

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.04.003

# 四川洪雅林场森林植被碳储量的空间分布特征研究

谢云<sup>1</sup>,王洪荣<sup>1</sup>,黄从德<sup>2\*</sup>

(1. 四川省林业调查规划院,四川 成都 610081;2. 四川农业大学,四川 雅安 625014)

**摘要:**四川洪雅林场地处四川盆地西部边缘的洪雅县境内,植被丰富多样,气候特征垂直分布明显,地形地貌结构复杂,是研究地带性森林植被碳储量的理想区域。因此,本研究利用洪雅林场森林资源调查数据,在实测植物含碳率和建立生物量模型的基础上,研究了洪雅林场森林植被碳储量空间分布特征和近10 a森林植被碳储量动态。

**关键词:**洪雅林场;森林植被;碳储量;空间分布特征

**中图分类号:**S718 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5508(2016)04-0014-05

## 1 研究区域概况

四川洪雅林场位于四川盆地西南边缘,地处邛崃山支脉、峨眉山系大相岭东北的青衣江支流周公河(烦灵河)西南岸,地形处于四川省盆地与康滇平行岭谷的交接部。洪雅林场始建于1956年,行政隶属眉山市洪雅县,是全国八大、四川省第一大国营林场,也是1984年世界银行贷款建设的三大商品林基地之一。场部设在距县城35 km的柳江镇。地理位置介于东经 $102^{\circ}49' \sim 103^{\circ}32'$ ,北纬 $29^{\circ}24' \sim 30^{\circ}00'$ 。洪雅林场总面积 $62\,595.7\text{ hm}^2$ ,林地面积 $61\,764.3\text{ hm}^2$ 。总蓄积 $7\,860\,990\text{ m}^3$ ,乔木林中,公益林面积 $45\,330\text{ hm}^2$ ,蓄积 $5\,812\,942\text{ m}^3$ ,商品林面积 $7\,617\text{ hm}^2$ ,蓄积 $2\,047\,400\text{ m}^3$ ,竹林中,公益林面积 $162.3\text{ hm}^2$ ,特灌经济林面积 $160.6\text{ hm}^2$ ,疏林地面积 $190.9\text{ hm}^2$ ,灌木林地 $8\,049.3\text{ hm}^2$ ,未成林造林地 $181.8\text{ hm}^2$ ,非林业用地面积 $831.4\text{ hm}^2$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 基础数据收集

(1)洪雅林场2003年森林资源二类调查数据和2013年森林资源更新数据;洪雅林场林地保护利用规划数据(2012年~2020年);洪雅林场DEM数据。

### (2)洪雅林场空间信息数据

在ArcGis9.0中提取洪雅林场范围DEM(分辨率 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ )模型数据,并统一转化为相同地理坐标(Beijing54)。运用ARCGIS中空间分析统计模块,提取洪雅林场范围内坡度、海拔、坡向信息并分级。

根据洪雅林场范围分布海拔最大值和最小值,以 $500\text{ m}$ 为一个梯度,将其海拔分为5个等级( $<1\,000\text{ m}$ , $1\,000\text{ m} \sim 1\,500\text{ m}$ , $1\,500\text{ m} \sim 2\,000\text{ m}$ , $2\,000\text{ m} \sim 2\,500\text{ m}$ , $>2\,500\text{ m}$ )。

按磁方位角分为5个坡向:阴坡(北、东北)、半阴坡(东、西北)、阳坡(南、西南)、半阳坡(西、东南)以及无坡向。

按坡度分为5个坡度:急坡( $\geq 36^{\circ}$ )、陡坡( $26^{\circ} \sim 35^{\circ}$ )、斜坡( $16^{\circ} \sim 25^{\circ}$ )、缓坡( $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$ )、平坡( $0 \sim 5^{\circ}$ )。

### (3)森林类型的划分

为了充分利用森林资源调查资料,依据《四川省森林资源规划设计调查办法》(四川省林业厅,2011),按优势树种将洪雅林场森林大致合并划分为8个林分类型和6个灌木林地类型。

### 2.2 标准地设置和森林生物量测定

标准地设置,在同一乔木林类型中设置3~5个 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的乔木林标准地;在灌木林地中设置3~10个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的样方;在各个标准地和样方中

收稿日期:2016-06-02

基金项目:区域林业碳汇/源计量体系构建及应用研究。

作者简介:谢云(1983-),女,硕士,主要从事森林资源监测、林业调查与规划设计、林业碳汇方面的工作。

通讯作者:黄从德(1969-),男,四川内江人,教授,博士生导师,主要从事森林生态工程、森林培育、林业碳汇等领域研究工作。

设置 3 个 1 m × 1 m 的枯落物小样方。

单株乔木生物量根据标准地胸径调查结果,在每个径阶中选择 1~2 株样木进行生物量测定。生物量分树干、树枝、树叶和树根 4 类取样;灌木林地上生物量由标准株法获得。

### 2.3 单株乔木生物量回归模型的拟合

根据不同树种各器官生物量,分析样木调查基本因子胸径(DBH)、树高(H)和交互作用项( $D^2H$ )与各器官生物量的相关性,根据调查因子易测、实用性强、生物学意义等原则,初步选定自变量因子;模型形式选取一元或多元模型线性函数( $\hat{y} = aX + b$ )、对数函数( $\hat{y} = a \ln(X) + b$ )、二次项函数( $\hat{y} = aX^2 + bX + c$ )、幂函数( $\hat{y} = aX^b$ )、“S”型曲线( $\hat{y} = e^{(a+\frac{b}{x})}$ )和指数函数( $\hat{y} = ae^{bx}$ )等回归模型进行数据回归拟合。

### 2.4 含碳率测定和碳储量计算

采集的植物样品使用烘箱在 105℃ 恒温下杀青 30 min,再在 85℃ 恒温下烘 5 h 进行第 1 次称重,然后在 85℃ 恒温下继续烘烤,每隔 2h 称重 1 次,当最近两次重量相对误差 ≤ 5.0% 时停止烘烤,将样品冷却至室温后测定每个样品的干重。然后,使用粉碎机分别对植物干样进行粉碎。由于植物样品含碳量较高,一般在 0.45 左右,测定时称样量极少。因此需将已制备好的粉碎样取 10 g~20 g 于瓷研钵中再充分研细,全部通过 100 目筛(筛孔 0.149 mm)后混合均匀,用于植物样品有机碳含率测定。含碳率采用燃烧法(碳/氮元素分析仪)测定。

乔木林碳储量为乔木层、灌草层和枯落物层碳储量之和;灌木林地碳储量为灌草层和枯落物层碳储量之和。

### 2.5 碳汇/源计算

利用洪雅林场 2003 年和 2013 年森林资源调查数据,采用黄从德等建立的四川省生物量-蓄积量模型,计算出洪雅林场近 10 年来森林碳储量的变化情况,并通过洪雅林场采伐量数据,计算出碳的损失量。

### 2.6 数据分析与处理

数据分析、整理采用 Access2007、Excel2007 和 SPSS19.0 软件进行。

## 3 结果与分析

### 3.1 洪雅林场乔木林生物量回归模型

基于优势树种(组)实测各器官生物量数据,采

用一元或多元多形式模型对乔木生物量模型进行回归拟合,结果如表 1 所示。根据参数的相关系数、残差平方和以及差异性检验( $P < 0.05$ )综合考虑,确定幂模型  $W = a(D^2H)^b$  是洪雅林场乔木生物量最优模型,以此估算洪雅林场乔木层生物量。

表 1 优势树种各器官生物量回归模型

树种	模型参数		相关系数	残差平方和	样本数量	
	器官	a				b
冷、云、铁杉	A	0.0735	0.8466	0.912	3160.9	30
	B	0.0665	0.7169	0.7043	726.3	
	C	0.0422	0.685	0.6976	703.6	
	D	0.4371	0.256	0.43	13.7	
落叶松	A	0.0461	0.8479	0.985	5927.7	20
	B	0.0474	0.618	0.702	212	
	C	0.031	0.5661	0.8181	404.8	
	D	0.014	0.8206	0.9294	1184.9	
柳杉、杉木	A	0.0761	0.7738	0.9621	1474.3	18
	B	0.0736	0.5675	0.8045	238.7	
	C	0.167	0.4361	0.586	82.1	
	D	0.0583	0.6209	0.7459	170.2	
樟	A	0.0347	0.9247	0.9917	3242.3	21
	B	0.0257	0.7968	0.8449	147.1	
	C	0.0312	0.6505	0.8667	175.6	
	D	0.0086	0.9625	0.9768	1139.1	
楠	A	0.0284	0.9493	0.9659	1556.5	26
	B	0.0207	0.7735	0.7474	162.7	
	C	0.0271	0.6093	0.6256	91.9	
	D	0.1408	0.6558	0.8422	293.5	
桦木	A	0.0498	0.8831	0.9585	3026	32
	B	0.0115	0.8848	0.8394	684.9	
	C	0.0078	0.7331	0.8051	541.3	
	D	0.2415	0.1127	0.0174	2.3	
栎类、硬阔	A	0.0372	0.9445	0.8828	165.7	31
	B	0.0085	0.9077	0.7819	78.9	
	C	0.0166	0.6999	0.6935	49.8	
	D	0.0051	1.0082	0.8917	181.1	
软阔	A	0.0912	0.7986	0.9546	1617.4	30
	B	0.0373	0.7287	0.8399	404	
	C	0.0835	0.4336	0.6124	121.7	
	D	0.1528	0.4746	0.5509	94.5	

注:A:树干; B:树枝; C:树叶; D:树根

### 3.2 森林植被碳储量及碳密度

#### 3.2.1 乔木林植被碳储量及碳密度

从表 2 可知,洪雅林场乔木林植被总碳储量为  $254.89 \times 10^4$  t,其中乔木层、灌草层、枯落物层的碳储量分别为  $234.22 \times 10^4$  t、 $5.51 \times 10^4$  t 和  $15.16 \times 10^4$  t,分别占碳储量的 91.9%、2.2% 和 5.9%,各层碳储量大小顺序为乔木层 > 枯落物层 > 灌草层。不同林分类型碳储量介于  $5.51 \times 10^4$  t~ $234.22 \times 10^4$  t,其分配上也表现为乔木层碳储量最大,灌草层最小。不同林分类型中,栎类及其他硬阔林分碳储量最大,为  $93.61 \times 10^4$  t,占碳储量的 36.7%,其次为冷杉、云杉、铁杉林,碳储量为  $88.66 \times 10^4$  t,占 34.8%,第 3 是杉木、柳杉林分,碳储量为  $41.69 \times$

$10^4$  t, 占 16.4%。这 3 种森林类型碳储量达  $223.96 \times 10^4$  t, 占洪雅林场总碳储量的 87.9%; 而其他森林类型仅占碳储量的 12.1%。可见, 栎类及其他硬阔林、冷杉、云杉、铁杉林、柳杉、杉木林是洪雅林场乔木林植被的主体, 这些林分类型碳储量的动态变化将极大地影响到整个洪雅林场乔木林植被的碳动态。

表 2 不同乔木林植被碳储量

林分类型	乔木层 ( $10^4$ t)	灌木 ( $10^4$ t)	枯落物 ( $10^4$ t)	碳储量 ( $10^4$ t)	碳密度 ( $t \cdot hm^{-2}$ )
冷杉、云杉、铁杉	76.55	2.18	9.93	88.66	59.8
落叶松	0.88	0.22	0.34	1.44	7.7
杉木	40.89	0.33	0.47	41.69	53.4
樟	1.51	0.04	0.06	1.61	46.1
楠	0.53	0.03	0.05	0.61	23.2
桦木	9.81	0.3	0.54	10.65	43.6
栎类、硬阔	89.27	1.75	2.59	93.61	45.6
软阔	14.78	0.66	1.18	16.62	30.9
合计	234.22	5.51	15.16	254.89	47.7

### 3.2.2 灌木林碳密度和碳储量

由表 3 可见, 洪雅林场灌木林地碳储量为  $13.79 \times 10^4$  t, 不同灌木林地类型之间差异较大, 其他竹类灌木类型碳储量最高 ( $8.24 \times 10^4$  t), 占灌木林地碳储量的 59.8%, 其次为高山杜鹃灌木类型 ( $4.91 \times 10^4$  t), 占灌木林地碳储量的 35.6%, 两者之和占到灌木碳储量的 95.4%, 这与两者灌木林面积和具有较高的碳密度相关。不同灌木林地类型碳密度之间差异明显, 介于  $1.47 t \cdot hm^{-2} \sim 34.48 t \cdot hm^{-2}$ , 平均  $16.73 t \cdot hm^{-2}$ , 以水竹碳密度最高, 而其他灌木类型的碳密度最低。

表 3 不同灌木林类型碳储量

灌木类型	面积 ( $hm^2$ )	碳密度 ( $t \cdot hm^{-2}$ )	碳储量 ( $10^4$ t)	枯落物碳储量 ( $10^4$ t)
茶	30.4	13.16	0.04	0.0029
高山杜鹃	2292.4	21.42	4.91	0.2178
方竹	129.8	9.24	0.12	0.0123
水竹	26.1	34.48	0.09	0.0025
其他竹类	3116.4	26.44	8.24	0.2962
其他灌木	2646.9	1.47	0.39	0.2639
合计	8242	16.73	13.79	0.7956

### 3.2.3 总碳储量及碳密度

洪雅林场乔木林和灌木林总碳储量  $268.68 \times 10^4$  t, 乔木林的碳储量普遍高于灌木林碳储量, 这与乔木林普遍具有较高的碳密度和保留森林面积大小有关, 详见表 4。栎类及硬阔林碳储量最大为  $93.61 \times 10^4$  t, 其次为冷、云、铁杉林  $88.66 \times 10^4$  t, 第 3 是柳杉、杉木林为  $41.69 \times 10^4$  t, 三者主导着区域内林地类型碳储量的分配格局。

表 4 洪雅林场各林型生态系统碳储量

类型	面积 ( $hm^2$ )	乔木或灌木 碳储量 ( $10^4$ t)	灌草层 碳储量 ( $10^4$ t)	枯落物层 碳储量 ( $10^4$ t)	植被层 碳储量 ( $10^4$ t)	碳密度 ( $t \cdot hm^{-2}$ )
冷杉、云杉、铁杉	14 823.6	76.55	2.18	9.93	88.66	59.8
落叶松	1 862.9	0.88	0.22	0.34	1.44	7.7
柳杉、杉木	7 806.4	40.89	0.33	0.47	41.69	53.4
樟	349.5	1.51	0.04	0.06	1.61	46.1
楠	263.2	0.53	0.03	0.05	0.61	23.2
桦木	2 439.9	9.81	0.3	0.54	10.65	43.6
栎类及硬阔	20 519.1	89.27	1.75	2.59	93.61	45.6
软阔	5 385.3	14.78	0.66	1.18	16.62	30.9
茶	30.4	0.04	-	-	0.04	13.2
高山杜鹃	2 292.4	4.91	-	-	4.91	21.4
方竹	129.8	0.12	-	-	0.12	9.2
水竹	26.1	0.09	-	-	0.09	34.5
其他竹类	3 116.4	8.24	-	-	8.24	26.4
其他灌木	2 646.9	0.39	-	-	0.39	1.5
合计	61 691.9	248.01	5.51	15.16	268.68	43.5

## 3.3 森林植被碳储量空间分布特征

### 3.3.1 乔木林碳储量空间分布特征

#### (1) 乔木层碳储量空间分布特征

根据海拔, 乔木层碳储量随海拔梯度变化总体表现为:  $0 \sim 2 500$  m 碳储量随海拔梯度升高而增大, 以后随着海拔梯度的升高而下降。碳储量在  $2 000$  m  $\sim 2 500$  m 达到最高, 为  $84.41 \times 10^4$  t, 占总碳储量的 36.0%; 根据坡度, 乔木层碳储量随坡度等级的增大表现出增加的规律, 从平坡到急坡, 碳储量呈不断上升趋势。不同坡度等级碳储量从大到小依次顺序为急坡  $>$  陡坡  $>$  斜坡  $>$  平坡  $>$  缓坡; 根据坡向, 乔木层碳储量总体表现为阴坡或半阴坡高于阳坡或半阳坡, 以无坡向最小。不同坡向碳储量从大到小依次为阴坡  $>$  半阴坡  $>$  半阳坡  $>$  阳坡, 详见表 5。

#### (2) 灌草层碳储量空间分布特征

根据海拔, 灌草层碳储量随海拔梯度变化总体表现为: 在  $0 \sim 2 500$  m 范围, 碳储量随海拔梯度升高而增大, 在  $> 2 500$  m 后, 碳储量随着海拔梯度的升高而下降; 根据坡度, 灌草层碳储量随坡度等级的递增表现出先减少后增加的规律, 从平坡到缓坡灌草层碳储量下降, 而后随着坡度的增加而逐渐增加; 根据坡向, 灌草层碳储量总体表现为阴坡或半阴坡高于阳坡或半阳坡, 以无坡向最小, 详见表 5。

#### (3) 枯落层碳储量空间分布特征

根据海拔, 枯落物层碳储量随海拔梯度变化总体表现为:  $0 \sim 2 500$  m 碳储量随海拔梯度升高而增大, 以后随着海拔梯度的升高而下降; 根据坡度, 枯落物层碳储量随坡度等级的递增表现出先减少后增加的规律, 从平坡到缓坡灌草层碳储量下降, 而后随着坡度的增加而逐渐增加。不同坡度等级枯落物层碳储量从大到小依次顺序为急坡  $>$  陡坡  $>$  平坡  $>$  斜

坡>缓坡;根据坡向,枯落物层碳储量总体表现为阴坡或半阴坡高于阳坡或半阳坡,以无坡向最小,详见表5。

表5 不同海拔梯度、坡度、坡向的碳储量

类型	合计	乔木层	灌草层	枯落物层
海拔梯度(m)				
≤1 000	2.17	2.12	0.02	0.03
1 000~1 500	39.51	38.35	0.43	0.73
1 500~2 000	49.15	45.97	1.17	2.01
2 000~2 500	92.97	84.41	2.30	6.26
≥2 500	71.09	63.37	1.59	6.13
坡度				
平坡	8.46	7.75	0.13	0.58
缓坡	7.57	7.27	0.10	0.20
斜坡	19.89	19.00	0.33	0.56
陡坡	50.66	46.54	1.09	3.03
急坡	168.31	153.66	3.86	10.79
坡向				
阳坡	44.08	40.78	0.87	2.43
半阳坡	51.81	47.44	1.12	3.25
阴坡	82.81	75.72	1.94	5.15
半阴坡	76.13	70.22	1.58	4.33
无	0.06	0.06	0.00	0.00

### 3.3.2 总碳储量空间的分布特征

#### (1) 森林植被碳储量的垂直分布特征

森林植被碳储量随海拔梯度变化总体表现为:在0~2 500 m范围内碳储量随海拔梯度升高而增大,≥2 500 m后,碳储量随着海拔梯度的升高而下降。碳储量在2 000 m~2 500 m达到最高,为 $92.98 \times 10^4$  t,占总碳储量的36.5%,使得这一海拔梯度森林成为洪雅林场森林植被碳储量的主要组成部分。其他各海拔梯度碳储量从大到小依次为:≥2 500 m、1 500 m~2 000 m、1 000 m~1 500 m、≤1 000 m,分别为 $71.09 \times 10^4$  t、 $49.13 \times 10^4$  t、 $39.51 \times 10^4$  t和 $2.18 \times 10^4$  t,详见表6,分别占总碳储量的27.9%、19.3%、15.5%和0.8%。森林植被碳储量随海拔梯度变化的这种趋势与各海拔梯度的森林面积大小有关。

表6 不同海拔梯度的森林植被碳储量

林分类型	海拔梯度(m)				
	≤1 000	1 000~1 500	1 500~2 000	2 000~2 500	≥2 500
冷杉、云杉、铁杉	-	0.11	1.03	31.59	55.93
落叶松	-	0.1	1.24	0.1	-
杉木	2.16	34.29	5.21	0.03	-
樟	-	0.1	1.51	-	-
楠	-	0.61	-	-	-
桦木	-	0.13	-	2.52	8.00
栎类、硬阔	-	3.12	37.13	46.85	6.51
软阔	0.01	1.05	3.03	11.88	0.65
合计	2.17	39.51	49.15	92.97	71.09

#### (2) 森林植被碳储量沿坡度分布特征

森林植被碳储量随坡度等级的递增表现出增加的规律。不同坡度等级生态系统碳储量从大到小依次顺序为急坡>陡坡>斜坡>平坡>缓坡,详见表

7。碳储量分别为 $168.31 \times 10^4$  t、 $50.66 \times 10^4$  t、 $19.89 \times 10^4$  t、 $8.46 \times 10^4$  t和 $7.57 \times 10^4$  t,分别占碳储量的66.0%、19.9%、7.8%、3.2%和3.1%。这主要与各坡度等级目前保留各种森林类型、面积大小以及人为活动程度有关。

表7 不同坡度的森林植被碳储量

林分类型	坡度分级				
	平坡	缓坡	斜坡	陡坡	急坡
冷杉、云杉、铁杉	8.4	0.87	0.22	16.62	62.55
落叶松	-	0.15	0.36	0.66	0.26
杉木	0.06	6.24	15.47	19.36	0.56
樟	-	-	-	-	1.61
楠	-	-	0.02	0.13	0.46
桦木	-	-	0.27	0.58	9.8
栎类、硬阔	-	0.1	2.25	10.3	80.96
软阔	-	0.21	1.29	3.01	12.11
合计	8.46	7.57	19.89	50.66	168.31

#### (3) 森林生态系统碳储量沿坡向分布

森林植被碳储量总体表现为阴坡或半阴坡高于阳坡或半阳坡,以无坡向最小。不同坡向碳储量从大到小依次为阴坡>半阴坡>半阳坡>阳坡,分别占碳储量的32.5%、29.9%、20.3%和17.3%。这与不同坡向等级上分布的森林面积大小和人为干扰程度有关,详见表8。

表8 不同坡向的碳储量

林分类型	坡向分级				
	阳坡	半阳坡	阴坡	半阴坡	平地
冷、云、铁杉	13.88	20.22	28.36	26.20	-
落叶松	0.11	0.09	0.63	0.61	-
杉木	7.79	8.59	13.3	12	0.01
樟	0.28	0	0.85	0.48	-
楠	0.06	0.02	0.29	0.24	-
桦木	0.99	1.12	4.69	3.85	-
栎类、硬阔	18.58	17.34	28.04	29.60	0.054
软阔	2.39	4.43	6.65	3.15	-
合计	44.08	51.81	82.81	76.13	0.064

### 3.4 乔木林植被碳动态

根据洪雅林场2003到2012的资源更新数据包括有关造林、采伐、火灾和病虫害等林业动态资料,不同乔木林类型蓄积增长量,计量洪雅林场近10年来乔木林碳储量动态变化,详见表9。

从表9中可以看出,洪雅林场乔木林碳储量和固碳增量从2003年到2012年呈持续增加趋势,且增加幅度越来越大。10年间,碳储总量增加 $79.32 \times 10^4$  t,折算吸收二氧化碳量( $\text{CO}_2$ ) $290.84 \times 10^4$  t。

由表10可见,洪雅林场近10年间,通过森林光合吸收、固定二氧化碳( $\text{CO}_2$ )为 $290.84 \times 10^4$  t,但由于采伐活动共计损失折算排放二氧化碳量( $\text{CO}_2$ ) $8.46 \times 10^4$  t,净增固定二氧化碳量( $\text{CO}_2$ ) $283.15 \times$

$10^4$  t, 平均每年固定  $28.32 \times 10^4$  t。可见, 洪雅林场森林是一个重要的碳库和汇。

表9 洪雅林场 10 a 乔木林增长固定  $\text{CO}_2$  ( $10^4$  t)

年度	碳储量 ( $10^4$ t)	碳净增量 ( $10^4$ t)	固定 $\text{CO}_2$ 净增量 ( $10^4$ t)	10 a 吸收 $\text{CO}_2$ ( $10^4$ t)
2003	154.9	-	-	-
2004	160.97	6.07	22.26	-
2005	167.54	6.57	24.09	-
2006	174.65	7.11	26.07	-
2007	182.4	7.75	28.42	-
2008	190.86	8.46	31.02	-
2009	200.14	9.28	34.03	-
2010	210.35	10.21	37.44	-
2011	221.65	11.3	41.43	-
2012	234.22	12.57	46.09	290.84

表10 洪雅林场 10 a 森林增长固定  $\text{CO}_2$

年度	碳储量 ( $10^4$ t)	碳净增量 ( $10^4$ t)	$\text{CO}_2$ 净增量 ( $10^4$ t)	采伐排放 $\text{CO}_2$ ( $10^4$ t)	10 a 净吸收 $\text{CO}_2$ ( $10^4$ t)
2003	154.90	-	-	-	-
2004	160.97	6.07	22.26	0.67	21.59
2005	167.54	6.57	24.09	0.88	23.21
2006	174.65	7.11	26.07	0.8	25.27
2007	182.4	7.75	28.42	0.7	27.72
2008	190.86	8.46	31.02	1.52	29.5
2009	200.14	9.28	34.03	0.88	33.15
2010	210.35	10.21	37.44	0.89	36.55
2011	221.65	11.3	41.43	0.62	40.81
2012	234.22	12.57	46.09	0.74	45.35
合计			290.84	7.7	283.15

## 4 讨论与结论

### (1) 洪雅林场乔木林生物量回归模型

通过多模型拟合, 建立以  $W = a(D^2H)^b$  为洪雅县林场 8 个优势树种的生物量最优回归模型(式中:  $W$  为生物量,  $D$  为乔木胸径,  $H$  为树高,  $a$ 、 $b$  为常数)。

### (2) 洪雅林场碳储量分布特征

洪雅林场植被总碳储量为  $268.68 \times 10^4$  t。其中, 乔木林碳储量为  $254.89 \times 10^4$  t, 占 94.9%, 灌木林碳储量为  $13.79 \times 10^4$  t, 占 5.1%, 乔木林平均碳密度为  $35.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 灌木林平均碳密度  $16.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。可见, 乔木林碳储量在洪雅林场中占主导地位。

在乔木林中, 乔木层、灌木层和枯落物层碳储量分别为  $234.22 \text{ t}$ 、 $5.51 \text{ t}$  和  $15.16 \text{ t}$ , 碳密度分别  $47.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $1.02 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $2.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。灌木林中, 优势灌木层和枯落物层碳储量分别为  $13.79 \text{ t}$  和  $0.80 \text{ t}$ , 碳密度分别为  $16.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $0.97 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

在乔木林中, 人工林和天然林  $43.54 \text{ t}$  和  $190.68 \text{ t}$ , 碳密度分别为  $38.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $45.3 \text{ t} \cdot$

$\text{hm}^{-2}$ 。

在乔木林中, 幼龄林、中龄林和成熟林碳储量分别为  $1.72 \text{ t}$ 、 $9.74 \text{ t}$  和  $222.76 \text{ t}$ , 碳密度分别为  $5.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $21.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $48.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。可见, 成熟林是洪雅碳汇组成的主要部分。

洪雅林场植被碳储量具有一定的垂直分布特征: 在  $0 \sim 2500 \text{ m}$  范围, 碳储量随海拔梯度升高而增加,  $>2500 \text{ m}$  后随着海拔梯度的升高而降低, 碳储量在  $2000 \text{ m} \sim 2500 \text{ m}$  达到最高, 为  $84.4 \times 10^4 \text{ t}$ , 占总碳储量的 36.0%。碳储量随坡度等级的递增表现出增加的规律。碳储量坡向分布特征总体表现为阴坡或半阴坡碳储量高于阳坡或半阳坡, 以无坡向最小。碳储量沿海拔、坡度、坡向的分布规律表明, 林场中主体森林植被一旦被破坏, 其恢复难度极大, 因此, 应减少人为破坏和消耗、进行可持续经营和管理。

### (3) 洪雅林场近 10 年碳汇/源动态

洪雅林场近 10 年碳汇功能明显。2003 年到 2012 年间, 洪雅林场碳储量从  $154.90 \times 10^4 \text{ tC}$  增加到  $234.22 \times 10^4 \text{ tC}$ , 增加了  $79.32 \times 10^4 \text{ tC}$ , 年均增长率为 0.5%。可见, 洪雅林场森林植被起着“碳汇作用”。因此, 减少人为对森林生态系统的干扰活动, 加强对森林植被的保护以维持和增加植被层碳储量, 对于减少碳排放、增加碳汇具有一定的意义。

## 参考文献:

- [1] IPCC. 气候变化 2007: 综合报告[M]. 日内瓦: TERI 出版社, 2008.
- [2] 薛立, 杨鹏. 森林生物量研究综述[J]. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 283 ~ 288.
- [3] 胥辉. 林木生物量模型研究评述[J]. 林业资源管理, 1997(5): 33 ~ 36.
- [4] 罗云建, 张小全, 王效科, 等. 森林生物量的估算方法及其研究进展[J]. 林业科学, 2009, 45(8): 129 ~ 133.
- [5] 方精云, 刘国华, 徐篙龄. 中国森林植被生物量和净生产力[J]. 生态学报, 1996, 16(4): 497 ~ 508.
- [6] 黄从德, 张建, 杨万勤, 等. 2007. 四川森林植被碳储量的时空变化. 应用生态学报, 18(12): 2687 ~ 2692.
- [7] 何艳红, 郭志华, 肖文发. 遥感在森林地上生物量估算中的应用[J]. 生态学报, 2007, 26(8): 1317 ~ 1322.
- [8] 何英. 森林固碳估算方法综述[J]. 世界林业研究, 2005, 18(1): 23 ~ 28.
- [9] 赵林, 殷鸣放, 陈晓非, 等. 森林碳汇研究的计量方法及研究现状综述[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 59 ~ 63.
- [10] 张俊, 孙玉军. 森林生态系统碳循环研究方法概述[J]. 林业资源管理, 2007, 1: 102 ~ 104.
- [11] 曹吉鑫, 田贇, 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.
- [12] 李海涛, 黄从德, 杨万勤, 等. 柳杉人工林采伐后不同土地利用类型初期土壤有机碳变化[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 118 ~ 122.