

农田防护林树种中林 46 杨不同器官碳含量的研究*

耿相国¹, 吴斌¹, 张宇清^{1**}, 李春平¹, 李志沛¹, 郑慧²

(1. 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 中国水土保持学会, 北京 100083)

关键词: 碳含量; 碳贮量; 黑杨派; 农田防护林

中图分类号: S727.2

文献标志码: A

Carbon Concentration Storage and Partition of *Populus × euramericana* “Zhonglin-46” in Shelterbelts

GENG Xiang-guo¹, WU Bin¹, ZHANG Yu-qing¹, LI Chun-ping¹, LI Zhi-pei¹, ZHENG Hui²

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Chinese Society of Water and Soil Conservation, Beijing 100083, China)

Abstract: Carbon partition in plants is one of the key points for carbon cycle research. In order to estimate the carbon storage of shelterbelts in plain areas of China accurately, the method of biomass inventory was used to study the individual biomass, organ carbon storage and partition in different organs of 8, 10, 13 and 16 year-old poplar shelterbelts in Yuncheng, Shandong Province. The results indicated that the biomass of different poplar organs followed the pattern of trunk > branch > root > leaf, and the biomass of trunk and branch accounted for about 80% of the total. The carbon concentration of the different organs followed leaf > branch > trunk > root. The carbon concentration of different organs ranged between 43.51% and 70.49%. The carbon concentration of the four age groups' shelterbelts were higher than 50%, which was slightly higher than the average carbon concentration of poplar in Northern China(48.80%). The variation coefficient of carbon concentration was the smallest for leaf, and the largest for root. As for the difference of carbon concentration, it was significant among different organs for all the four age groups, and not significant among the whole trees for the four age groups. The carbon storage was closely related to its biomass for all tree organs, and its sequence was trunk > branch > root > leaf. The proportion of trunk carbon storage obviously increased with tree age.

Key words: carbon concentration; carbon storage; *Populus*; shelterbelts; Yuncheng

自 20 世纪以来,伴随着现代工业的兴起和发展,土地退化、温室效应、森林锐减、环境污染等问题,已经严重威胁到全球生态环境和人类社会自身的生存与发展,引起了国际社会的普遍关注。尤其是由于人类活动所导致的空气 CO₂ 浓度上升,温室

效应加剧,已成为人类目前面临的最为严峻的生态环境问题^[1-3]。碳是一切有机物的基本成分,是地球生命支持系统的一个重要生命元素,约占生物体干质量的一半^[4-5]。森林占据着全球非冰盖和冰层地表面的 40%,与其他生态系统相比,分布面积最

收稿日期: 2010-01-30

基金项目: 林业公益性行业科研专项项目“典型平原区生态安全林业保障体系构建机理及功效评价研究”(200804008)

作者简介: 耿相国(1985—),男,硕士,主要研究方向:农林复合。

* 致谢: 本项研究得到了国家林业局造林司黎云昆、李冰、王福祥等的大力帮助,北京林业大学水土保持重点实验室土壤组工作人员给予大力协助,04 级本科生冯靖宇、刘佳、岳丹、周莹等人参与了数据汇总与核实,在此一并致谢!

** 通讯作者: 张宇清(1971—),男,博士,北京林业大学水土保持学院副教授,主要研究方向:农林复合、荒漠化防治, E-mail: zhangyq@bjfu.edu.cn

大,生物生产力和生物量积累最高,每年固定的碳约占整个陆地生态系统的2/3^[6]。森林生长吸收大量的CO₂,并具有较长期的保存能力。因此,森林在调节气候和大气CO₂浓度中发挥着重要的作用,特别是在当前大气CO₂浓度急剧上升,有可能带来更加严重温室效应和全球变暖的情况下,森林的碳汇功能成为各国生态学家及政要共同关注的热点问题。方精云等^[7-8]利用1949年至1998年间的7次森林资源清查资料,推算出我国50年森林碳贮量及其动态变化,为确认北半球陆地存在巨大未知碳库提供了最直接的证据。康惠宁等^[9]利用国家森林资源清查资料,得出我国森林目前年均净固碳量为 $0.8627 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,并预测了我国未来森林的固碳潜力。刘国华等^[10]得出我国森林的平均碳密度低于世界平均水平,并且呈现逐渐下降的趋势。这些结果对于评价我国森林碳汇功能做出了重大贡献,但是,由于我国森林类型复杂多变,加上我国森林生态系统碳贮量研究起步较晚,基础比较薄弱,并且缺乏足够可信的实测数据,甚至没有统一的研究方法,影响了我国森林碳贮量的准确估算。

植物单株碳贮量是精确估算森林碳贮量的基础,只有准确确定单株植物的碳贮量,才能推算出森林碳贮量,进而推算出整个生态系统的碳贮量。当前,国内外学者对树木碳贮量问题的研究大多集中在某一区域生态系统中的某一树种,如雷丕锋等^[4]对樟树(*Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl)、孙玉军等^[11]对兴安落叶松(*Larix gmelinii* Rupr)、David等^[12]对北美短叶松(*Pinus banksiana* Lamb)、Lee等^[13-15]对杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)、江泽慧等^[16]对小黑杨(*Populus* × *xiaohei* T. S. Hwang et Liang)等森林生态系统树木生物量、碳含量、碳贮量以及碳的空间分布做了深入研究。国内外关于农田防护林的研究大都集中在农田防护林的防护效果^[17]、防护林的设计与建设^[18]、树木生物量的估算^[19],以及不同气候条件下树木的生长模型^[20];而农田防护林在碳储存方面的贡献没有引起足够重视,可以用来估算平原地区农田防护林储碳功能的成果非常少。据国家林业局和北京林业大学2007年平原林业普查结果显示,全国平原地区林业用地折合面积达到2 508.85万hm²,占全国林业用地面积的8.88%,活立木蓄积量达到10.03亿m³。农田防护林作为中国平原林业的主体,直接作用于农业环境,在调节农田小气候、改善平原区生态环

境、消减大气污染和碳储存等方面起着重要作用,杨树作为一种分布广泛、适应性强、生长迅速的植物,是用材林、防护林和“四旁”绿化的主要树种,是世界上最有利用价值的树种之一。全国杨树种植面积约为667万hm²,约占全国人工林面积的1/5^[21],杨树是我国北方农田防护林的主要树种,在我国北方生态环境建设中发挥着重要作用,但目前对其生物量及各器官碳分配方面的研究少见报道。本研究采用生物量清单法,对我国典型平原区四个不同年龄阶段农田防护林中林46杨单株碳含量、碳贮量及其分配进行研究。可为准确估算平原地区农田防护林的固碳贡献提供基础数据。

1 研究地概况

试验地位于山东省郓城县(115°40′~116°08′E, 35°19′~35°52′N)。该区属于暖温带大陆性季风气候,常年平均气温13.5℃,≥10℃积温为4 502.4~4 613.4℃,多年平均降水量548.2mm,主要集中在7—8月份。本试验区土壤为砂壤土和壤土,以沙壤土为主。常见树种主要有速生杨(*Populus* sp.)系列,其次是国槐(*Sophora japonica* L.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、兰考泡桐(*Paulownia elongata* S. Y. Hu)等。杨树为农田防护林的主要树种。

2007年8月在郓城县农田防护林带中,选择同一立地条件下8、10、13、16a的中林46杨(*Populus* × *euramericana* “Zhonglin-46”(Dode) Guiner CL)树林带,所选4条林带的株行距均为3m×5m,林带规格均为250m×300m,林带内树种单一,均为黑杨派(*P. nigra* L.)的中林46,样带内树木生长环境(土壤、水分、地形等)具有相似性,且林下均没有其他配置。对样带内的所有树木进行每木调查,分别测量树高、胸径、地径、枝下高、冠幅等参数。样带基本情况见表1。

2 研究方法

2.1 生物量的测定

在每木检尺的基础上,根据平均胸径和平均树高,在4条林带中各选取标准木3株,对标准木进行树干解析。地上部分采用Chiba^[22]提出的主轴切割法,每1.3m为一区分段,在分段处截取3cm厚度的圆盘,圆盘注明编号、高度和北向,分层称量该层的干、枝、叶鲜质量,并选取样枝和样叶,分别注明各

样品所在位置。地下部分采用分层挖掘法,以标准木为中心,在冠幅范围内逐层挖取至1 m深,用细筛将树根全部从土壤中分离出来,分层收集并带回实

验室。各器官抽取样品,在70℃烘箱中烘至恒质量,计算出各器官干物质质量。

表1 样带的基本情况

样带 No.	树龄 /a	行数 /行	株行距 /(m×m)	总株数 /株	平均胸径 /cm	平均树高 /m	平均枝下高 /m	平均冠幅/m	
								EW	SN
01	8	2	3×5	52	10.24	9.24	1.76	3.00	4.27
02	10	2	3×5	48	13.60	11.13	1.83	3.11	4.78
03	13	2	3×5	54	19.36	14.10	2.61	3.41	5.59
04	16	2	3×5	63	25.11	17.90	3.35	3.44	5.86

2.2 样品采集及化学分析方法

对标准木进行树干解析的同时,按层分别采集干、枝、叶、根样品并编号,将年龄相同的3株中林46杨标准木同一位置的样品混合取样,然后逐一测定样品的碳含量。碳含量的测定由北京林业大学水土保持重点实验室土壤组采用 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 氧化法测定完成。

2.3 数据分析

用Excel 2003和SPSS 13.0对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 中林46杨各器官生物量配比关系及动态变化

中林46杨单株各器官的生物量由该年龄3株

标准木相应器官生物量的算术平均值推算而得。表2所示:不同年龄中林46杨的树干、树叶、树枝、树根的生物量占整株生物量的比例不同,随林龄的增大,树干所占比例越来越大,各器官占整株生物量比例的排序为:树干>树枝>树根>树叶。树干和树枝两部分占整株树木生物量的80%左右。4种主要器官中,树叶的比例最小。8年生中林46杨树枝的生物量最大,其余年龄是树干的生物量最大,这与树木在幼龄期(<8 a)的人工管理有关,这时的人工管理主要是使树木尽快成长,修枝管理的力度不强,所以树枝部分的生物量较大。随着树木年龄的增加,树干部分成为人工管理的主要目标,修枝力度逐渐加大,树枝生物量所占比例逐年下降,树干生物量所占比例逐年增加。

表2 不同年龄中林46杨树干、枝、叶、根的生物量的配比关系

器官	8年生		10年生		13年生		16年生	
	生物量/kg	百分比/%	生物量/kg	百分比/%	生物量/kg	百分比/%	生物量/kg	百分比/%
叶	2.36	4.93	3.94	7.64	7.15	7.90	27.44	9.88
树干	16.35	34.17	21.80	42.28	45.93	50.73	148.75	53.53
树枝	22.60	47.23	19.71	38.22	26.85	29.66	71.78	25.83
根	6.54	13.67	6.11	11.85	10.60	11.71	29.90	10.76
合计	47.85	100	51.56	100	90.53	100	277.87	100

3.2 中林46杨各器官碳含量的动态变化

8、10、13、16 a中林46杨各器官碳含量的测定结果见表3。

表3 不同年龄中林46杨不同器官的碳含量

器官	碳含量/(g·kg ⁻¹)				变异系数/ %
	8年生	10年生	13年生	16年生	
叶	562.8	541.8	551.3	549.3	1.36
干	516.3	502.0	486.9	496.9	2.11
枝	533.7	547.9	538.7	529.5	3.49
根	435.1	439.0	479.2	463.0	3.97
算术平均值	512.0	507.8	514.0	509.7	1.01
加权平均值	515.7	515.1	517.1	506.9	0.78

表3显示:8、10、13、16 a 4个年龄的中林46杨碳含量均大于500 g·kg⁻¹,高于华北地区杨树的平均碳含量(488.0 g·kg⁻¹)^[23]。这与树木的生长环境有关,由于紧靠农田,农田防护林系统的土壤有机质含量较高,农田防护林一般是2行栽植,树木的采光条件好,有利于树木生长。不同器官的碳含量大小排序为树叶>树枝>树干>树根,此排列顺序与樟树^[4]、杉木^[13-14]、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)^[24]各器官碳含量的大小排序是一致的。树叶的碳含量最高。从各器官的变异系数来看,树叶的碳含量变异系数最小,树根的变异系数最大,随着

树木年龄的增加,粗根所占比例越来越大,树根的木质化程度越来越高,碳含量也随之升高,且不同层次之间树根的碳含量变化较明显,因此,树根的碳含量变异系数最大。

表4 不同年龄中林46杨的不同器官的碳含量双因素方差分析结果

方差来源	离差平方和	自由度	均方和	均方比	临界值 (F_{α})
各器官	367.28	3	122.43	6.50	$F_{0.05}(3,9) = 3.86$
林龄	63.38	3	21.13	1.12	$F_{0.05}(3,9) = 3.86$
剩余误差	169.57	9	18.84		
总和	600.23	15			

表4表明:不同器官碳含量的差异显著;不同林龄间中林46杨碳含量的差异不显著,这说明树木整体的碳含量比较稳定,在8~16a的年龄范围内与

林龄的变化关系不大,由此可得出估算典型平原区农田防护林碳贮量时,利用各林龄碳含量的加权平均值作为农田防护林的碳含量具有可行性。

3.3 不同年龄中林46杨各器官碳贮量与配比关系

树木各器官的生物量与相应碳含量的积为各器官碳贮量。不同器官的碳贮量与相应生物量关系密切,碳贮量决定于林木生物量的积累及其各器官的碳含量。由于中林46杨各器官生物量占总量的比例不同,尽管某些器官的碳含量较高,但由于该器官的生物量较小,其碳贮量也可能会小于其他器官。

表5表明:中林46杨各器官碳贮量基本上与其对应的生物量成正比,树叶占的比例最低,树干部分占生物量的比例最大,其碳贮量所占的比例也最高,而且随着年龄的增长而明显增加,16年生中林46杨树干所占比例高达52.48%。

表5 不同年龄单株中林46杨不同器官的碳贮量

器官	年龄/a							
	8		10		13		16	
	碳贮量/kg	百分比/%	碳贮量/kg	百分比/%	碳贮量/kg	百分比/%	碳贮量/kg	百分比/%
叶	1.33	5.39	2.13	8.02	3.94	8.60	15.07	10.70
干	8.44	34.20	10.94	41.21	22.36	48.78	73.91	52.48
枝	12.06	48.87	10.80	40.68	14.46	31.54	38.01	26.99
根	2.85	11.55	2.68	10.09	5.08	11.08	13.84	9.83
合计	24.68	100	26.55	100	45.84	100	140.83	100

随着中林46杨年龄的增加,叶、干的碳贮量都随年龄的增加而增加。8a中林46杨树干和树枝的碳贮量占整株树的83.07%,可见,树干以及树枝部分决定树木碳储存能力的大小。

4 结论与讨论

对农田防护林树种中林46杨4个不同年龄生物量及各器官碳含量的研究表明:树干是树木生物量的主要组成部分,其次是树枝,二者是树木生物量的主体部分,占整棵树的2/3,共同决定了树木的固碳能力。树叶在生物量中所占的比例最小,但是它在树木的生长过程中起着非常重要的作用,决定着树木同化作用的强弱,在很大程度上影响着植株的固碳能力,因而从固碳的角度来说,冠幅越大固碳能力越强,但因为农田防护林树种的冠幅会影响到农作物的生长,因此精心管理下的适当冠幅才是有意义的。从本研究的结果看,树根占总生物量的比例为10.76%~13.67%,稍小于其他学者的研究结果(12.37%~15.80%)^[16,19],也小于1996年IPCC所

提供的温带阔叶林树根生物量与地上部分生物量的比值0.25^[25],而本实验中对树根的采集方法在冠幅范围的分层挖掘法,无法收集到冠幅以外的根系,进而导致本实验结果中根系在整棵树生物量中所占比例偏小。因此,利用生物量清单法估算得到的碳贮量值偏低。

从中林46杨的碳含量来看,四种年龄的中林46杨林带的单株碳含量均高于500 g·kg⁻¹,稍高于马钦彦等^[23]对华北地区杨树平均碳含量的研究结果,且不同林龄间杨树碳含量差异性不显著。由此看来,不同的杨树品种、不同地区的研究结果,存在一定的差异,精确计算平原地区农田防护林杨树的碳含量还需要进一步分品种、分地区进行深入研究;而基于生物量和碳含量进行储碳量估算时,可不考虑树龄的区别,因为从研究结果看,其差异并不大。

参考文献:

- [1] Pacala S W, Hurtt G C, Baker D, et al. Consistent land and atmosphere-based U. S. carbon sink estimates [J]. Science, 2001, 292: 2316-2320

- [2] 史 军,刘纪远,高志强,等.造林对陆地碳汇影响的研究进展[J].地理科学进展,2004,23(2):58-67
- [3] 张小全,武曙红,何 英,等.森林、林业活动与温室气体的减排增汇[J].林业科学,2005,41(6):150-156
- [4] 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
- [5] 裴志永,欧阳华,周才平.青藏高原高寒草原碳排放及其迁移过程研究[J].生态学报,2003,23(2):231-236
- [6] 何 斌,刘运华,余浩光等.南宁马占相思人工林生态系统碳素密度与贮量[J].林业科学,2009,45(2):6-11
- [7] 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
- [8] 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:地球科学,2007,37(6):804-812
- [9] 康惠宁,马钦彦,袁嘉祖.中国森林C汇功能基本估计[J].应用生态学报,1996,7(3):230-234
- [10] 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
- [11] 孙玉军,张 俊,韩爱惠,等.兴安落叶松(*Larix gmelini*)幼龄林的生物量与碳汇功能[J].生态学报,2007,27(5):1756-1762
- [12] David E R, Zhanna Y, Allison L B. Loss and recovery of ecosystem carbon pools following stand-replacing wildfire in Michigan jack pine forests[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2004, 34(9):1908-1918
- [13] 方 晰,田大伦,项文化.速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布[J].林业科学,2002,38(3):14-19
- [14] 魏文俊,王 兵,白秀兰,等.杉木人工林碳密度特征与分配规律研究[J].江西农业大学学报,2008,30(1):73-80
- [15] Niu D, Wang S L, Ouyang Z Y. Comparisons of carbon storages in *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantations during a 22-year period in southern China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2009,21(6):801-805
- [16] 江泽慧,范少辉,冯慧想,等.华北沙地小黑杨人工林生物量及其分配规律[J].林业科学,2007,43(11):15-20
- [17] 宗萍萍,鲍玉海,杨吉华,等.黄泛沙地小网格农田防护林网防护效应的研究[J].水土保持学报,2005,19(6):110-113
- [18] 李继红.绥化市秦家镇农田防护林网络架构及生态农业效益分析[J].东北林业大学学报,2006,34(6):101-106
- [19] 李建华,李春静,彭世揆.杨树人工林生物量估计方法与应用[J].南京林业大学学报:自然科学版,2007,31(4):37-40
- [20] Easterling W E, Brandle J R, Hays C J, *et al.* Simulating the impact of human land use change on forest composition in the great plains agroecosystems with the seedcape model[J]. Ecology Model, 2001, 140:163-176
- [21] 陈 军.杨树人工林地上生物量和碳储量研究[D].北京:北京林业大学,2007
- [22] Chiba Y. Plant form based on the pipe model theory II. quantitative analysis of ramification in morphology [J]. Ecological Research, 1991, 6:21-28
- [23] 马钦彦,陈遐林,王 娟,等.华北主要森林类型建群种的含碳率分析[J].北京林业大学学报,2002,24(5):96-100
- [24] 康 冰,刘世荣,张广军,等.广西大青山亚热带马尾松、杉木混交林生态系统碳素积累和分配特征[J].生态学报,2006,26(5):1320-1329
- [25] 方升佐,章小明,徐锡增,等.杨树无性系生物量生产的三维模拟研究[J].南京林业大学学报,1999,23(5):7-12