区 盐城 | 112 760 | 14 736 675 | 7 005 846 | 3 502 923 | 31.07 |
| | 宿迁 | 178 059 | 25 881 883 | 12 304 278 | 6 152 139 | 34.55 |
| | 合计 | 817 860 | 115 040 008 | 54 690 173 | 27 345 086 | |
| 江苏省 | 合计 | 927 734 | 128 134 878 | 60 915 719 | 30 457 861 | |

各地区杨树人工林面积数据统计自参考文献[5]。

2 结果与分 析

2.1 江苏杨树人工林碳储量和平均碳密度空间分布

根据江苏省2010年森林资源清查资料的统计数据,计算出2010年江苏省杨树人工林碳储量为3 045.78万t,占当年全省森林总碳储量的59.40%(见表1)。从碳储量的空间分布看,江苏省不同地区杨树人工林碳储量差异较大。2010年苏南、苏中

和苏北地区杨树人工林碳储量分别占全省的3.11%、7.11%和89.78%,平均碳密度以苏北最高、苏南较低。在全省13个地级市中,徐州市的杨树人工林碳储量最大,为820.93万t,约占全省总量的26.95%,其次是淮安市、宿迁市,分别为620.83万、615.21万t,分别占全省的20.38%、20.20%,最低的是苏州市,杨树人工林碳储量仅占全省的0.09%。平均碳密度以宿迁市最高,达到34.55t/hm²;其次是淮安市和徐州市,分别为34.50、34.18t/hm²;平均碳密度最低的是常州市,仅为22.25t/hm²。

2.2 江苏不同龄组森林的碳储量和平均碳密度

森林的碳储量与森林的年龄组成密切相关。2010 年,全省杨树人工林面积、碳储量都主要分布在中龄林中,分别占全省总量的 72.36% 和

76.26%。然而,其碳密度却只有近熟林、成熟林和过熟林的 79.65%、76.72% 和 55.06%。由此可见,江苏省杨树人工林平均年龄偏低,导致碳密度不高,固碳潜力尚待开发。

表 2 2010 年江苏省各地不同龄组杨树人工林碳储量

| 森林类型 | 面积/hm ² | 蓄积量/m ³ | 总生物量/t | 总碳储量/t | 碳密度/(t/hm ²) |
|------|--------------------|--------------------|------------|------------|--------------------------|
| 幼龄林 | 198 571 | 19 792 022 | 9 409 158 | 4 704 579 | 23.69 |
| 中林龄 | 671 276 | 97 709 136 | 46 450 954 | 23 225 477 | 34.60 |
| 近熟林 | 51 390 | 9 390 924 | 4 464 476 | 2 232 238 | 43.44 |
| 成熟林 | 6 333 | 1 201 480 | 571 214 | 285 607 | 45.10 |
| 过熟林 | 155 | 40 903 | 19 476 | 9 738 | 62.83 |

不同龄林杨树面积数据统计自参考文献[5]。

2.3 江苏各城市杨树人工林碳储量和碳密度与社会经济状况的相关性

江苏是全国经济发展较快的省份之一。2009 年全省实现生产总值 34 061.19 亿元,比 2008 年增长 12.4%,人均 GDP 按当年汇率折算超过 6 400 美元,财政总收入突破 8 000 亿元。然而,全省各个城市发展不均衡(见表 3),苏北地区社会经济条件明显低于苏南地区,而且林业生产总值所占比例普遍偏低,呈现各地区间国民生产总值与林业生产总值之间的负相关关系。在此背景下,人工林碳储量与碳密度与社会经济状况之间必然存在一定的关系。而杨树作为江苏主要营林树种,能够具有代表性地反应各地区人工林碳储量与碳密度的现状。

表 3 2010 年江苏省各城市社会经济状况^[9]

| 地区 | 城市 | 国民生产总值/亿元 | 林业生产总值/亿元 |
|------|------|-----------|-----------|
| 长江流域 | 苏南地区 | 南京 | 5 130.65 |
| | | 无锡 | 5 793.30 |
| | | 常州 | 3 044.89 |
| | | 苏州 | 9 228.91 |
| | | 镇江 | 1 987.64 |
| | 苏中地区 | 南通 | 3 465.67 |
| | | 扬州 | 2 229.49 |
| | | 泰州 | 2 048.72 |
| | | 徐州 | 2 942.14 |
| | | 连云港 | 1 193.31 |
| 淮河流域 | 苏北地区 | 淮安 | 1 388.07 |
| | | 盐城 | 2 332.76 |
| | | 宿迁 | 1 064.09 |

各城市的国民生产总值反应了各城市社会总体经济水平,而其与主要造林树种的碳储量的相关关系则能够反映碳汇管理水平的高低。本研究应用了指数函数($R^2 = 0.486$)、对数函数($R^2 = 0.293$)、幂

函数($R^2 = 0.528$, $P = 0.005$)、线性模型($R^2 = 0.225$)、多项式模型(一元二次方程)($R^2 = 0.287$)5 种数学模型进行曲线拟合分析。结果显示, $y = 4 \times 10^{9x^{-2.27}}$ 较好地反映了江苏省各城市国民生产总值与杨树人工林碳储量之间的关系(如图 1),说明随着社会经济条件的增长,人工林碳汇能力在迅速下降,经济发达地区对于人工林碳汇贡献很低。

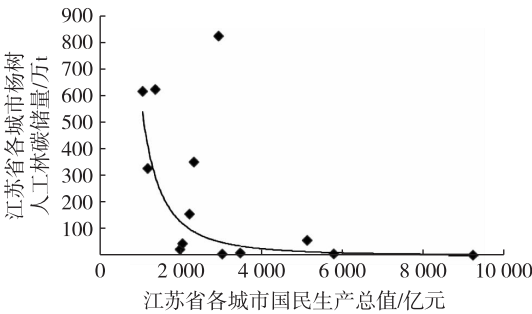


图 1 江苏省各城市国民生产总值与杨树人工林碳储量相关性分析

而人工林碳密度则是反应一个地区森林质量的重要指标,它反应了一个地区对于森林管理工作的投入以及森林经营水平的高低。本研究应用了 SPSS19.0 中 Peak 模型组内 12 种数学模型进行曲线拟合分析。结果显示, $y = 24.9 + 95.2 e^{-0.5 \ln(\frac{x}{11.9})/x}$ ($R^2 = 0.57$, $P = 0.045$),较好反映了江苏省各城市林业生产总值与杨树人工林碳密度之间的关系(如图 2)。这说明林业生产总值很高以及很低的地区森林质量都较低,森林经营水平不高。

3 结论与讨论

(1)江苏省杨树人工林分布不均衡,碳储量区

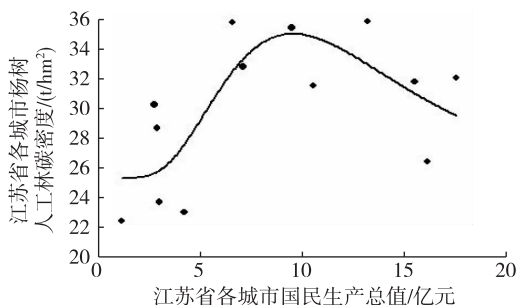


图2 江苏省各城市林业生产总值与杨树人工林碳密度相关性分析

域差异大。经济相对比较发达的苏南地区林业生产总值平均只占国民生产总值的0.15%,因此各级政府、企业对于人工林营造工作投入必然更少。这种社会经济宏观上的不可持续性最终会对社会生态健康产生负面影响,甚至制约经济的发展^[10-11]。这也是生态文明建设工作需要重点解决的问题。缓解这一矛盾的主要手段为建立区域间生态补偿的调控机制,使得林业经济进入良性发展的轨道^[12]。公益林碳储量相对较低的经济发达地区应该向公益林碳储量高的地区进行经济补偿,将环境成本纳入区域经济核算成本中,实现全省的可持续发展。

(2)林业生产总值较低城市杨树人工林碳密度普遍偏低。林业生产总值较低的区域如常州(1.26亿元)、泰州(2.85亿元)、南通(3.01亿元)杨树人工林碳密度只有22.25,29.43,28.00 t/hm²。这可能是由于经济产出仍是这些地区发展的首要任务,作为对国民生产总值贡献较低的林业未能受到普遍重视^[13]。

对于这一部分地区应该增加政府林业产业方面的投入,完成由单纯的森林面积扩大向森林质量提高的转变,大力发展人工林集约经营,扩大森林生态系统能流多级利用、生态位分化等林业生态工程理论的应用范畴,最终达到林业产业产出与森林碳密度的双赢。

(3)林业生产总值比较高的城市杨树人工林碳密度也有降低的趋势。林业生产总值较高的区域如盐城(17.58亿元)、苏州(16.18亿元)、无锡(15.54亿元)杨树人工林碳密度也只有31.07,25.92,30.84 t/hm²,都在江苏省碳密度平均水平32.83 t/hm²以下。这种现象出现的原因是由于这些林业生产总值较高的地区对于林业产业产出有一定的依赖性,从而产生了对于人工林生态系统碳库的过度

利用。这种重度干扰会限制区域碳密度现存量的增长,出现林业生产总值与现存碳密度负相关关系,最终降低森林质量,导致土壤肥力无法支持高强度的林业经营方式^[14-15]。因此,应该适当延长轮伐期、实施全面的树种轮作制度,提高森林经营管理水平。并且通过行业利润转移等方式降低林业产业直接经济效益产出的要求,加强森林生态系统服务功能维护,实现林业产业的可持续发展。

参考文献:

- [1] Ceulemans R, Janssens I A, Jach M E. Effects of CO₂ enrichment on trees and forests: lessons to be learned in view of future ecosystem studies [J]. *Annals of Botany*, 1999, 84(5): 577-590.
- [2] Lal R. Forest soils and carbon sequestration [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1): 242-258.
- [3] Nilsen, P. & Strand, L. T. Thinning intensity effects on carbon and nitrogen stores and fluxes in a Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] stand after 33 years [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(3): 201-208.
- [4] Paquette A, Messier C. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 8(1): 27-34.
- [5] 江苏省林业局. 江苏省森林资源报告 [R]. 南京: 江苏省林业局, 2010.
- [6] Fang J Y, Chen A P, Peng C H. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 2001, 292(5525): 2320-2323.
- [7] 方精云, 陈安平, 赵淑清, 等. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文 (Science, 2001, 291: 2320-2322) 的若干说明 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 243-249.
- [8] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献 [J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 733-740.
- [9] 江苏省统计局. 2010 年全省国民经济和社会发展主要指标 [EB/OL]. <http://www.jssb.gov.cn/tjxxgk/tjsj/>.
- [10] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518-522.
- [11] Piao S L, Fang J Y, Ciais P. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China [J]. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1014.
- [12] 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.
- [13] 李思刚, 蒋婷婷. 江苏省森林资源现状与特点分析 [J]. *江苏林业科技*, 2011, 38(5): 34-37.
- [14] 光增云. 河南省森林碳储量及动态变化研究 [J]. *林业资源管理*, 2006, 1(4): 56-61.
- [15] 李庆云, 万 猛, 樊 巍, 等. 黄淮海平原农区杨树人工林生物量和生产力研究 [J]. *河南科学*, 2008, 26(4): 434-437.