

# 塔河流域天然胡杨林不同林龄地上 生物量及碳储量

刘茂秀, 史军辉, 王新英, 马学喜

(新疆林业科学院 造林治沙研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** [目的] 探讨不同林龄单株胡杨地上部分生物量、林分的生物量及碳储量的分布特征, 为进一步开展胡杨天然林生态系统碳循环、碳储量、固碳速率和潜力研究提供基础。[方法] 以新疆维吾尔自治区轮台县天然胡杨林为研究对象, 利用不同林龄下不同径阶的标准解析木样本数据, 构建胡杨地上部分各器官的生物量回归模型, 探讨不同林龄胡杨地上部分的生物量组成、分配以及各器官生物量随年龄的变化规律。[结果] 随着林龄的增加, 单株胡杨地上部分各器官生物量呈上升趋势, 其中树干占主导地位。幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林的林分地上生物量分别为: 4.91, 7.95, 19.47, 61.95, 47.64 t/hm<sup>2</sup>, 且随林龄的增加胡杨林地上部分生物量先增加后稍有降低; 胡杨林地上部分不同器官平均含碳率从大到小依次为: 树干(48.17%) > 树枝(47.75%) > 树皮(46.13%) > 树叶(44.90%), 且随林龄的增加不同器官含碳率先增加后降低, 但各器官之间含碳率差异不显著; 塔河流域胡杨林碳储量随林龄先增加后降低, 大小顺序为成熟林(30.38 t/hm<sup>2</sup>) > 过熟林(23.26 t/hm<sup>2</sup>) > 近熟林(9.30 t/hm<sup>2</sup>) > 中龄林(3.69 t/hm<sup>2</sup>) > 幼龄林(2.20 t/hm<sup>2</sup>)。[结论] 地上部分各器官碳储量按依次排列为: 树干 > 树枝 > 树皮 > 树叶, 树干是胡杨林地上部分碳储量的主要器官。

**关键词:** 胡杨; 生物量; 林龄; 碳储量; 塔河流域

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)05-0326-07

**中图分类号:** S718.52

**文献参数:** 刘茂秀, 史军辉, 王新英, 等. 塔河流域天然胡杨林不同林龄地上生物量及碳储量[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 326-332. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.058

## Aboveground Biomass and Carbon Storage of *Populus Euphratica* Plantation with Different Ages in Tahe River Basin

LIU Maoxiu, SHI Junhui, WANG Xinying, MA Xuexi

(Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of  
Forestry Science, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830046, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this study is to investigate the distribution characteristics of the stand biomass and carbon storage of *Populus euphratica* with different ages, in order to provide the basis for the further research of forest ecosystem carbon cycle, carbon storage, carbon sequestration rate and potential. [Methods] Taking natural *Populus euphratica* forest in Luntai County, Xinjiang Uygur Autonomous Region as the research object, the regression models of aboveground biomass were constructed based on the analysis of the different ages and diameter grades of *P. euphratica* plantation sample tree. The distribution of community biomass and carbon storage in each organ biomass was investigated in different layer with different ages. [Results] The aboveground biomass of *P. euphratica* increased with the increase of age and the biomass of trunk was the greatest. With the increase of age, the aboveground biomass of *P. euphratica* increased initially and then decreased slightly. The aboveground biomass of young forest, middle-aged forest,

收稿日期: 2015-10-19

修回日期: 2015-12-24

资助项目: 中央财政林业科技推广项目“荒漠林生态系统服务功能监测评估技术推广示范”(xjlk[2013]010); 新疆林业生态服务功能监测评估项目(xjlk[2013]001)

第一作者: 刘茂秀(1976—), 女(汉族), 四川省南充市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事荒漠化治理及植被恢复研究。E-mail: liumaoxiu-0517@163.com。

通讯作者: 史军辉(1965—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区阿克苏市人, 博士, 高级工程师, 主要从事荒漠生态环境及荒漠化防治研究。E-mail: junhui\_shi@sohu.com。

near mature forest, mature forest and over mature forest was 4.91, 7.95, 19.47, 61.95 and 47.64 t/hm<sup>2</sup>, respectively. The average carbon content was showed as: trunk (48.17%) > branch (47.75%) > bark (46.13%) > leaf (44.90%), and there was no significant differences among them. With the increase of age, the carbon storage of the aboveground tree layer of *P. euphratica* increased initially and then decreased slightly, which showed as: mature forest (30.38 t/hm<sup>2</sup>) > over mature forest (23.26 t/hm<sup>2</sup>) > near-mature forest (9.30 t/hm<sup>2</sup>) > middle-aged forest (3.69 t/hm<sup>2</sup>) > young forest (2.20 t/hm<sup>2</sup>). [Conclusion] The carbon storage of above ground organs in *P. euphratica* was: trunk > branch > bark > leaf, and the trunk was the main parts of the carbon reserves.

**Keywords:** *Populus euphratica*; ages of plantation; biomass; carbon storage; Tahe river basin

随着人类活动和全球气候变化的影响,碳循环已成为全球气候变化研究的热点和核心问题之一<sup>[1-5]</sup>。森林生态系统碳循环作为全球碳循环的重要组成部分,在CO<sub>2</sub>收支平衡、缓解气候变化以及维持全球气候环境方面起着十分重要的作用<sup>[6-7]</sup>,而大量研究表明森林生态系统地上部分有机碳储量占陆地总碳储量的80%以上<sup>[8-9]</sup>。因此,通过开展森林地上部分生物量分布特征,进一步分析固碳能力,对碳汇和木材收益具有十分重要的意义,也可以为复合经营指标的森林经营提供参考<sup>[10-11]</sup>。

胡杨(*Populus euphratica*)是新疆荒漠中广泛分布唯一的落叶阔叶树种,亦为塔里木河流域绿色屏障的主要建群种和优势种。胡杨沿塔里木河两岸形成走廊形带状分布,总面积为3.24 × 10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>,是中国最大最完整的胡杨生态系统,也是塔里木河荒漠生态系统的主体,在森林碳汇方面发挥了重要作用。生物量是体现森林生产潜力及固碳潜力重要而直接的指标<sup>[12]</sup>,研究不同林龄胡杨天然林生物量的变化规律,对于掌握天然林生态系统不同发育阶段的生产力、产量结构、分配特点及固碳增汇能力,揭示不同时期影响天然林生产力和生物量的主导因素等均有重要指导意义。过去对胡杨生物量方面的研究主要集中在胡杨生物量及其变化规律、生物量预测方法、模型以及与其他相关环境因子之间关系方面<sup>[13-15]</sup>,对不同林龄下胡杨生物量及其分配特征研究甚少。基于此,本文拟以荒漠胡杨河岸林为对象,利用不同林龄下不同径阶的胡杨解析木的实测数据,构建胡杨地上部分不同器官生物量模型,探讨胡杨林的生物量组成、分配以及各器官生物量随年龄的变化规律,以期为进一步开展胡杨天然林生态系统碳循环、碳储量、固碳速率和潜力研究提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验区位于新疆巴音郭楞蒙古自治州轮台县(41°06'—42°32'N, 83°38'—85°26'E),地处北半球中

纬地带,属温带大陆性干旱气候,光照资源充足,历年日照时数为2 537.5 h,无霜期218 d,年平均气温为9.7 °C,≥10 °C积温4 040~4 210 °C,极端最低气温-25.5 °C,多年平均降水量69.2 mm,最大蒸发量2 449.5 mm,全年盛行东北风、干热风。大风频繁,年平均大风天数为14 d。境内主要荒漠植被类型植以胡杨、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)为主,其他还有铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、琵琶柴(*Reaumuria songonica*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)以及芦苇(*Phragmites communis*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、盐草(*Halophila ovalis*)、蒿草(*Kobresia myosuroides*)等草本植物。土壤类型主要有灌淤土、灌耕土、草甸土、盐土、棕漠土、沼泽土,主要以灌淤土为主。

### 1.2 研究方法

1.2.1 标准样地设置 根据国家林业局《森林资源规划设计调查主要技术规定》(2003)中龄组划分标准,5个龄组分别选择立地条件相近的胡杨天然林,每个龄组设置2个标准地,共设置10个;标准地大小为100 m × 100 m,标准地内分别设置3个10 m × 10 m的灌木样方和5个1 m × 1 m的草本样方。然后对样地内林木进行每木检尺,同时对样地的地形地貌、群落结构及林下植被生物量进行调查(表1)。

表1 标准样地基本概况

龄组	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
年龄/a	10	15	25	40	70
胸径/cm	7.3	14.6	23.4	34.0	78.3
树高/m	3.4	6.4	11.2	15.6	15.2
林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	847	712	382	215	48
灌木盖度/%	16.3	1.2	1.8	3.4	6.4
高度/cm	2.3	1.4	2.0	2.95	3.2
草本盖度/%	23	43	32	6	14
高度/cm	40	30.5	28	16	13

1.2.2 乔木层生物量调查 对样地内树木进行每木检尺,在样地内选择不同径级的平均胸径树高的样树,本研究中共选择了 10 棵样树,每个林龄均选择 2 棵胡杨树,将样树从其根颈处皆伐,树干在树高 1.3 m 处分段,其后按 2 m 长度分段锯断称重并取圆盘,分别测定其干、枝、叶、皮的鲜质量,并各取 500~1 000 g 鲜样。将地上部分各器官的样品带回实验室后置于 80 °C 烘箱中烘至质量恒定用以计算其生物量。

1.2.3 林下植被调查 在样地设置的灌木和草本调查小样方,收集每个样方中全部灌、草植物的所有器官,分别称其鲜质量并取样带回实验室,置于 80 °C 烘箱烘至质量恒定,换算成单位面积的生物量。

将采集的乔木层地上部分各器官、灌草层和枯枝落叶层样品,经烘干粉碎后,过 0.25 mm 筛,然后用重铬酸钾氧化—外加加热法测定其含碳率。根据乔木层地上部分各器官(干、枝、叶、皮)、灌草层以及枯枝层生物量与其含碳率的乘积得到各自的碳储量,其中乔木层地上部分碳储量为乔木层地上部分各器官之和。

1.2.4 数据处理 根据野外调查的结果和室内分析的数据,用 Excel 2010 进行数据处理,用 SPSS 17.0 进行显著性分析和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 单株胡杨地上部分生物量模型

大量的森林群落生物量研究表明:乔木各器官及总生物量与测树因子间普遍存在着数学模型为:

$$W = a(D^2 H)^b$$

式中:  $W$ ——各器官的生物量;  $D$ ——胸径;  $H$ ——树高;  $a, b$ ——方程中的待估参数。下同。该方程能较真实地反映树木各器官生物量随胸径( $D$ )和树高( $H$ )的变化趋势<sup>[16-17]</sup>。经统计学检验各器官枝、叶、干和皮各回归方程经检验均达到极显著水平( $p < 0.01$ ) (表 2)。

表 2 胡杨单株地上部分各器官生物量回归方程参数

器官	参 数		相关系数 $R$	sig. 值
	$a$	$b$		
枝	0.036 5	0.753 3	0.970 0	<0.000 1
叶	0.048 2	0.570 6	0.944 4	<0.000 1
干	0.050 6	0.826 6	0.993 6	0.000 2
皮	0.026 2	0.773 3	0.958 8	0.000 1

从表 2 中可以看出,拟合回归方程的相关系数均在 0.94 以上,其中树干的生物量相关系数最大(0.99),其次是树枝(0.97),树皮次之(0.96), $T$  检验

均达到极显著水平( $p < 0.01$ ),表明建立的生物回归模型可以对胡杨地上的生物量进行估算,而相关系数存在一定的差异其原因是胡杨树皮呈不规则纵裂沟纹,故在砍伐胡杨时,树皮易脱落,导致其生物量与实际存在一定的误差。生物量相关系数最低的是树叶(0.94),可能是树叶数量众多,砍伐胡杨的过程难免会有损失,故存在一定的误差,这对树叶的拟合结果存在微弱的影响。

### 2.2 不同林龄生物量分配

2.2.1 林木各器官生物量分配 单株胡杨不同器官生物量及其分配比例存在着差异(表 3)。由表 3 可知,单株胡杨不同器官生物量呈现一定规律,幼龄林到成熟林均表现为:树干>树枝>树皮>树叶,而过熟林表现:树干>树皮>树枝>树叶;说明了树干生物量占主导地位,表现了有机质积累的水平。单株胡杨地上树干、树枝、树叶和树皮生物量均随着林龄而增加,表明林龄对单株胡杨地上不同器官生物量的影响差异极显著( $p < 0.01$ )。从林龄来看,单株胡杨总生物量随林龄而增加,增加的幅度都较大,过熟林最大(402.56 kg),幼龄林最小(6.42 kg),而年净生长量随林龄的增加,当增加到一定程度后反而有所下降,具体表现为幼龄林到中龄林年净生物量增加幅度为 92.57%,中龄林到近熟林为 135.22%,近熟林到成熟林为 129.82%,成熟林到过熟林为 -13.98%,说明了幼龄林到近熟林年净生物量积累迅速,从近熟林到过熟林过程中年净生物量积累速度下降了。

表 3 单株胡杨各器官生物量 kg/株

林龄	枝	叶	树干	树皮	总计
幼龄林	1.57 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	2.99 <sup>a</sup>	1.12 <sup>a</sup>	6.42 <sup>a</sup>
中龄林	3.37 <sup>a</sup>	1.92 <sup>a</sup>	9.81 <sup>ab</sup>	3.44 <sup>a</sup>	18.55 <sup>b</sup>
近熟林	19.17 <sup>b</sup>	5.48 <sup>ab</sup>	36.00 <sup>b</sup>	12.05 <sup>b</sup>	72.70 <sup>c</sup>
成熟林	60.87 <sup>bc</sup>	9.28 <sup>b</sup>	150.89 <sup>c</sup>	46.38 <sup>c</sup>	267.41 <sup>d</sup>
过熟林	73.12 <sup>c</sup>	20.86 <sup>c</sup>	231.64 <sup>c</sup>	76.94 <sup>c</sup>	402.56 <sup>e</sup>

注:不同小写字母代表不同处理间的差异显著。下同。

从生物量分配比例来看,单株胡杨树干所占比例则总体上表现随林龄的增加生物量分配比缓慢上升,所占比例均在 49.52%,占整个地上器官生物量的主体地位。胡杨枝生物量所占比例均随年龄的增加呈现与树干相反的规律,总体上表现随林龄的增加生物量分配比先降再升再下降的现象。从幼龄林到中龄林时,胡杨单株枝生物量分配比由 24.49%下降到 18.18%,然后再上升至近熟林为 26.37%,最后又下降到过熟林的 18.16%。胡杨单株树皮生物量所占比例随林龄的变化影响不显著( $p > 0.05$ ),而枝叶所

占比例随年龄的增加而直线下降,由幼龄林的 11.49% 直线下降过熟林的 5.18%,这是幼龄林胡杨单株还未完全生长,需要通过树叶来进行光合作用产生更多的有机质的原因。

2.2.2 地上部分各器官生物量分配 胡杨林不同林龄各器官生物量及其分配比例不同(见表 4)。胡杨林地上部分不同器官的生物量的大小顺序为:树干>树枝>树皮>树叶,树干居主导地位,体现了其有机质积累的水平。树干生物量随着林分年龄的增大而增大,树干过熟林是幼龄林、中龄林、近熟林和过熟林的 12.30,8.70,3.08,1.16 倍;树枝、树叶和树皮生物量均随着林分年龄的增大呈增加,到一定程度有下降的趋势,具体表现为由幼龄林到成熟林呈直线上升,树枝由 1.04 t/hm<sup>2</sup> 上升到成熟林的 16.07 t/hm<sup>2</sup>,倍数可高达 15.51,树叶由 0.30 t/hm<sup>2</sup> 上升到成熟林的 1.74 t/hm<sup>2</sup>,倍数仅高达 5.75,树皮由 0.88 t/hm<sup>2</sup> 上升到成熟林的 1.57 t/hm<sup>2</sup>,幅度可高达 17.71;而到过熟林后,树皮下降幅度最大为 58.50%,树枝为 55.17%,树叶仅为 27.10%。胡杨林地上部分生物量也呈现一定的规律性,成熟林生物量是 61.61 t/hm<sup>2</sup>,分别是幼龄林、中龄林、近熟林和过熟林的 12.64,7.78,3.16,1.29 倍,说明幼龄林到中龄林生物量积累较缓慢,从中龄林到成熟林过程中生物量积累迅速。

表 4 不同林龄乔木层地上部分生物量 t/hm<sup>2</sup>

林龄	枝	叶	树干	树皮	总计
幼龄林	1.04 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	2.66 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	4.88 <sup>a</sup>
中龄林	1.60 <sup>a</sup>	1.25 <sup>ab</sup>	3.76 <sup>a</sup>	1.32 <sup>ab</sup>	7.92 <sup>ab</sup>
近熟林	4.13 <sup>ab</sup>	1.21 <sup>ab</sup>	10.60 <sup>b</sup>	3.50 <sup>b</sup>	19.44 <sup>b</sup>
成熟林	16.07 <sup>b</sup>	1.74 <sup>ab</sup>	28.23 <sup>c</sup>	15.57 <sup>c</sup>	61.61 <sup>c</sup>
过熟林	7.20 <sup>ab</sup>	1.27 <sup>ab</sup>	32.67 <sup>c</sup>	6.46 <sup>bc</sup>	47.61 <sup>bc</sup>

从生物量分配来看,胡杨树皮和枝枝所占比例均随年龄的增加而缓慢上升,当增加到一定的程度后出

现明显下降的趋势,其中幼龄林树枝 21.25% 上升到成熟林的 26.07%,当到过熟林明显下降到 15.13%;幼龄林树皮 18.03% 上升到成熟林的 25.27%,当到过熟林明显下降到 13.57%。树干所占比例则表现出先降再升再降再升的现象,造成这一现象的原因可能是胡杨在幼龄林时,生长在水分条件较好的生境中,树体生长良好,没有沙埋现象,随着年龄的增加,胡杨处于风沙前沿带,水分缺乏,土地沙化严重,易造成胡杨沙埋,而在砍伐过程中造成一部分树干的损失,因此会出现树干随林龄的增加有下降的趋势,直到过熟林后,沙化更严重,胡杨裸露,树干所占比例一下增加到 68.63%,幅度可达度 14.13%。枝叶所占比例随年龄的增加而直线上升,由幼龄林的 6.22% 直线上升中龄林的 15.77% 幅度可高达 9.55%,随后也出现下降趋势,直到过熟林的 2.67%。

2.2.3 群落地上生物量分配 从胡杨林地上生物量的结构来看(表 5),乔木层和枯枝层随着林龄的增加先升后稍下降,具体表现为:成熟林>过熟林>近熟林>中龄林>幼龄林;灌木层随林龄的变化与之相反。胡杨林地上部分总生物量也呈现一定的规律性,成熟林生物量是 61.69 t/hm<sup>2</sup>,分别是幼龄林、中龄林、近熟林和过熟林的 12.42,7.74,3.17,1.29 倍,说明幼龄林到中龄林生物量积累较缓慢,从中龄林到成熟林过程中生物量积累迅速。

从生物量分配来看,各林龄林分生物量分配均以乔木层最大,占林分地上总生物量的绝大部分,均在 99% 以上,最小的是枯枝落叶层最大仅 0.005%。而灌木层、草本层和枯枝层所占比例随林龄的不同而不同,幼龄林各层生物所占比例:灌木层>草本层>枯枝层;随林龄的增加,灌木层所占比例下降,枯枝层上升,草本层随郁闭度的增加而减少,表现为:灌木层>枯枝层>草本层。

表 5 不同林龄胡杨林地上部分生物量分配

林龄	乔木层		灌木层		枯枝层		草本层		总计	
	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %
幼龄林	4.88	98.13	0.08	1.54	4.97	0.32	0.00	0.01	4.97	100
中龄林	7.92	99.36	0.04	0.48	7.98	0.11	0.01	0.05	7.98	100
近熟林	19.44	99.84	0.01	0.07	19.47	0.05	0.01	0.05	19.47	100
成熟林	61.61	99.87	0.05	0.08	61.69	0.01	0.02	0.03	61.69	100
过熟林	47.61	99.75	0.10	0.20	47.72	0.02	0.01	0.03	47.72	100

2.3 不同林龄胡杨林地上部分含碳率

2.3.1 单株胡杨各器官含碳率 从不同器官来看(表 6),树干的平均含碳率在乔木层地上部分各器官

中是最高的(48.17%),而树叶的平均含碳率是最低的(44.90%),两者相差 3.27%。单株胡杨各器官平均含碳率从大到小依次是:树干(48.17%)>树枝

(47.75%)>树皮(46.13%)>树叶(44.90%)。经方差分析可知,不同器官含碳率差别不是很大。从不同林龄来看,可以看到平均含碳率随林龄的增加而逐渐变大,直到成熟林后含碳率有所下降,幼龄林地上部分平均含碳率最低(44.24%),成熟林地上部分平均

含碳率达到了(49.12%),比幼龄林高 4.88%。

方差分析表明不同林龄的含碳率存在一定的差异性( $p<0.05$ ),由此可以看出林龄对单株胡杨含碳率有一定的影响,而器官间含碳率差距不大。

表 6 塔河流域不同林龄胡杨地上部分各器官的含碳率

林龄	枝	叶	树干	树皮	平均
幼龄林	47.25±3.54 <sup>a</sup>	41.52±1.23 <sup>a</sup>	45.51±1.52 <sup>a</sup>	42.67±3.29 <sup>a</sup>	44.24±0.92
中龄林	47.37±2.37 <sup>a</sup>	44.01±4.30 <sup>a</sup>	47.60±2.56 <sup>ab</sup>	45.07±2.35 <sup>ab</sup>	46.01±1.23
近熟林	48.98±2.42 <sup>ab</sup>	47.21±1.51 <sup>b</sup>	48.01±5.15 <sup>ab</sup>	46.09±1.86 <sup>ab</sup>	47.57±2.65
成熟林	48.93±2.80 <sup>ab</sup>	49.00±3.86 <sup>b</sup>	49.92±1.24 <sup>b</sup>	48.63±1.27 <sup>b</sup>	49.12±1.27
过熟林	46.20±1.14 <sup>a</sup>	42.76±3.29 <sup>a</sup>	49.80±0.05 <sup>b</sup>	48.20±0.65 <sup>b</sup>	46.74±2.49
平均	47.75±0.65	44.90±1.75	48.17±2.41	46.13±1.85	—

2.3.2 灌草层和枯枝层含碳率 不同林龄的灌林层、草本层和枯枝落叶层的含碳率经单因素方面分析,3层之间的含碳率差异性显著( $p<0.01$ )。从图 1 可知,各林龄林分中除了幼龄林外含碳率大小表现为:枯枝落叶层>灌木层>草本层,幼龄林的含碳率大小依次为:灌木层>枯枝落叶层>草本层。幼龄林灌大层和和枯枝层的含碳率大,分别是 57.95%和 49.27%,草本层含碳率较小(34.14%)。近熟林含碳率总体较低,最大是枯枝层含碳率为 47.64%,最小的草本层只有 29.50%。到了过熟林后,枯枝层含碳率是最大的(49.56%),其灌木层和草本层的含碳率为 44.32%和 30.70%。

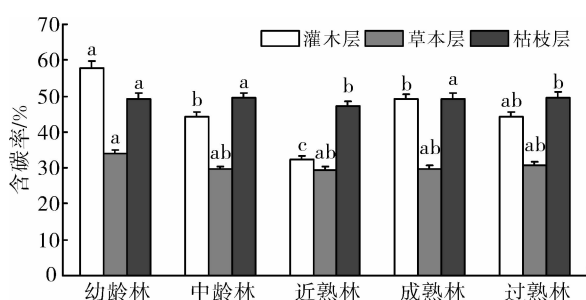


图 1 不同林龄灌木、草本和枯枝层的含碳率

## 2.4 胡杨林群落地上碳储量分配

2.4.1 不同林龄胡杨林地上各器官碳储量分配 从表 7 可知,胡杨林地上部分各器官碳储量按从大到小依次排列为:树干>树枝>树皮>树叶,表明树干是胡杨林地上部分碳储量的主要器官,而地上部分各器官的碳储量随林龄的增加而增加而后有所下降的趋势,成熟林乔木层地上部分碳储量达到 30.38 t/hm<sup>2</sup>,分别是幼龄林、中龄林和近熟林的 3.27,8.23,13.81 倍,这可能是由于随胡杨的胸径与高度增加,其碳储量也随之增大的缘故,这表明胡杨林生态系统的碳素在不断的积累;但再随着林龄的增大,碳储量稍下降,这是因为过熟林的胡杨呈现衰败的现象,林分密度出现直线下降导致的结果。

从碳储量分配来看,胡杨林地上部分中树干所占比例最大为 69.96%,而树叶所占比例最大反为 14.90%,差值为 54.06%。树枝、树皮和树叶碳储量所占比例均随林龄先增加后降低,树干碳储量所占比例随林龄呈波动性变化,过熟林树干所占比例达到最大值。

表 7 塔河流域不同林龄地上各器官碳储量分配

林龄	枝		叶		树干		树皮		总计	
	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %
	幼龄林	0.49	22.25	0.13	5.72	1.21	54.97	0.37	17.05	2.20
中龄林	0.76	20.51	0.55	14.90	1.79	48.44	0.60	16.15	3.69	100
近熟林	2.02	21.75	0.57	6.14	5.09	54.74	1.62	17.37	9.30	100
成熟林	7.86	25.87	0.85	2.81	14.09	46.39	7.57	24.92	30.38	100
过熟林	3.33	14.31	0.54	2.34	16.27	69.96	3.11	13.39	23.26	100

2.4.2 胡杨林群落地上碳储量分配 由表 8 可见,胡杨林群落地上部分幼龄林为 2.24 t/hm<sup>2</sup>,中龄林

3.71 t/hm<sup>2</sup>,近熟林为 9.31 t/hm<sup>2</sup>,到成熟林增加幅度可达 226.75%,碳储量达到 30.42 t/hm<sup>2</sup>,随后胡

杨林为过熟林反而稍下降些了。由于幼龄林处于生长初期,生产力不高,中龄林时林木竞争尚不激烈,林分未郁闭,光照充足,因此生产力较高,近熟林中林木竞争加剧,部分林木死亡,降低了林分生产力,成熟林

由于进行了适当抚育,加快了林木生长,促进了生产力的恢复。总体来说,成熟林具有较高的固碳水平,研究结果与中国森林植被生态系统碳储量总体时空变化特征一致<sup>[18]</sup>。

表 8 塔河流域不同林龄生态系统地上碳储量分配

林龄	乔木层		灌木层		枯枝层		草本层		总计	
	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %
幼龄林	2.20	98.11	0.04	1.64	0.005	0.24	0.000 1	0.01	2.24	100
中龄林	3.69	99.42	0.02	0.46	0.003	0.07	0.002 0	0.06	3.71	100
近熟林	9.30	99.88	0.004	0.04	0.003	0.03	0.010 0	0.05	9.31	100
成熟林	30.38	99.88	0.03	0.08	0.003	0.01	0.010 0	0.03	30.42	100
过熟林	23.26	99.78	0.04	0.18	0.003	0.01	0.010 0	0.03	23.31	100

群落地上各林层幼龄林和中龄林的碳储量大小均遵循:乔木层>灌木层>草本层>枯枝层,近熟林为:乔木层>枯枝层>灌木层>草本层,成熟林和过熟林为:乔木层>灌木层>枯枝层>草本层,表明了乔木层是胡杨林碳储量的主体,而枯枝落叶层作为碳库,其作用也不可忽视。在每个林层中,乔木层和枯枝层的碳储量的大小随着的林龄变化呈现相同的规则,即碳储量及其占整体比重随着林龄的增加呈增长趋势,当成熟林中的乔木层和枯枝层的碳储量达到最大,乔木层成熟林是幼龄林的 13.81 倍,而枯枝却达到 78.25 倍,这可能是因为成熟的胡杨林处于的生境是水分缺乏,易造成大量枯枝产生的缘故。

2.5 塔河流域胡杨林地上碳储量及其发展潜力

以新疆森林二调资源数据库为基础,利用天然胡

杨林各林龄的生物量及面积计算该塔河流域胡杨林地上部分碳储量(表 9)。从群落垂直结构分析,塔河流域胡杨林群落地上各林层碳储量表现为:乔木层>灌木层>草本层>枯枝层,即乔木层最大,占林分地上总碳储量的绝大部分,均在 99.60% 以上,最小的是枯枝落叶层最大仅为 0.04%,体现了胡杨林乔木层在碳储量的重要地位。从表 5 可知,塔河流域胡杨林地上碳储量总量约为 2 266 903.16 t,幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林碳储量分别为 134 255.52,700 722.38,347 001.381,878 634.17,206 289.71 t,分别占总量的 5.92%,30.91%,15.31%,38.76%,9.10%,表明成熟林碳储量占主导地位,而塔河流域中龄林的碳储量仅次于成熟林,这也表明了塔河流域胡杨天然林具有极大的碳汇潜力。

表 9 塔河流域不同林龄胡杨林生态系统地上碳储量

林龄	乔木层		灌木层		枯枝层		草本层		总计	
	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %	碳储量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/ %
幼龄林	131 272.96	97.78	2 652.40	1.98	323.21	0.24	6.94	0.01	134 255.52	100
中龄林	696 624.11	99.42	3 211.18	0.46	488.74	0.07	398.35	0.06	700 722.38	100
近熟林	346 583.07	99.88	154.05	0.04	95.38	0.03	168.88	0.05	347 001.38	100
成熟林	877 560.30	99.88	726.10	0.08	76.53	0.01	271.24	0.03	878 634.17	100
过熟林	205 832.14	99.78	376.30	0.18	28.04	0.01	53.24	0.03	206 289.71	100

3 讨论与结论

基于不同林龄下不同径阶胡杨解析木的实测数据,利用样木各器官(干、枝、叶、皮)的模型建立了各器官生物量与样木胸径 D<sup>2</sup>乘以样本高度(H)的回归方程 W=a(D<sup>2</sup>H)<sup>b</sup><sup>[19]</sup>,弥补了多数研究中因不同径阶胡杨各器官的数据而导致无法全面反映胡杨天然林生物量随林龄的变化特征的问题,模型统计与检验指标说明模型无系统误差,且精度均在 94.0% 以上,能够很好地对胡杨天然林生物量进行估计。单株胡

杨地上树干、树枝、树叶和树皮生物量均随着林分年龄的增大呈增加,但不同林龄各器官生物量所占比重有所不同,幼龄林到成熟林依次为:树干>树枝>树皮>树叶;而过熟林表现为:树干>树皮>树枝>树叶,其中不同林龄的生物量树干居主导地位。不同林龄下单株胡杨地上生物量随林龄的增加而增加,过熟林地上生物量最大(402.56 kg/株),幼龄林地上生物量最小(6.42 kg/株),而年净生长量随林龄的增加而增加,当增加到一定程度后反而有所下降,与不同林龄胡杨林地上生物量随林龄的变化趋势一致,表明了

胡杨林的生物量与胡杨自身和林分密度紧密相关。本研究中胡杨林乔木层地上生物量随林龄而增加,变化范围在 4.88~61.61 t/hm<sup>2</sup>,地上总生物量也与林龄成正相关,变化范围为 4.97~61.69 t/hm<sup>2</sup>,与同类研究胡杨林乔木层地上生物量和总生物量分别为 14.01~52.63,15.01~55.83 t/hm<sup>2</sup><sup>[11]</sup>相比,幼龄林乔木层地上生物量偏小,而成熟林乔木层地上生物量而偏大。

生物量分配格局是决定植物获取资源、竞争以及繁殖能力的重要因素,也是反映植物竞争能力的重要指标<sup>[20]</sup>。植物对地上光资源和地下水、矿质营养的竞争能力的高低是通过权衡地上器官的生物量分配比例实现的<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,乔木层地上部分不同器官的生物量的从大到小顺序为:树干>树枝>树皮>树叶,表明随着林龄的增加,越来越多的干物质储存在树干中,而枝、皮、叶在积累的同时却有部分的衰老组织在脱落,表现出强烈的新陈代谢过程<sup>[19]</sup>。这一研究结果与和张浩等<sup>[21-22]</sup>对栎类和桉木的研究结果一致。而胡杨生物量各器官随林龄表现不同,树干生物量随着林分年龄的增大而增大,而树枝、树叶和树皮生物量均随着林分年龄的增大呈增加,到一定程度有下降的趋势,也可能受密度、树种、立地等因素的影响,林龄对乔木各器官的分配也存在差异。各林龄林分生物量分配均以乔木层最大,占林分地上总生物的绝大部分,均在 99%以上,最小的是枯枝落叶层最大仅 0.01%。而灌木层、草本层和枯枝层所占比例随林龄的不同而不同,幼龄林各层生物所占比例灌木层>草本层>枯枝层;随林龄的增加,灌木层所占比例下降,枯枝层上升,草本层随郁闭度的增加而减少,表现为:灌木层>枯枝层>草本层。这可能是胡杨幼龄林因为树木还未完全生长,生物量较小,水分条件较好,草本的生物量较高于其他年龄生长的胡杨,而灌木的生物量呈现先降而升的趋势,可能是年龄的增加,成熟林是因为水分条件变化,乔木层有衰退的迹象,早生植物灌木层逐渐被取代的原因导致而成,与杜虎等<sup>[20]</sup>对不同林龄马尾松生物量的研究结果相一致。本研究中胡杨林中除了幼龄林外含碳率大小表现为:枯枝落叶层>灌木层>草本层,幼龄林的含碳率大小:灌木层>枯枝落叶层>草本层,这可能是因为幼龄林的胡杨植株还未完全生长,产生的枯枝层含碳率比幼龄林中灌木层小的缘故。

胡杨单株地上部分各器官平均含碳率从大到小排列为:树干(48.17%)>树枝(47.75%)>树皮(46.13%)>树叶(44.90%),各器官之间含碳率差距不大,高于普遍采用的 45%的平均含碳率值<sup>[23-24]</sup>,低

于张浩研究结果<sup>[21]</sup>,而不同林龄之间各器官含碳率相差不大。本研究表明,胡杨林地上部分各器官碳储量按从大到小依次排列为:树干>树枝>树皮>树叶,表明树干是胡杨林地上部分碳储量的主要器官。胡杨林乔木层林碳储量及随林龄增加表现出一致的变化规律,均表现随林龄的增加而后下降趋势,而林分固碳量表现为:成熟林>过熟林>近熟林>中龄林>幼龄林,说明林分内单木间的竞争对林分固碳量造成了一定影响,成熟林具有最大的固碳水平。各林层幼龄林和中龄林的碳储量大小均遵循:乔木层>灌木层>草本层>枯枝层,近熟林为:乔木层>枯枝层>灌木层>草本层,成熟林和过熟林为:乔木层>灌木层>枯枝层>草本层,表明了乔木层是胡杨林碳储量的主体,而枯枝层作为碳库,其作用也不可忽视。从塔河流域胡杨林固碳能力的研究可知,目前塔河流域胡杨林碳储量约为 2 266 903.16 t,整体水平较高,成熟林的碳储量占主导地位,但近熟林和幼龄林比例过小,将导致碳汇目标下林场发展潜力不足,应考虑进行龄组结构的调整。而塔河流域中龄林的碳储量仅次于成熟林,这也表明了塔河流域胡杨天然林具有极大的碳汇潜力。

#### [参 考 文 献]

- [1] 胡会峰,刘国华. 森林管理在全球 CO<sub>2</sub> 减排中的作用[J]. 应用生态学报,2006,17(4):709-714.
- [2] 冯瑞芳,杨万勤,张健,等. 人工林经营与全球变化减缓[J]. 生态学报,2006,26(1):3870-3877.
- [3] 何斌,刘红英,余春和,等. 黑木相思人工林生态系统生物量、碳贮量及其分配特征[J]. 东北林业大学学报,2012,40(3):48-50.
- [4] 马学喜,李生宇,靳正忠. 流沙地表层土壤化学性质对免灌造林的响应:以古尔班通古特沙漠明渠防护林为例[J]. 水土保持通报,2015,35(4):206-212.
- [5] Houghton R A. Balancing the global carbon budget[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2007(35):313-347.
- [6] Luo Tianxiang, Li Wenhua, Zhu Huazhong. Estimates biomass and productivity of mature vegetation on the Tibetan Plateau[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2000,20(5):733-740.
- [7] 曹旭平,申家朋,张文辉,等. 陇东地区油松人工林碳密度及其影响因素[J]. 水土保持通报,2015,35(3):359-364.
- [8] 崔夺,李玉霖,王新源,等. 北方荒漠及荒漠化地区草地上生物量空间分布特征[J]. 中国沙漠,2011,31(1):868-872.
- [9] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳储量和碳平衡[J]. 植物生态学报,2000,24(5):518-522.

(下转第 339 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] Bateman I J, Harwood A R, Mace G M, et al. Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom [J]. *Science*, 2013, 341 (6141):45-50.
- [2] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. *地理学报*, 2009(2): 30-32.
- [3] 陈曦. 中国干旱区土地利用与土地覆被变化[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 陈忠升,陈亚宁,李卫红. 新疆和田河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J]. *中国沙漠*, 2010, 30(2): 326-333.
- [5] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜,等. 渭干河一库车河三角洲绿洲景观格局动态变化及其对生态系统服务功能的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(6):10-15.
- [6] 刘勤,王宏卫,贡璐. 新疆渭干河一库车河绿洲生态安全及演变趋势评价[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(2): 179-184.
- [7] 张飞,郭玉川,姜红涛,等. 气候和土地利用/覆被变化对渭干河一库车河三角洲绿洲水资源的影响[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(23):5717-5722.
- [8] 满苏尔·沙比提,楚新正. 新疆渭干河一库车河三角洲绿洲土地利用时空变化特征分析[J]. *干旱区农业研究*, 2007, 25(4):12-18.
- [9] 刘树林,王涛. 浑善达克沙地的土地沙漠化过程研究[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(5):719-724.
- [10] 颜长珍,王一漠,冯毓荪,等. 在全数字方式下对宁夏草地覆盖的遥感宏观研究[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(3): 298-300.
- [11] 孙小舟,周致远,刘双圆,等. 鄂北岗地土地利用变化特征研究[J]. *西北师范大学学报:自然科学版*, 2015, 51(4):109-113.
- [12] 刘瑞,朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. *资源科学*, 2010, 32(8):1544-1550.
- [13] 章予舒,王立新,张红旗,等. 疏勒河流域土地利用变化驱动因素分析:以安西县为例[J]. *地理科学进展*, 2011, 22(3):270-278.
- [14] 马晴,李丁,廖杰,等. 疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析[J]. *经济地理*, 2014, 34(1):148-155.
- [15] 王范霞,毋兆鹏. 近 40a 来精河流域绿洲土地利用/土地覆被时空动态演变[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(2):150-155.
- [16] 杜清,徐海量,凌红波,等. 克里雅河流域 1990-2010 年土地利用/覆被变化及其生态环境状况评价[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(3):198-202.
- [17] 赵锐锋,姜朋辉,陈亚宁,等. 塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效应[J]. *地理科学*, 2012, 32(2):244-250.
- [18] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜,等. 渭干河一库车河三角洲绿洲生态系统服务功能及敏感性分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3):202-206, 218.
- [10] 刘茂秀,史军辉,王新英,等. 林分郁闭度和龄级对防护林碳汇功能及固碳价值的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2011, 39(6):30-32.
- [11] 王世绩,陈炳浩,李护群. 胡杨林[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1995.
- [12] 唐守正,张会儒,胥辉. 相容性生物量模型的建立及其估计方法研究[J]. *林业科学*, 2000, 36(1):29-27.
- [13] 董道瑞,李霞,万红梅,等. 塔里木河下游胡杨地上生物量估测[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(3):724-730.
- [14] 张昊,李景文,李俊清,等. 额济纳绿洲胡杨地上部分建构模式的研究[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(5): 46-49.
- [15] 崔德宝,于瑞德,于洋,等. 新疆艾比湖自然保护区阿奇克苏河沿岸胡杨年龄结构和生长量状况研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(1):195-20.
- [16] 吕晓涛,唐建维,何有才,等. 西双版纳热带季节雨林的生物量及其分配特征[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(1):11-22.
- [17] 王维枫,雷渊才,王雪峰,等. 森林生物量模型综述[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(2):58-63.
- [18] 徐新良,曹明奎,李克让,等. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J]. *地理科学进展*, 2007, 26(6):1-9.
- [19] 刘茜. 不同龄组马尾松人工林生物量及生产力的研究[J]. *中南林学院学报*, 1996, 16(4):47-51.
- [20] 杜虎,宋同清,曾馥平,等. 桂东不同林龄马尾松人工林的生物量及其分配特征[J]. *西北植物学报*, 2013, 33(2):394-400.
- [21] 张浩,宋同清,王克林,等. 桂西地区不同林龄栎类群落的生物量及其分配格局[J]. *农业现代化研究*, 2011, 34(6):758-762.
- [22] 杨丽丽,文仕知. 不同林龄桉木人工林生态系统的碳素密度[J]. *湖南林业科技*, 2010, 37(4):5-8.
- [23] 赵敏,周广胜. 中国森林生态系统的植物碳储量及其影响因子分析[J]. *地理科学*, 2004, 24(1):50-54.
- [24] 贾庆彬. 长白落叶松碳含量遗传变异及高固碳种源与家系选择[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2013:12-18.

(上接第 332 页)