

# 林分郁闭度和龄级对防护林碳汇功能及固碳价值的影响<sup>1)</sup>

刘茂秀 史军辉 王新英 彭秋梅

(新疆林业科学院, 乌鲁木齐 830046)

**摘要** 通过生物量换算因子法,以新疆伽师县“三北”防护林为研究对象,根据2008年底森林资源调查数据,研究了林分郁闭度和龄级对防护林碳汇功能及固碳价值的影响。结果表明:碳密度和生物量随龄级的增加呈上升趋势;生物量和碳密度也随郁闭度的增加呈波浪形上升趋势。幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林的年碳吸收率分别为3.0、2.8、3.6、3.2、3.2 t/(hm<sup>2</sup>·a),其中近熟林的年碳吸收率最大。在碳储量中,郁闭度为0.5的林分的碳储量占总碳储量的43.8%,近熟林和成熟林占82.3%。

**关键词** 防护林;林分郁闭度;龄级;碳汇功能;固碳价值

**分类号** S715.3

**Influences of Crown Density and Age Class on Function and Value of Carbon Sequestration of Shelter Forests in Jiashi County, Xinjiang**/Liu Maoxiu, Shi Junhui, Wang Xinying, Peng Qiumei(Xinjiang Academy of Forestry Science, Urumqi 830046, P. R. China) //Journal of Northeast Forestry University. -2011, 39(6). -30~32

Biomass-conversion factor method was used to study the influences of crown density and age class on function and value of carbon sequestration of shelter forests in Jiashi County, Xinjiang, according to the forest resource data from the survey conducted at the end of 2008. Results showed that the carbon density and biomass of the shelter forests exhibited an upward trend with age class and an undulating increase with canopy density. Annual carbon absorption rates of young forest, middle-aged forest, near-mature forest, mature forest and over-mature forest were 3.0, 2.8, 3.6, 3.2 and 3.2 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, among which the annual carbon absorption rate of near-mature forest was the highest. In carbon stocks, carbon storage in the forest with crown density of 0.5 accounted for 43.8% of the total carbon storage in the Three-North Shelter Forests in Jiashi County, and the carbon storage of near-mature forest and mature forest accounted for 82.3%.

**Keywords** Shelter forests; Crown density; Age class; Carbon sink; Value of carbon sequestration

大气中CO<sub>2</sub>体积分数的增加导致全球气候变暖,已经引起各界的广泛关注,对碳汇及气候变化的研究已成为当前的研究重点<sup>[1-3]</sup>。森林是陆地最大的贮碳库,全球陆地总碳库为1 800 Pg,其中森林的碳储量约占陆地生物圈地上碳储量的80%和地下碳储量的40%<sup>[4]</sup>,同时,森林还是巨大的吸碳器。我国森林(乔木林与灌木林)年均吸收的二氧化碳占生物固碳总量的80%<sup>[5]</sup>,在维护全球气候系统、调节全球碳平衡、减缓大气温室气体体积分数上升等方面具有不可替代的作用<sup>[6]</sup>。20世纪90年代中期开始,国内学者利用我国森林资源调查资料,结合森林生态系统生物量 and 生产力的研究,推算出我国近50 a来森林植被的碳库及其动态,对北半球中高纬度地区碳库和我国森林碳汇功能进行了评价<sup>[1, 2, 7-9]</sup>。近十几年来,随着林业生态工程的实施,我国人工林面积占森林总面积的比例快速增加,人工林在CO<sub>2</sub>的吸收和固定及减缓全球气候变暖等方面的作用也越来越受到重视<sup>[10-12]</sup>。目前,人工林碳贮量与碳平衡的研究已成为生态学研究的热点<sup>[6, 13-16]</sup>,但对林业部重点工程区森林碳密度和碳贮量方面的研究却较少<sup>[17]</sup>。

伽师县是新疆“三北”防护林工程建设重点区域之一,目前共有以杨树为主的防护林面积3.23万hm<sup>2</sup>。文中以新疆伽师县“三北”防护林为研究对象,研究林分郁闭度和龄级对

“三北”防护林碳汇功能及固碳价值的影响,旨在为评价新疆“三北”防护林建设工程森林碳汇效益和制定合理的林业资源管理模式提供理论依据。

## 1 研究地区概况与研究方法

研究区概况:伽师县位于东经76°20′~78°06′,北纬39°16′~40°00′之间,属典型的暖温带大陆性荒漠气候。主要特点是:四季分明,降雨稀少,无霜期长,光热丰富,昼夜温差大,气候干燥。全年太阳辐射总能量达600.6 kJ/cm<sup>2</sup>,日照时间长,年平均日照时数为2 923.3 h,平均气温11.7℃,年平均降水量54 mm,年平均蒸发量为2 251.1 mm,年平均无霜期为233 d,最短199 d,最长268 d。年平均风速1.4 m/s,年平均沙尘暴日数6.2 d。“三北”防护林主要造林树种以杨树为主,林分结构简单,平均郁闭度0.38,平均树高9.59 m,平均胸径11.72 cm。

数据来源:以伽师县2008年底“三北”防护林森林资源调查数据为基础数据。该数据是在2003年新疆维吾尔自治区林业勘察设计院完成的资源调查数据库的基础上,2009年为了开展“十二五”采伐限额工作,按照设计院确定的森林蓄积量调查方案,选择4 495个不同年龄的代表性样地,对2004—2008年各类森林资源按不同龄级、面积和蓄积进行调查获得。

生物量碳储量的计算方法:采用森林蓄积量扩展法(或生物量换算因子法)<sup>[18]</sup>——以森林蓄积量为计算基础,通过蓄积扩大系数计算树木(包括枝、树根)生物量,然后通过容积密度(干质量系数)计算生物量干质量,再通过含碳率计算其固碳量,即林木生物量固碳量<sup>[19]</sup>。由于对人工造林区进行了松土、除草等管理措施,因此,本文所指的森林碳储量仅为

1) 国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD26B09)、自治区科技攻关项目(200733144-2)。

第一作者简介:刘茂秀,女,1976年12月生,新疆林业科学院助理研究员。

通信作者:史军辉,新疆林业科学院,高级工程师;E-mail: junhui\_shi@sohu.com。

收稿日期:2010年11月30日。

责任编辑:李金荣。

乔木层碳储量,没有包括草本层、凋落物层以及土壤层碳储量。由于新疆自然环境比较严酷,人工造林树种比较单一,伽师县“三北”防护林人工造林以杨树为优势树种,因此,根据生物量换算因子法,参照刘盛等<sup>[20]</sup>杨树林分蓄积量换算模型来计算林分生物量。

杨树气干生物量模型:  $B_{wi} = 0.475M_i + 30.6034$ 。式中:  $B_{wi}$  为气干生物量 ( $t/hm^2$ );  $M_i$  为第  $i$  小班(龄级)的每公顷蓄积量 ( $m^3/hm^2$ )。

林分全干生物量计算模型:  $B_{oi} = B_{wi} - 0.04M_i$ 。式中:  $B_{oi}$  为全干生物量;  $B_{wi}$  为气干生物量;  $M_i$  为第  $i$  小班(龄级)的每公顷蓄积量。

林分碳密度模式:  $C_i = aB_{oi}$ 。式中:  $C_i$  为第  $i$  小班(龄级)的碳密度;  $a$  为某树种生物量含碳率。本文  $a$  取  $0.4956^{[21]}$ 。

固碳经济价值的计算: 森林碳汇经济评价参数主要是指碳汇价格,其单位是元/ $t$ (碳)。目前较常用的计算固定  $CO_2$  价值的方法有两种: 一种是造林成本法,它是根据所造林分吸收大气中的  $CO_2$  与造林费用之间的关系来推算森林固定  $CO_2$  的价值; 另一种是碳税率法,环境经济学家们通常使用瑞典的碳税率<sup>[22]</sup>。本文采用国家林业局 2004 年 4 月 28 日发布的《森林生态服务功能评估规范(LY/T1721—2008)》中“固碳价格”1 200 元/ $t$ (忽略人民币升值引起的固碳价格变化),计算不同森林类型的碳汇经济价值。

2 结果与分析

2.1 生物量随郁闭度和龄级的动态变化

通过表 1 中数据计算得出,当林分郁闭度为 0.1~0.7 时,平均生物量分别为 78.3、124.9、220.9、133.4、230.8、179.4、307.7  $t/hm^2$ ,变异系数为 59.5%~98.6%;而当郁闭度为 0.8 和 0.9 时,只有 1 或 2 个龄级有生物量,不具有代表性,失去比较的意义。随着郁闭度的增加,林分生物量的变化呈波浪形上升趋势。经方差分析表明,郁闭度对生物量的影响均达

到显著水平( $p < 0.05$ )。

伽师县“三北”防护林各龄级生物量(表 1)表现为: 幼龄林变幅为 1.6~395.8  $t/hm^2$ ,平均值为 70.6  $t/hm^2$ ; 中龄林 62.9~417.0  $t/hm^2$ ,平均值为 129.2  $t/hm^2$ ; 近熟林 119.2~617.8  $t/hm^2$ ,平均值为 260.6  $t/hm^2$ ; 成熟林 120.3~432.8  $t/hm^2$ ,平均值为 301.4  $t/hm^2$ ; 过熟林 129.0~573.2  $t/hm^2$ ,平均值为 378.7  $t/hm^2$ 。随龄级的增加,生物量呈上升趋势,其中中龄林生物量比幼龄林增加 82.7%,近熟林比中龄林增加 102.2%,成熟林比近熟林增加 15.7%。从生物量相对增加量比较,从中龄林到近熟林阶段生物量增加最快。经方差分析表明,龄级对碳密度的影响均达到极显著水平( $p < 0.001$ )。

2.2 郁闭度和龄级对碳密度的影响

不同郁闭度下碳密度表现出一定的差异(表 1)。郁闭度为 0.1~0.7 时,平均碳密度分别为 32.0、42.1、62.8、43.9、64.9、53.8、81.5  $t/hm^2$ ,变异系数为 37.6%~74.8%;而当郁闭度为 0.8 和 0.9 时,只有 1 或 2 个龄级有碳密度,不具有代表性,失去比较的意义。因此,随郁闭度的增加,碳密度的变化呈波浪形上升趋势。经方差分析表明,郁闭度对碳密度的影响均达到显著水平( $p < 0.05$ )。

不同龄级的碳密度(表 1)均表现为: 幼龄林变幅为 15.5~100.5  $t/hm^2$ ,平均值为 30.4  $t/hm^2$ ; 中龄林 28.7~105  $t/hm^2$ ,平均为 43.0  $t/hm^2$ ; 近熟林 40.9~123.0  $t/hm^2$ ,平均为 71.3  $t/hm^2$ ; 成熟林 41.1~108.5  $t/hm^2$ ,平均值为 80.1  $t/hm^2$ ; 过龄林 43.0~138.7  $t/hm^2$ ,平均值为 96.8  $t/hm^2$ 。随龄级的增加,碳密度呈上升趋势。经方差分析表明,龄级对碳密度的影响均达到极显著水平( $p < 0.05$ )。以杨树各龄级按最大值来计算,幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林的年碳吸收率分别为 3.0、2.8、3.6、3.2、3.2  $t/(hm^2 \cdot a)$ ,表现出先降后升最后不再变化的趋势,其中近熟林的碳吸收率最大,说明龄级对碳吸收率和碳密度的影响有一定的差异。伽师县“三北”防护林平均年碳吸收率明显高于亚热带森林<sup>[11]</sup>。

表 1 林分生物量与碳密度随郁闭度和龄级的变化

$t \cdot hm^{-2}$

郁闭度	生物量					碳密度				
	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
0.1	1.6	72.0	119.2	120.3		15.5	30.7	40.9	41.1	
0.2	4.7	62.9	149.1	282.8		16.2	28.7	47.3	76.1	
0.3	21.1	85.0	153.2	272.1	573.2	19.7	33.5	48.2	73.8	138.7
0.4	16.5	91.6	156.6	273.4	129.0	18.7	34.9	48.9	74.1	43.0
0.5	55.2	142.9	242.1	351.7	362.3	27.1	46.0	67.4	91.0	93.3
0.6	43.8	94.4	146.4	432.8		24.6	35.5	46.7	108.5	
0.7	26.6	67.4	617.8	376.4	450.4	20.9	29.7	148.4	96.3	112.3
0.8		417.0					105.1			
0.9	395.8		500.1			100.5		123.0		
平均	70.7	129.2	260.6	301.4	378.7	30.4	43.0	71.3	80.1	96.8

2.3 不同郁闭度和龄级下碳储量的分布

总体上分析,伽师县“三北”防护林总的碳储量为 17.7 万  $t$ 。各龄级占整个碳储量的比例分别为 7.3%(幼龄林)、8.9%(中龄林)、39.2%(近熟林)、43.1%(成熟林)、1.4%(过熟林),其中近熟林和成熟林占整个碳储量的 82.3%。因此,伽师县“三北”防护林工程的碳储量主要取决于近熟林和成熟林。不同郁闭度下碳储量也表现出差异性,郁闭度为 0.1~0.7 时,碳储量分别为 739.9、4 857.9、4 812.6、5 983.4、15 520.0、5 530.2、206.2  $t$ ,其中郁闭度为 0.5 的林分的碳储量占整个碳储量的 43.8%。

2.4 伽师县“三北”防护林工程固碳价值

伽师县“三北”防护林工程的碳汇经济总价值为 2.13 亿元(表 2)。按龄级来计算,成熟林的碳汇经济价值最大,占整个碳汇价值的 43.1%,其次是近熟林,占 39.3%,而成熟林和近熟林的碳汇价值占整个伽师“三北”防护林工程碳汇价值的 82.4%,体现了在伽师县的森林生态系统中,碳汇能力主要体现在防护林的成熟林和近熟林上;按郁闭度来计算,郁闭度为 0.5 时防护林的固碳经济价值最大,占整个固碳价值的 43.8%。表明在伽师县的森林生态系统中,碳汇能力主要体现在郁闭度为 0.5、龄级为成熟林和近熟林的防护林上。

表 2 不同郁闭度和龄级的防护林碳储量和固碳价值

郁闭度	碳储量/t					碳汇价值/万元				
	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
0.1	100.9	461.9	1 272.4	216.2		121.08	55.43	152.69	25.94	
0.2	4 018.0	3 192.7	8 985.1	3 235.9		482.16	383.13	1 078.22	388.31	
0.3	4 240.8	2 638.3	11 632.6	5 486.1	65.2	508.90	316.60	1 395.91	658.34	7.82
0.4	1 394.0	3 338.4	13 988.6	10 785.1	410.9	167.28	400.60	1 678.64	1 294.21	49.30
0.5	1 626.0	5 032.1	31 911.2	37 072.8	1 957.7	195.12	603.85	3 829.34	4 448.74	234.92
0.6	520.2	906.7	1 122.2	19 571.9		62.42	108.80	134.66	2 348.62	
0.7	37.8	5.0	709.1	152.2	126.9	4.54	0.61	85.09	18.26	15.22
0.8		210.2					25.22			
0.9	19.1					2.29				
合计	12 864.9	15 785.3	69 621.3	76 520.2	2 561.6	1 543.79	1 894.24	8 354.56	9 182.42	307.27

3 结论与讨论

伽师县“三北”防护林幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林平均生物量分别为 70.7、129.2、260.6、301.4、378.7 t/hm<sup>2</sup>。龄级组内生物量变化较大,变异系数为 33.3%~187.6%,说明立地类型对生物量影响较大。对相邻龄级生物量进行比较分析可知,中龄林到近熟林增幅达 102.2%,成熟林到过熟林增幅仅为 0.4%,表明达到一定龄级后,其相对生物量增加缓慢。因此,可通过采伐更新成熟林、过熟林来提高林地固碳效率。

伽师县“三北”人工杨树防护林相同年龄的碳密度都比桉-柏人工混交林的碳密度高<sup>[12]</sup>。主要原因是杨树是速生用材树种,生长速度较快,10 年生平均高度可达 6 m,而桉-柏林主要以柏木为主,柏木生长缓慢,10 年生的平均高度仅为 3 m 左右<sup>[12]</sup>。伽师县防护林平均碳密度为 64.3 t/hm<sup>2</sup>,均高于北亚热带森林(40.8 t/hm<sup>2</sup>)<sup>[17]</sup>和南亚热带阔叶林(21.2±0.92) t/hm<sup>2</sup>)<sup>[11]</sup>,但低于海南热带森林(234.31 t/hm<sup>2</sup>)<sup>[23]</sup>。因此,新疆伽师县“三北”防护林具有较高的储碳能力,其原因是人工防护林主要分布在绿洲内部和农田周围,水分条件相对较好,管理措施优于天然林。

伽师县“三北”防护林生物量和碳密度随郁闭度的增加呈波浪形上升趋势,表明具有合理郁闭度的林分可以较好地利用光、水等环境因子,使生物量和碳密度达到最佳。

方差分析结果表明,郁闭度对生物量和碳密度的影响均达到显著水平( $p < 0.05$ ),而龄级对林分生物量和碳密度的影响达极显著水平( $p < 0.05$ ),说明对生物量和碳密度影响最大的是龄级,其次是郁闭度。同时,随龄级的增加,年碳吸收率表现出先降后升最后不再变化的趋势,表明年碳吸收率在达到一定龄级后增加缓慢。因此,应制定合理的采伐制度,改善龄组结构比例,加强幼、中龄林的培育和改造,提高林分质量,维持林龄或龄级结构的稳定状态,从而保持稳定的蓄积量,以确保较大的碳密度。

以伽师县 2008 年底“三北”防护林森林资源数据为依据,估算总碳储量为 17.7 万 t,碳汇经济总价值为 2.13 亿元。随着新疆林果业迅猛发展,近 10 a 伽师县经济林面积已发展到 8 749 hm<sup>2</sup>。由于在森林资源调查中,经济林没有计入蓄积量,因此,本文计算的伽师县“三北”防护林总碳储量和固碳价值远远低于该县实际人工林的总碳储量和固碳价值。同时,根据伽师“三北”五期工程建设规划,人工造林平均每年以 2 000 hm<sup>2</sup> 的速度递增,10 a 后可增加 2.0 万 hm<sup>2</sup>,以幼龄林的平均年碳吸收率 3.0 t/(hm<sup>2</sup>·a) 来计算,每年增加 0.6 万 t,预计 2020 年碳吸收量将达到 32 万 t/a。如果“三北”一期到四期的总碳储量和固碳价值不发生改变,到 2020 年“三北”防护林工程的总碳储量可达到 107.8 万 t,固碳效益为

12.9 亿元。通过分析表明,造林、再造林和森林管理活动是缓解大气 CO<sub>2</sub> 体积分数升高的有效途径。因此,新疆伽师县“三北”防护林在具有巨大的防护效益与经济效益的同时,还具有较大的固碳效益。

参 考 文 献

[1] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292: 2320-2322.

[2] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(6): 804-812.

[3] 支玲,许文强,洪家宜,等. 森林碳汇价值评价: 三北防护林体系工程人工林案例[J]. 林业经济, 2008(3): 41-44.

[4] 王春权,孟宪民,张晓光,等. 陆地生态系统碳收支/碳平衡研究进展[J]. 资源开发与市场, 2009, 25(2): 165-171.

[5] 朴世龙,方精云,黄耀. 中国陆地生态系统碳收支[J]. 中国基础科学, 2010(2): 20-23.

[6] 文仕知,田大伦,杨丽丽,等. 桉木人工林的碳密度、碳库及碳贮存特征[J]. 林业科学, 2010, 46(6): 15-21.

[7] 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.

[8] 周玉荣,于枕良,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.

[9] 王效科,冯宗炜. 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.

[10] Winjura J K, Schroeder P E. Forest plantations of the world: Their extent, ecological attributes, and carbon storage[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 84: 153-167.

[11] 周传艳,周国逸,王春林,等. 广东省森林植被恢复下的碳储量动态[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 60-65.

[12] 吴鹏飞,朱波,刘世荣,等. 不同林龄桉-柏混交林生态系统的碳储量及其分配[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1419-1424.

[13] Laclau P. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 180: 317-333.

[14] 雷丕锋,项文化,田大伦,等. 樟树人工林生态系统碳素贮量与分布研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 25-30.

[15] 包维楷,雷波,冷俐. 六种人工针叶幼林下地表苔藓植物生物量与碳贮量[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1817-1821.

[16] 李轩然,刘琪,陈永瑞,等. 干烟洲人工林主要树种地上生物量的估算[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1382-1388.

[17] 张林,王礼茂,王睿博. 长江中上游防护林体系森林植被碳贮量及固碳潜力估算[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 111-115.

[18] 曹吉鑫,田贻,王小平,等. 森林碳汇的估算方法及其发展趋势[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 2001-2005.

[19] 续珊珊,姚顺波. 基于生物量转换因子法的我国森林碳储量区域差异分析[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2009, 8(3): 109-114.

[20] 刘盛,李国伟. 林分碳储量测算方法的研究[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(4): 166-169.

[21] 顾凯平,张坤,张丽霞. 森林碳汇计量方法的研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(5): 105-109.

[22] 黄方,张合平,陈遐林. 湖南主要森林类型碳汇功能及其经济价值评价[J]. 广西林业科学, 2007, 36(1): 56-60.

[23] 张雄,张合平,刘聪. 湖南主要针叶林类型乔木层碳汇功能及其经济价值估算[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(10): 198-200.