

# 秦皇岛市森林植被碳储量、碳密度及其空间分布

赵忠宝<sup>1,2</sup>, 耿世刚<sup>2</sup>, 柏祥<sup>2</sup>, 杜洁<sup>2</sup>, 万福绪<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学 林学院, 江苏 南京 210037; 2. 中国环境管理干部学院, 河北 秦皇岛 066102)

**摘要:** [目的] 分析区域森林资源的碳储量大小及分布规律, 为地方森林碳汇经营管理和规划提供科学依据。[方法] 基于河北省森林资源清查数据, 乔木树种采用方精云建立的生物量换算因子连续函数法, 灌木和经济林采用平均生物量法, 结合不同树种分子式含碳率, 对秦皇岛市森林植被碳储量和碳密度进行了估算, 并运用 ARCGIS 软件对其空间分布进行了分析。[结果] 2005 年, 秦皇岛市森林植被总碳储量为  $4.30 \times 10^6$  t, 森林植被平均碳密度为  $11.72$  t/hm<sup>2</sup>。全市各区县森林植被碳储量空间分布上有显著差异, 表现为“北部山区和中部丘陵高, 南部平原低”的空间格局, 而植被碳密度呈现相反的趋势。林分碳储量占总碳储量的 56.04%, 林分平均碳密度为  $12.09$  t/hm<sup>2</sup>。林分针阔分明, 阔叶林碳储量略大于针叶林碳储量, 天然林碳储量大于人工林碳储量。全市林分碳储量以中、幼龄林为主, 二者各自占林分总碳储量的 24.07% 和 56.31%。[结论] 未来秦皇岛市森林植被仍具有较大的固碳能力。

**关键词:** 秦皇岛市; 森林植被碳储量; 碳密度; 空间分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0315-06

中图分类号: S718, Q948

**文献参数:** 赵忠宝, 耿世刚, 柏祥, 等. 秦皇岛市森林植被碳储量、碳密度及其空间分布[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 315-320. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.056

## Carbon Storage, Density and Spatial Distribution of Forest Vegetation in Qinhuangdao City

ZHAO Zhongbao<sup>1,2</sup>, GENG Shigang<sup>2</sup>, BAI Xiang<sup>2</sup>, DU Jie<sup>2</sup>, WAN Fuxu<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China;

2. Environmental Management College of China, Qinhuangdao, Hebei 066102, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this study is to analyze the carbon storage and spatial distribution of regional forest resources in order to provide a scientific basis for management and planning for the local forest carbon sinks. [Methods] Based on the forest resource inventory data in Hebei Province, the carbon storage and density in Qinhuangdao City were calculated. The biomass expansion factor continuous function method established by Fang Jingyun was used to calculate carbon stock in tree species. The average biomass was used to calculate carbon stock in shrubs and economic forest. [Results] In 2005, the carbon storage of forest vegetation was  $4.30 \times 10^6$  t, the average carbon density was  $11.72$  t/hm<sup>2</sup>. The spatial distribution of forest vegetation carbon storage exhibited a declining trend from north to south, whereas carbon density gradually increased in the same direction. The carbon storage of forest stand accounted for 56.04% of total forest vegetation carbon storage, and average carbon density of forest stand was  $12.09$  t/hm<sup>2</sup>, respectively. Natural forest stands was higher than artificial forest in carbon storage, and the carbon sequestration of forest stand was mainly distributed in young and middle-aged forest, which accounted for 56.31% and 24.70% of carbon storage, respectively. [Conclusion] Forest vegetation have a great potential for carbon sequestration in Qinhuangdao City.

**Keywords:** Qinhuangdao City; forest vegetation carbon storage; carbon density; spatial distribution pattern

全球气候变化是当今人类社会面临的一个重大环境问题, 大气中以 CO<sub>2</sub> 为主的温室气体的含量对

全球气候变化起着重要的作用<sup>[1]</sup>。森林生长过程中要吸收大量的 CO<sub>2</sub>, 并以生物量的形式长期的保存在

收稿日期: 2014-11-30

修回日期: 2015-03-06

资助项目: 秦皇岛市科技支撑项目“基于森林资源清查数据和 GIS 的秦皇岛生态林碳储量及其价值评价研究”(201401A354); 秦皇岛滨海森林景观资源分析及价值评估(201401A387); 中国环境管理干部学院课题(2014001)

第一作者: 赵忠宝(1980—), 男(汉族), 河南省滑县人, 博士生, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: zhongbao80@aliyun.com。

通讯作者: 万福绪(1952—), 男(汉族), 江苏省赣榆县人, 博士生导师, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: fxwan@njfu.edu.cn。

森林生态系统中。研究表明陆地上绿色植物吸收的 CO<sub>2</sub> 中森林占 80% 左右<sup>[2]</sup>, 森林每生长 1 m<sup>3</sup> 木材, 可以吸收 1.83 t CO<sub>2</sub><sup>[3]</sup>, 但森林受到破坏和燃烧的过程中又大量排放 CO<sub>2</sub>, 因此森林在调节大气中 CO<sub>2</sub> 浓度及全球气候变化中发挥着重要作用。此外, 在减排行动上, 发展成本低、潜力大、可持续的森林来增加生物固碳, 充分发挥森林的重要作用, 已经成为各国政府采取减排、缓解气候变化的行动措施之一<sup>[4]</sup>。

森林碳储量的估算主要以森林生物量为基础, 国际上通常用生物量乘以含碳系数来计算碳储量<sup>[1]</sup>。森林生物量包括地上生物量和地下生物量, 由于地下生物量的野外数据难以获得, 目前的研究大多集中在地上生物量(AGB)<sup>[5]</sup>。利用森林资源清查数据对区域森林植被生物量进行估测, 与其他方法相比是一种比较准确的方法<sup>[6]</sup>。森林资源清查数据具有分布范围广、测量的因子容易获得、时间连续性强等优点, 是估算区域、国家尺度森林生物量的重要途径之一<sup>[7-8]</sup>。

本文以秦皇岛市森林植被为研究对象, 利用秦皇岛市 2005 年森林资源二类调查数据, 优势树种采用方精云建立的生物量换算因子连续函数法(材积源生物量法)和灌木、经济林采用平均生物量法, 结合不同树种分子式含碳率, 研究森林植被碳储量及碳密度, 旨在明确秦皇岛市森林植被的固碳现状, 对合理经营和管理森林, 促进森林植被固碳功能的增加具有重要意义, 同时也为今后秦皇岛市森林植被碳储量的动态对比分析奠定基础。

## 1 研究地概况

秦皇岛市地处河北省东北部, 东经 118°34′—119°51′, 北纬 39°40′—40°37′, 海拔高度 0~1 500 m, 全市陆域面积 7 812 km<sup>2</sup>。秦皇岛市行政区域包括海港区、北戴河区、山海关区、抚宁县、昌黎县、卢龙县、青龙满族自治县。秦皇岛市气候类型属于暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均气温为 11 ℃, 年平均降水量 634.3 mm, 主要集中在 6—9 月, 无霜期 162~188 d。土壤类型有棕壤、褐土、风沙土、潮土、滨海盐土等 8 个土类。秦皇岛市植被类型相对丰富, 植被类型兼有华北、东北、蒙新 3 大植被区的特点, 乔木树种主要有油松(*Pinus abuliformis*)、柞树(*Quercus mongolica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杨属(*Populus*)、白桦(*Betula platyphylla*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、椴树(*Tilia tuan*)、柳树(*Salix babylonica*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)等, 灌

木主要有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、锦带(*Weigela florida*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、酸枣(*Ziziphus jujuba. var. spinosa*)等。

## 2 材料与方方法

### 2.1 数据来源

本研究使用的数据为 2005 年秦皇岛市森林资源二类调查数据和秦皇岛市政区图。本次研究的森林碳储量是森林地上部分的碳储量及碳密度, 不包括林下灌木、林中枯立木、林下土壤、枯枝落叶层部分碳储量。主要研究森林植被类型为林分、灌木、经济林、疏林地、散生木和四旁树。

### 2.2 空间分析软件

森林植被碳储量及碳密度空间分布与分类软件采用 ArcGIS 10.0。以乡镇和林场为计算单元, 分类统计和计算, 分别求出每个乡镇的森林生物量、碳储量和碳密度, 最后把所统计的乡镇和林场的碳储量分类相加, 分别得到县、区和全市森林植被碳储量和平均碳密度。

### 2.3 研究方法

2.3.1 林分生物量计算方法 本研究林分的生物量主要采用方精云<sup>[9-13]</sup>建立的优势树种蓄积量与生物量的换算公式(表 1)。

$$B = \alpha \times V + \beta \quad (1)$$

式中:  $B$ ——林分生物量(t/hm<sup>2</sup>);  $v$ ——林分蓄积量(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>);  $\alpha, \beta$ ——参数。下同。

疏林地和散生木与林分生物量计算公式相同。对于方精云没有推算出的蓄积量与生物量的换算公式的优势树种, 主要采用公开发表的论文中的换算公式或采用近似树种参数替代法确定参数。山杨和栽培杨统称为杨树; 四旁树多以杨树为主, 参照杨树的计算参数; 桑树、椴树、椿树、核桃楸、白蜡、柳树、杂木统称为软阔树种; 榆树、五角枫统称为硬阔树种, 参照柞木的计算参数; 鹅耳枥、山杏、火炬树参考灌木计算参数; 无蓄积林分、疏林地、散生木和四旁树参照灌木碳储量计算。

### 2.3.2 灌木和经济林生物量计算方法

$$B_1 = 19.76 \times s \quad (2)$$

$$B_2 = 23.70 \times s \quad (3)$$

式中:  $B_1, B_2$ ——分别为灌木和经济林的生物量(t);  $s$ ——灌木林和经济林的面积(hm<sup>2</sup>)。

灌木和经济林生物量计算参照国内公开发表论文中的计算公式<sup>[13]</sup>。

2.3.3 森林植被碳储量计算方法 本研究采用李海奎等<sup>[1]</sup>运用植物分子式确定不同树种的含碳率。对

于部分无确切含碳率的树种,采用公开发表论文中的含碳率。

$$C = B \times C_c \quad (4)$$

式中:  $C$ ——林分碳储量(t);  $B$ ——林分生物量;  $C_c$ ——树种含碳系数。

$$P_c = \frac{C}{s} \quad (5)$$

式中:  $P_c$ ——林分碳密度( $t/hm^2$ );  $C$ ——林分碳储量(t);  $s$ ——林分面积( $hm^2$ )。

疏林地、散生木、四旁树、灌木和经济林采用相同的计算方法。

秦皇岛市森林植被总碳储量 = 林分碳储量 + 疏林地碳储量 + 散生木碳储量 + 四旁树碳储量 + 灌木碳储量 + 经济林碳储量。不同树种生物量回归方程和含碳率见表 1。

表 1 不同树种生物量回归方程和含碳率

树种类型	生物量回归方程	树种含碳率
柞树/硬阔	$B = 1.145v + 8.547$	0.525/0.483
油松	$B = 0.755v + 5.093$	0.520 7
白桦	$B = 1.069v + 10.237$	0.491 4
华北落叶松	$B = 0.691v + 33.806$	0.521 1
侧柏	$B = 0.613v + 46.145$	0.522 4
刺槐	$B = 0.829v + 4.803$	0.499 8
杨属/四旁树	$B = 0.475v + 30.603$	0.495 6
灌木	$B = 19.760s$	0.500 0
经济林	$B = 23.700s$	0.500 0
软阔	$B = 0.756v + 8.310$	0.495 6

注:  $B$  为生物量;  $v$  为林分蓄积量;  $s$  为灌木、经济林面积。

### 3 结果与分析

#### 3.1 秦皇岛市不同森林植被类型碳储量分析

根据统计估算结果分析,秦皇岛市森林植被总碳储量为  $4.30 \times 10^6$  t, 平均碳密度为  $11.72 t/hm^2$ 。其中有林分碳储量为  $2.41 \times 10^6$  t, 经济林碳储量为  $9.59 \times 10^5$  t, 灌木林碳储量为  $7.29 \times 10^5$  t, 四旁树碳储量为  $1.60 \times 10^5$  t, 疏林地为  $3.78 \times 10^4$  t, 散生木为 4 200 t。其中林分、经济林和灌木碳储量分别占全市森林植被总碳储量的 56.04%, 22.29% 和 16.95%, 三者之和为 95.28%, 是全市主要的森林植被碳储量类型。

#### 3.2 秦皇岛市不同林分碳储量与碳密度分析

全市林分总碳储量为  $2.41 \times 10^6$  t, 平均碳密度为  $12.09 t/hm^2$ , 林分中各优势树种碳储量大小顺序为: 油松 > 柞树 > 杨属 > 刺槐 > 桦树 > 软阔 > 落叶松 > 硬阔 > 侧柏(表 2)。各树种间碳储量差异较大, 油松碳储量最大, 占全市林分总储量的 47.57%, 柞树次之, 占全市林分总储量的 29.4%; 碳密度大小顺序

为: 硬阔 > 侧柏 > 落叶松 > 桦树 > 杨属 > 油松 > 软阔 > 刺槐 > 柞树(表 2)。碳密度分布极不均匀, 柞树碳密度只有  $7.42 t/hm^2$ , 小于林分平均碳密度( $12.09 t/hm^2$ ), 而面积占林分总面积的 47.9%, 柞树单位面积生产力较低, 造成全市碳储量偏低。柞树碳密度较低的主要原因是柞树为天然次生幼龄林, 林相不整齐, 胸径较小, 蓄积量偏低, 造成单位生产力也较低。

表 2 不同林分碳储量与碳密度

树种类型	面积/ $hm^2$	碳储量/ $10^4$ t	碳密度/ $(t \cdot hm^{-2})$
柞树	95 517.20	70.85	7.42
硬阔	37.50	0.14	37.33
油松	75 501.70	114.66	15.19
白桦	1 799.60	4.40	24.45
华北落叶松	72.90	0.19	26.06
侧柏	52.50	0.18	35.05
刺槐	7 516.00	8.18	10.88
杨属	16 781.30	39.78	23.70
软阔	2 041.30	2.63	12.88
合计	199 320.00	241.01	12.09

#### 3.3 秦皇岛市不同龄组林分碳储量与碳密度分析

全市不同龄组林分碳储量大小为: 幼龄林 > 中龄林 > 近熟林 > 成熟林 > 过熟林(图 1), 碳储量主要集中在中、幼龄林, 二者之和占林分总碳储量的 81.01%, 其中幼龄林占 56.31%, 中龄林占 24.70%; 不同龄组林分的碳密度为: 成熟林 > 近熟林 > 中龄林 > 过熟林 > 幼龄林, 全市林分碳密度以成熟林最高为  $36.58 t/hm^2$ , 幼龄林最低为  $8.93 t/hm^2$ , 幼龄林低于林分平均碳密度为  $12.09 t/hm^2$ , 而幼龄林面积占林分总面积的 76.21%, 由于幼龄林碳密度较低, 这是造成秦皇岛市碳储量总体偏低, 今后应加强对幼林的抚育管理, 增强其固碳的能力, 提高其单位面积上的生产力。

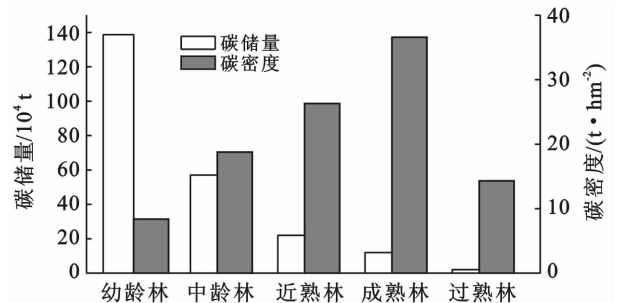


图 1 不同林龄组碳储量和碳密度

#### 3.4 秦皇岛市不同起源林分的碳储量与碳密度分析

如表 3 所示, 全市天然林分碳储量为  $1.42 \times 10^6$  t,

占林分总碳储量的 58.99%，天然林分碳密度为  $9.5 \text{ t/hm}^2$ ，低于林分平均碳密度  $12.09 \text{ t/hm}^2$ ，天然林分中碳储量最大的是柞树，为  $7.09 \times 10^5 \text{ t}$ ，其次是油松为  $6.48 \times 10^5 \text{ t}$ 。天然林分碳密度偏低的主要原因是天然林分以柞树和油松为主，分别占天然林分面积的 63.85% 和 33.85%，而柞树和油松以中、幼龄林为主，蓄积量不高，碳密度相对较低。

表 3 不同起源有林地碳储量与碳密度

树种类型	碳储量/ $10^4 \text{ t}$		碳密度/ $(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	
	天然林	人工林	天然林	人工林
柞树	70.85	—	7.42	—
硬阔	0.007 4	0.13	6.87	49.54
油松	64.83	49.83	12.80	20.04
桦树	4.40	—	24.44	—
落叶松	0.086	0.11	32.70	23.10
侧柏	0.002 2	0.18	27.71	34.82
刺槐	—	8.18	—	10.88
杨属	0.54	39.24	30.32	23.63
软阔	1.45	1.17	10.07	19.35
合计	142.17	98.84	9.50	19.88

人工林分碳储量为  $9.88 \times 10^5 \text{ t}$ ，占林分总碳储量的 41.01%，人工林分碳密度为  $19.88 \text{ t/hm}^2$ 。人工林分中碳储量最大的是油松  $4.98 \times 10^5 \text{ t}$ ，其次是栽培杨  $3.92 \times 10^5 \text{ t}$ 。油松不但是天然林中碳储量较大者，而且也是人工林中碳储量最大者。油松和杨属是秦皇岛地区的主要用材树种，其碳储量分别占人工林总碳储量的 50.41% 和 39.7%。

### 3.5 秦皇岛市森林植被碳储量及碳密度的空间分布格局分析

从各县、区来看(表 4 和图 2)，全市森林植被碳储量的空间分布格局具有明显的异质性，是从北向南呈现递减的趋势，北部青龙满族自治县最高，为  $2.56 \times 10^6 \text{ t}$ ，南部的海港区最低，为  $7.37 \times 10^4 \text{ t}$ 。林分碳

储量具有同样的规律，也是从北向南呈现递减的趋势，这说明秦皇岛市北部的森林碳汇功能大于南部。北部森林碳储量以油松和柞树林为主，青龙满族自治县和抚宁县油松林面积之和为  $6.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，碳储量为  $1.04 \times 10^6 \text{ t}$ ，两县柞树林总面积为  $9.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，碳储量为  $6.88 \times 10^5 \text{ t}$ ，而南部森林植被碳储量主要以人工林栽培杨为主，昌黎县、抚宁县南部、北戴河区、海港区 and 山海关区杨树林总面积为  $1.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，碳储量为  $2.71 \times 10^5 \text{ t}$ 。

森林植被平均碳密度正好呈现相反的空间分布格局(图 2)，从北向南逐渐增加，青龙满族自治县最低，为  $10.69 \text{ t/hm}^2$ ；南部的北戴河区最高，为  $26.65 \text{ t/hm}^2$ ；为林分碳密度也呈现相同的分布规律，北部青龙满族自治县最低，为  $10.72 \text{ t/hm}^2$ ，南部的北戴河区最高，为  $35.68 \text{ t/hm}^2$ ，这说明南部森林生产力较高，而北部森林生产力较低。

从所统计的 76 个乡镇和 6 个林场来看(图 3)，碳储量空间分布仍然具有较明显的空间异质性，总体分布格局是从北向南逐渐递减，碳储量最大的乡镇是青龙镇碳储量为  $2.38 \times 10^5 \text{ t}$ ，碳储量最小的乡镇是一关镇，碳储量为 690 t，碳储量多数分布在  $1.00 \times 10^4 \sim 1.00 \times 10^5 \text{ t}$  之间，统计的 6 个国有林场碳储量占总碳储量的 11.9%；碳密度同样具有较明显的空间差异，碳密度大于  $20 \text{ t/hm}^2$  的乡镇和林场相对较少，占统计总数的 9.8%，碳密度在  $15 \sim 20 \text{ t/hm}^2$  占统计总数的 14.6%，碳密度多数分布在  $6 \sim 15 \text{ t/hm}^2$  之间，占统计总数的 75.6%，分布相对均匀。国有林场的碳密度相对较大，碳密度最大的是海滨林场，碳密度为  $49.1 \text{ t/hm}^2$ ，其次是都山林场，碳密度为  $36.2 \text{ t/hm}^2$ ，再次为渤海林场，碳密度为  $31.8 \text{ t/hm}^2$ ，国有林场碳密度较高的原因是，林相比较整齐，林木比较集中，再加多年的封山育林和抚育管理，林木长势比较好，蓄积量大，碳密度相对较高。

表 4 秦皇岛市各区、县不同植被类型碳储量及植被平均碳密度

各县、区	面积/ $10^4 \text{ hm}^2$		碳储量/ $10^4 \text{ t}$			森林植被平均碳密度/ $(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$
	植被总面积	林分面积	林分	灌木	其他植被	
青龙满族自治县	23.89	13.06	140.02	62.93	52.55	10.69
抚宁县	6.91	4.39	57.46	3.98	25.63	12.61
昌黎县	2.31	0.92	16.43	3.54	14.38	14.88
卢龙县	2.12	0.76	8.58	1.39	15.77	12.17
山海关区	0.69	0.41	8.16	0.81	2.62	16.9
海港区	0.47	0.21	3.57	0.25	3.55	15.59
北戴河区	0.32	0.19	6.78	0.01	1.62	26.65

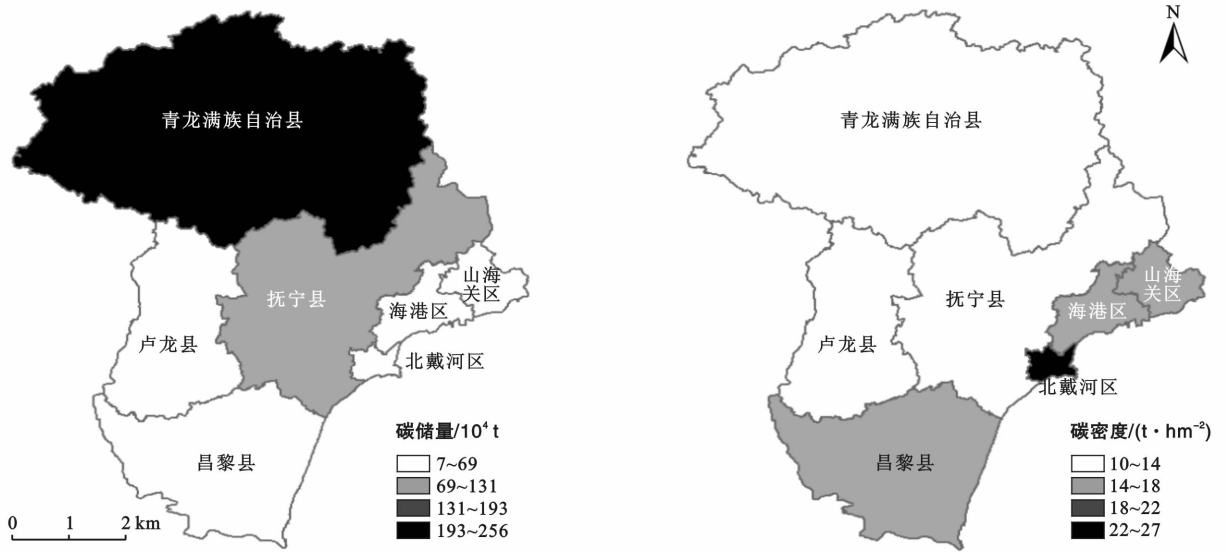


图 2 秦皇岛市各区县森林植被碳储量和碳密度

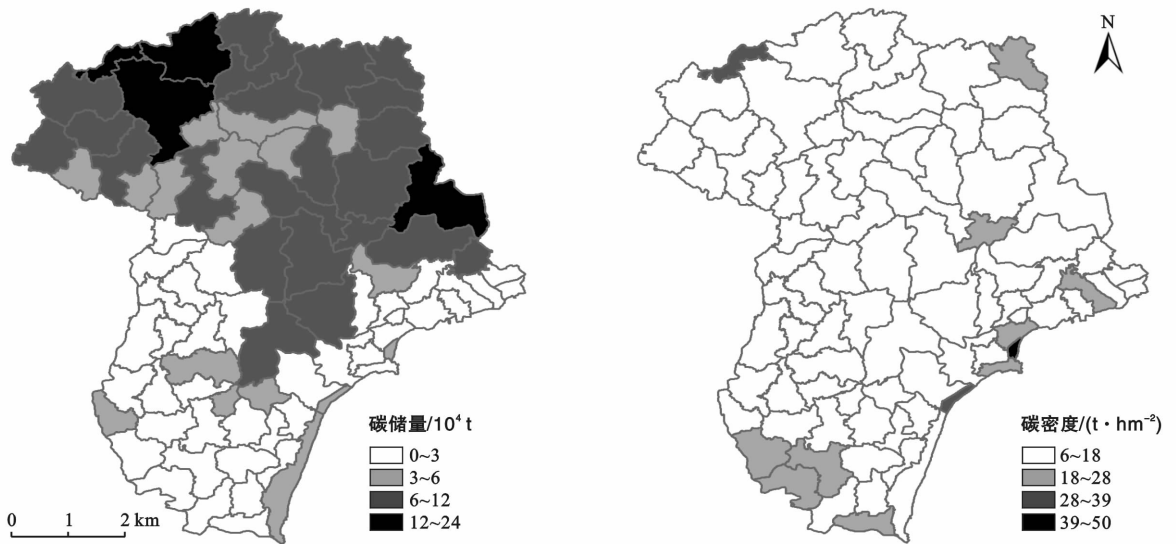


图 3 秦皇岛市各乡镇森林植被碳储量和碳密

## 4 讨论

(1) 秦皇岛市森林植被总碳储量为  $4.30 \times 10^6$  t, 其中油松、柞树、杨树、经济林和灌木碳储量是全市森林植被碳储量的主体, 占总碳储量的 91.64%; 林分碳储量占总碳储量的 56.04%, 林分中针阔分明, 阔叶林碳储量略大于针叶林, 阔叶林主要集中在柞树、杨树, 针叶林主要以油松为主, 天然林碳储量大于人工林碳储量。秦皇岛市森林植被碳储量占全国同时期碳储量的 0.055%<sup>[1]</sup>, 占河北省同时期碳储量的 7.04%<sup>[14]</sup>; 林分平均碳密度 ( $12.09 \text{ t/hm}^2$ ) 高于河北省同期林分平均碳密度 ( $10.32 \text{ t/hm}^2$ )<sup>[14]</sup>, 也高于北京同期林分平均碳密度 ( $12.03 \text{ t/hm}^2$ )<sup>[15]</sup>, 而低于全国同期林分平均碳密度 ( $42.82 \text{ t/hm}^2$ )<sup>[1]</sup>, 低于全国

林分碳密度的主要原因是柞树和油松林分碳密度较低, 分别为  $7.42, 15.19 \text{ t/hm}^2$ , 而二者面积占林分总面积的 85.8%, 这也造成秦皇岛市森林植被碳储量总体偏低的主要原因, 而柞树和油松以中、幼林为主, 说明在未来柞树和油松仍有较大的固碳潜力, 应加强对柞树和油松林的抚育管理, 增强其固碳的能力。

全市经济林面积占森林植被总面积的 22.05%, 碳储量占森林植被总碳储量的 22.29%, 这对发展地区经济起到积极作用。而经济林的主要树种为葡萄、桃、苹果和板栗等, 这些树种为商品林, 他们的砍伐不受国家砍伐权限的限制, 由经营者自主管理和砍伐, 如果经济林效益不好, 有可能被砍伐掉, 造成经济林碳汇变成碳源, 从而会造成全市总碳储量暂时性下降。

(2) 从林龄结构分析,全市幼龄林碳储量所占林分总碳储量比重较大(56.31%),碳密度相对较低(8.93 t/hm<sup>2</sup>),成熟林最高(36.58 t/hm<sup>2</sup>),这一结果与前人研究的结果不一致。有些研究者认为森林碳密度与林龄结构成正比,随林龄增加林分碳密度也随之增长,到过熟林达到最大不一致<sup>[16-17]</sup>。与前人不一致的主要原因是秦皇岛市北部山区的森林植被在历史上曾遭受过大规模的人为破坏和砍伐,把蓄积量大的林分伐掉,而剩余一些小老头树,造成成熟林和过成熟林的碳密度较低,人为破坏因素也是造成成熟林和过成熟林的碳密度较低的主要原因之一<sup>[18]</sup>。新中国成立后,全市进行了大规模的植树造林和封山育林,目前的森林植被主要以幼龄林为主(占林分面积的76.2%),这说明在未来全市森林碳储量仍有较大的固碳潜力,今后应加强对其固碳潜力的培养。

(3) 从林分起源来看,全市林分碳储量以天然林为主,占林分总碳储量的58.99%,天然林林分碳密度(9.5 t/hm<sup>2</sup>)低于人工林碳密度(19.88 t/hm<sup>2</sup>),虽然天然林的生产力低于人工林,但天然林对全市碳储量的贡献较大。由于天然林主要分布在北部山区,以次生幼林为主,今后应该加大对天然林的封山育林,抚育管理,提高其固碳的能力。

(4) 从空间布局分析,全市森林植被碳储量的空间分布表现为“北部山区、中部丘陵地带高,南部沿海平原低”的格局,北部的碳汇功能大于南部,是全市的碳汇中心地带。国有林场的森林植被碳密度大于其他乡镇的碳密度,国有林场表现出较高的森林生产力,这与多年的封山育林和抚育管理密不可分。从空间分布来看,全市分布着大面积的灌木林,灌木林碳储量占植被总碳储量的16.95%,面积占20.1%,而灌木林在固碳释氧、涵养水源等方面的功能不如林分。而全市的3大水源地,桃林口水库、天马湖水库和燕塞湖水库周围主要以灌木林为主,今后应该加大对库区和全市灌木林的改造,有条件的地方逐步改为林灌结构,充分发挥林分和灌木的涵养水源和碳汇功能。

**致谢** 感谢秦皇岛市林业局对本研究提供数据。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李海奎,雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估[M]. 北京:中国林业出版社,2010.
- [2] Du Huaqiang, Zhou Guomo, Fan Wenyi, et al. Spatial heterogeneity and carbon contribution of aboveground biomass of moso bamboo by using geostatistical theory[J]. *Plant Ecology*, 2010,207(1):131-139.
- [3] 李怒云. 中国林业碳汇[M]. 北京:中国林业出版社,2007.
- [4] 刘伟玲,张林波,叶有华. 深圳市森林植被碳储量特征及其空间分布[J]. *生态科学*, 2012,31(2):144-154.
- [5] Lu Dengsheng. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation[J]. *International Remote Sense*, 2006,27(7):1297-1328.
- [6] 周伟,王晓洁,关庆伟,等. 基于二类调查数据的森林植被碳储量和碳密度:以徐州市为例[J]. *东北林业大学学报*, 2012,40(10):71-74.
- [7] 李海奎,赵鹏祥,雷渊才,等. 基于森林清查资料的乔木林生物量估算方法的比较[J]. *林业科学*, 2012,48(5):44-52.
- [8] 邓蕾,上官周平. 基于森林资源清查资料的森林碳储量计量方法[J]. *水土保持通报*, 2011,31(6):143-147.
- [9] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. *生态学报*, 1996,16(5):497-508.
- [10] Fang Jingyun, Chen Anping, Peng Changhui, et al. Changes in Forest Biomass Carbon Storage in China Between 1949 and 1998[J]. *Science*, 2001,292(5525):2320-2322.
- [11] 张萍. 北京森林碳储量研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.
- [12] 王超,毕君,宋熙龙,等. 太行山区刺槐林的生物量与碳汇量[J]. *中国农学通报* 201,29(4):14-18.
- [13] 任德智,葛立雯,同延玲,等. 陕西省宜君县森林碳密度及空间分布格局研究[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2013,41(1):155-162.
- [14] 毕君,王超,李联地,等. 基于 IPCC 的河北省 2005 年森林碳储量[J]. *东北林业大学学报*, 2011,39(12):36-39.
- [15] 王光华,刘琪璟. 基于 TM 影像和森林资源二类调查数据的北京森林碳汇估算[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2013,21(2):224-235.
- [16] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 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.
- [17] Cheng Chihhsin, Hung Chihyu, Chen Chioupeng, et al. Biomass carbon accumulation in aging Japanese cedar plantations in Xitou, Central Taiwan[J]. *Botanical Studies*, 2013,54(1):60-68.
- [18] 林清山,洪伟. 中国森林碳储量研究综述[J]. *中国农学通报*, 2009,25(6):220-224.