

黄龙山蔡家川林场森林类型碳密度及其变化研究

赵鹏祥^a, 赵臻^b, 郝红科^a

(西北农林科技大学 a 林学院, b 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】对黄龙山蔡家川林场主要森林类型的碳储量和碳密度进行计算,为该区域森林碳汇功能研究提供参考。【方法】利用1986和1997年黄龙山蔡家川林场森林资源二类调查数据,依据不同森林类型生物量与蓄积量之间的回归方程以及森林生物量与碳储量、碳密度的关系,对该林场主要森林类型(柏木(*Cypress*)林、杨树(*Populus*)林、桦木(*Betula*)林、栎树(*Quercus*)林、油松(*Pinus tabulaeformis*)林、杂木林(Nonmerchantable woods))的碳储量、碳密度进行推算和分析,并与全国及西北五省(区)相同森林类型碳密度进行了对比。【结果】1986和1997年,该林场2年平均森林总碳储量为387 740 t,平均森林碳密度为17.7 t/hm²;1997年森林总碳储量比1986年减少9.65%,森林平均碳密度增长3.38%。各森林类型1986和1997年的平均碳密度大小顺序依次为栎树林(28.06 t/hm²)、油松林(24.35 t/hm²)、桦木林(21.04 t/hm²)、杂木林(11.86 t/hm²)、柏木林(11.03 t/hm²)和杨树林(10.04 t/hm²);1986和1997年不同生长阶段林分平均碳密度大小顺序依次为近熟林(25.56 t/hm²)、幼龄林(25.49 t/hm²)、中龄林(24.77 t/hm²)、成熟林(13.53 t/hm²)、过熟林(12.84 t/hm²)。该林场柏木林、桦木林、栎树林、杨树林、杂木林的森林碳密度均低于全国平均水平,但油松林的平均碳密度较全国平均水平高92.0%。【结论】1986和1997年,该林场森林具有较好的碳汇能力,但这2年间森林碳汇能力变化不显著;森林类型不同或同期林分生长阶段不同,其所具有的碳汇能力存在差异;保护和管理好栎树林、油松林、桦木林,并大力开展幼龄林、中龄林和近熟林的经营抚育工程,对增加该林场森林的碳汇功能具有重要贡献。

【关键词】 黄龙山蔡家川林场;森林类型;碳储量;碳密度

【中图分类号】 S757

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)07-0077-06

Study on carbon density and its dynamic change of forest types in Huanglong Mountain Forestry Region

ZHAO Peng-xiang^a, ZHAO Zhen^b, HAO Hong-ke^a

(a College of Forestry, b College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This paper calculated the carbon storage and density in Caijiachuan forest farm in Huanglong Mountains, which would provide reference to research the function of forest carbon sink in this area. 【Method】 The research built the regression equation of biomass and volume and analyzed the relationship between biomass and carbon storage, carbon density of different forest types, with the forest resource inventory data for management. This paper also calculated and analyzed the carbon storage and density of main forest types (including *Cypress*, *Populus*, *Betula*, *Quercus*, *Pinus tabulaeformis*, Nonmerchantable woods) in this forest farm, and compared with the carbon density of the same forest types in whole country and five provinces in northwest of China. 【Result】 In this forest farm, the average carbon storage was 387 740 t and the average carbon density being 17.7 t/hm² in 1997 and 1986; The total carbon storage decreased by 9.65% and the average carbon density increased by 3.38% in 1997 compared with

* [收稿日期] 2010-12-10

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30972296)

[作者简介] 赵鹏祥(1965—),男,青海乐都人,副教授,博士,主要从事森林经营管理及“3S”技术应用研究。

E-mail: zpx666@yahoo.com.cn

that in 1986; The average carbon density of main forest types was in the order of oaks(28.06 t/hm^2), Chinese Pine forest(24.35 t/hm^2), Birch Forest(21.04 t/hm^2), weed tree forest(11.86 t/hm^2), Cupressus funebris forest (11.03 t/hm^2) and Poplar forest (10.04 t/hm^2). The average carbon density of main forest types was in the order of near-mature forest (25.56 t/hm^2), young forest (25.49 t/hm^2), medium forest (24.77 t/hm^2), mature forest (13.53 t/hm^2), and over-mature forest (12.84 t/hm^2). 【Conclusion】 This forest farm had good ability in carbon sink, but the change of the ability of carbon sink was not significant in 1986 and 1997; The ability of carbon sink was different among different ages and types of forest. Protecting and managing oaks, Chinese pine forest and birch forest well and carrying out the management and forest tending of young forest, medium forest, and near-mature forest contributes greatly to carbon sink in this forest farm.

Key words: Caijiachuan forest farm in Huanglong Mountains; forest types; carbon storage; carbon density

气候变暖导致的全球性环境问题越来越受到科学界的关注,而大气中 CO_2 的增加是导致气候变暖的主要原因。据测定,目前大气中 CO_2 浓度比公元前 1750 年增加了 31%,预计在今后 100 年中,其浓度将持续快速增加^[1-3]。森林在吸收 CO_2 等温室气体以及维持大气 CO_2 平衡方面起着重要作用。森林的破坏已经成为继化石燃料之后大气中 CO_2 浓度增加的第二大因素^[4]。前苏联、美国、加拿大和北欧等国家对森林生态系统中植物碳储量的估算均有系统研究^[5-6]。在我国,这主面的研究可以追溯到由潘维伟、冯宗炜、李文华等于 20 世纪 70 年代末至 80 年代初开始的植被生物量测定^[7],目前相关的报道很多,但因研究地点、森林类型、尺度等不同,对碳储量的估算方法及结果存在差异^[8]。我国学者将野外测定资料与森林资源清查资料相结合,探讨了森林生物量及其变化的估算方法,估算了中国森林的碳动态^[9-11],并论述了其方法适合于尺度转换的理论依据^[12]。同时,在该理论方法的指导下,在区域、流域尺度上逐渐开展了碳储量及其变化的研究工作^[13-21]。

黄土高原是我国气候变化的敏感区域之一^[22],该地区森林的生长及其特性变化,对区域的碳循环及气候变化有重要影响。但是,目前尚未见关于该地区天然林碳储量、碳密度变化的研究报道。为此,本研究主要对黄土高原东南部黄龙山林区天然林乔木层地上部分的碳储量和碳密度进行了估算,以期该地区森林生态系统碳平衡研究提供基本资料。

1 研究区概况

研究区为位于黄龙山林区中部的蔡家川林场。

该林场地处小南川中上游,属黄河水系。其西北部与小寺庄林场接壤,西、南方向与官庄、石堡林场毗邻,东与圪台林场连接,东北与瓦子街林场分界;地理坐标为东经 $109^\circ 48' \sim 110^\circ 02'$,北纬 $35^\circ 45' \sim 35^\circ 57'$,总面积 $20\,726 \text{ hm}^2$ 。

该区域属黄土高原丘陵沟壑区,地面破碎,地形变化复杂,形成沟壑、梁峁、残塬、土石质中低山等特有的黄土地形,剥蚀强烈,河谷深切。地势西南高,东北低,最高海拔(旗杆庙) $1\,650 \text{ m}$,为小南川、沙曲河之分水岭,最低海拔(乔峪沟) 940 m ,相对高差一般为 $200 \sim 300 \text{ m}$ 。地带性土壤类型主要为褐土。流域内主要河流蔡家川河汇入小南川,为仁望河左岸三级支流,年径流量 $1\,700 \text{ 万 m}^3$ 。气候属暖温带大陆性半湿润气候,气温低,湿度大;年平均气温 8.6°C ,极端高温 36.7°C ,最低温度 -21.9°C ;年降雨量 602.2 mm ,多集中于 7—9 月。森林植被属暖温带落叶阔叶林地带北部落叶阔叶林亚地带;天然植被覆盖度高,森林植物种类较多。优势树种主要有油松、辽东栎、槲栎、山杨、白桦、侧柏、小叶杨等。

2 研究方法

本研究以 1986 和 1997 年蔡家川林场的森林资源二类调查小班资料为数据源,利用森林碳储量与森林蓄积量、生物量之间的关系模型,对该林场主要森林类型的碳密度及其变化进行了估算,并与同期全国及西北五省(区)的相应资料进行了对比分析。根据小班资料,该林场主要森林类型包括柏木林、桦木林、杨树林、栎树林、油松林和杂木林,林分不同生长阶段可分为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林。

2.1 各森林类型生物量的计算

对不同森林类型地上部分的生物量,本研究采用文献[23-24]中我国森林植被生物量与蓄积量的回归方程进行估算,该方程为:

$$B=aV+b.$$

(1)

式中: B 为每公顷生物量(t), V 为每公顷蓄积量(m^3), a 和 b 均为参数。各森林类型的参数见表 1。

表 1 各森林类型生物量与蓄积量回归方程中的参数取值

Table 1 Parameters of regression equitation between biomass and volume of forests types					
序号 No.	森林类型 Type of forest stands	a	b	r	源文献 Reference
1	柏木林 <i>Cypress</i> forest	0.612 9	26.145 1	0.98	[23]
2	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.475 4	30.603 4	0.93	[23]
3	桦木林 <i>Betula</i> forest	0.964 4	0.848 5	0.98	[23]
4	栎树林 <i>Quercus</i> forest	1.328 8	-3.899 9	1.00	[23]
5	杂木林 Nonmerchantable woods	0.756 4	8.310 3	0.99	[23]
6	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	0.755 4	5.092 8	0.98	[23]

2.2 各森林类型碳储量和碳密度的计算

由于森林的树种组成、年龄和种群结构不同,植物生物量转化为碳储量的比率也不相同。在本研究中,因历史资料缺乏,同时由于获取不同森林植被的转换率存在一定困难,因此采用国际上通用的转换系数 0.5 来估算各森林类型的碳储量^[25],国内学者也多采用该系数^[26]。森林类型碳储量和碳密度的计算公式如下:

森林类型碳储量=森林类型生物量×0.5。(2)

森林类型碳密度=森林类型碳储量/森林类型面积。(3)

2.3 各森林类型碳密度与全国及西北五省(区)相应数据的对比

查阅文献可知,前人利用国家森林资源二类调查结果,采用与本研究相同的方法,已经对不同年份全国及各省(区)的森林碳储量进行了估算。因此,本研究通过对蔡家川林场森林类型碳密度与全国及

西北五省(区)相应数据的比较,来反映该林场森林的碳汇能力。其中,全国及西北五省(区)森林碳储量和碳密度数据来自文献[26],蔡家川林场各森林类型碳密度为该林场 1986 年和 1997 年碳密度的平均值。

3 结果与分析

3.1 蔡家川林场不同森林类型的碳储量、碳密度及其动态变化

由表 2 可以看出,与 1986 年相比,1997 年蔡家川林场森林总面积变化不大,仅增加了 127 hm^2 。除柏木林和桦木林面积均有很大程度减少(降幅分别为 84.85%和 92.81%)外,其余各森林类型的面积均有不同程度增加,其中,杨树林面积增幅最大,达 83.13%,其他依次为杂木林(28.79%)、油松林(19.02%)和栎树林(11.79%)。

表 2 蔡家川林场不同时期森林类型的碳储量、碳密度及其动态变化

Table 2 Carbon storage,density and dynamic change of forests types in different years in Caijiachuan Tree Farm						
年份 Year	森林类型 Stand type	面积/ ($\times 10^3\text{ }hm^2$) Area	蓄积量/ ($\times 10^5\text{ }m^3$) Volume	生物量/ ($\times 10^4\text{ t}$) Biomass	碳储量/ ($\times 10^4\text{ t}$) Carbon storage	碳密度/ ($t\cdot hm^{-2}$) Carbon density
1986	柏木林 <i>Cypress</i> forest	0.033	0.006	0.039	0.020	6.06
	桦木林 <i>Betula</i> forest	3.770	1.881	18.140	9.070	24.06
	栎树林 <i>Quercus</i> forest	5.832	2.409	32.010	16.010	27.45
	杨树林 <i>Populus</i> forest	2.407	1.069	5.085	2.542	10.56
	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	4.973	3.451	26.070	13.030	26.20
	杂木林 Nonmerchantable woods	0.066	0.018	0.137	0.068	10.30
	合计 Sum	17.081	8.834	81.481	40.740	17.43
1997	柏木林 <i>Cypress</i> forest	0.005	0.002	0.015	0.008	16.00
	桦木林 <i>Betula</i> forest	0.271	0.101	0.976	0.488	18.01
	栎树林 <i>Quercus</i> forest	6.520	2.813	37.380	18.690	28.67
	杨树林 <i>Populus</i> forest	4.408	1.765	8.396	4.198	9.52
	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	5.919	3.524	26.620	13.310	22.49
	杂木林 Nonmerchantable woods	0.085	0.030	0.228	0.114	13.41
	合计 Sum	17.208	8.235	73.615	36.808	18.02

由表 2 还可知,蔡家川林场 1986 和 1997 年 2 年平均森林总碳储量为 387 740 t,1997 年森林总碳储量比 1986 年减少了 9.65%。比较各个森林类型可以看出,11 年间碳储量减少部分集中在柏木林和桦木林,分别减少 60.00%和 46.20%;而栎树林、杨树林、油松林、杂木林的碳储量均有不同程度增加,其中,杂木林增加比例最大,为 67.65%;然后依次为杨树林(65.14%)、栎树林(16.74%)和油松林(2.15%)。分析各森林类型碳储量及相应面积变化可知,两者存在较好的正相关关系,该结论与杨昆等^[13]在潭江流域的研究结论基本一致。1997 年该林场森林平均碳密度比 1986 年增长了 3.38%。碳密度的动态变化在不同森林类型中存在一定差别,其中桦木林、杨树林和油松林的碳密度呈现不同程度的下降趋势;而柏木林、栎树林、杂木林则有不同程度的增加。统计表明,2 年各森林类型碳密度平均值大小顺序为栎树林(28.06 t/hm²)、油松林

(24.35 t/hm²)、桦木林(21.04 t/hm²)、杂木林(11.86 t/hm²)、柏木林(11.03 t/hm²)和杨树林(10.04 t/hm²)。

3.2 蔡家川林场不同生长阶段林分的碳储量、碳密度及其变化

由表 3 可以看出,1986—1997 年,蔡家川林场处于不同生长阶段的各森林类型,除了过熟林面积有大幅度增长外,其他生长阶段林分面积均呈现出不同比例的减少。其中近熟林面积减少了 57.02%;其次是成熟林,减少了 26.23%;中龄林减少了 20.44%;幼龄林减少了 4.24%。不同生长阶段林分面积占总面积的比例也有较大变化,其中幼龄林和中龄林面积比例分别由 33.16%和 47.29%下降到 31.52%和 37.35%,近熟林和成熟林面积比例分别由 10.84%和 7.74%下降到 4.63%和 5.67%,但是过熟林面积比例则由 0.95%上升到 20.82%。

表 3 蔡家川林场不同生长阶段林分的碳储量、碳密度及其变化

Table 3 Carbon storage,carbon density and dynamic changes of forest stand different growth stages in Caijiachuan Tree Farm

年份 Year	生长阶段 Growth stage	面积/ (×10 ³ hm ²) Area	蓄积量/ (×10 ⁵ m ³) Volume	生物量/ (×10 ⁴ t) Biomass	碳储量/ (×10 ⁴ t) Carbon storage	碳密度/ (t·hm ⁻²) Carbon density
1986	过熟林 Over-mature forest	0.163	0.107	0.520	0.260	15.95
	成熟林 Mature forest	1.323	0.702	3.768	1.884	14.24
	近熟林 Near-mature forest	1.852	1.215	8.317	4.158	22.45
	中龄林 Middle-aged forest	8.079	4.379	41.200	20.600	25.50
	幼龄林 Young forest	5.665	2.429	27.720	13.860	24.47
	总计 Sum	17.082	8.832	81.525	40.762	20.52
1997	过熟林 Over-mature forest	3.584	1.459	6.970	3.485	9.73
	成熟林 Mature forest	0.976	0.436	2.503	1.251	12.82
	近熟林 Near-mature forest	0.796	0.592	4.562	2.281	28.66
	中龄林 Middle-aged forest	6.428	3.487	30.900	15.450	24.04
	幼龄林 Young forest	5.425	2.262	28.750	14.375	26.50
	总计 Sum	17.209	8.236	73.685	36.842	20.35

由表 3 还可以看出,蔡家川林场过熟林和幼龄林的碳储量均有增加,其中过熟林的碳储量增加最快,这主要是由其面积增长速度以及不同林种组成的相关关系引起的。同期处于不同生长阶段的林分中,幼龄林和中龄林的碳储量均较大,二者之和分别占 1986 和 1997 年森林总碳储量的 84.54%和 80.95%,而近熟林、成熟林、过熟林的碳储量之和占森林总碳储量的比例不足 20%。随着森林经营管理水平的不断提高,幼龄林不断成熟,其碳汇功能将进一步加强。该林场处于不同生长阶段的各林分,其碳密度也有不同幅度的变化。其中与 1986 年相比,1997 年幼龄林和近熟林的碳密度分别上升了 8.29%和 27.66%;但是中龄林及成熟林、过熟林的碳密度分别下降了 5.72%,9.97%和 39.04%。计

算 2 年不同生长阶段林分碳密度的平均值,其大小顺序为近熟林(25.56 t/hm²)、幼龄林(25.49 t/hm²)、中龄林(24.77 t/hm²)、成熟林(13.53 t/hm²)、过熟林(12.84 t/hm²)。

3.3 蔡家川林场与全国及西北五省(区)森林平均碳密度的比较

由于目前碳储量估算中存在着许多不确定因素^[27],所以本试验只对数据处理方法相同、地理区域相似的研究结果进行比较,所得结果见表 4 和表 5。

由表 4 可以看出,蔡家川林场森林平均碳密度为 17.7 t/hm²,仅相当于全国森林平均碳密度的 40.0%,分别相当于陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆森林平均碳密度的 39.4%,34.1%,33.7%,43.0%和

28.7%,可见蔡家川林场森林平均碳密度较低。

由表 5 可知,蔡家川林场大部分森林类型的碳密度低于全国水平,柏木林、桦木林、栎树林、杨树林、杂木林的森林碳密度分别只是全国森林平均碳密度的 50.1%,60.7%,62.0%,38.6%和 34.6%;但是,本区域中油松林的平均碳密度高出全国平均水平92.0%,其主要原因与油松为该地区的适生针叶树种有关^[28]。

表 4 蔡家川林场与全国及西北五省(区)森林平均碳密度的比较

Table 4 Comparison of average carbon density between Caijiachuan Tree Farm and nationwide and five northwest provinces (area)				
序号 No.	省(区)名称 Name of Province(area)	碳密度/(t·hm ⁻²) Carbon Density	比例/% Ratio	源文献 Reference
1	陕西 Shaanxi	44.9	39.4	[26]
2	甘肃 Gansu	51.9	34.1	[26]
3	青海 Qinghai	52.6	33.7	[26]
4	宁夏 Ningxia	41.2	43.0	[26]
5	新疆 Xinjiang	61.6	28.7	[26]
6	全国 Nation	44.2	40.0	[26]
7	蔡家川 Caijiachuan	17.7	100	

表 5 蔡家川林场与全国不同森林类型碳密度的比较

Table 5 Comparison of the carbon density of diffent forest types between Caijiachuan Tree Farm and nationwide				
序号 No.	森林类型 Stand type	全国平均碳密度/(t·hm ⁻²) Carbon density across China	研究区平均 碳密度/(t·hm ⁻²) Carbon density	比例/% Ratio
1	柏木 <i>Cypress</i>	22.032	11.03	50.1
2	桦木 <i>Betula</i>	34.640	21.05	60.7
3	栎树 <i>Quercus</i>	45.238	28.06	62.0
4	杨树 <i>Quercus</i>	26.021	10.04	38.6
5	油松 <i>P. tabulaeformis</i>	12.679	24.35	192.0
6	杂木 Nonmerchantable woods	34.280	11.86	34.6

4 结 论

通过对蔡家川林场 1986 和 1997 年森林地上部分碳储量和碳密度的统计分析,初步获得以下结论:

1)1986—1997 年,该林场的森林具有较好的碳汇能力,2 年平均森林总碳储量为 387 740 t,平均森林碳密度为 17.7 t/hm²。但这 2 年之间森林碳汇能力变化不显著,该林场 1997 年森林总碳储量比 1986 年减少 9.65%,森林平均碳密度增长 3.38%,绝对值变化均低于 10%。

2)不同森林类型所具有的碳汇能力不同。该林场 1986 和 1997 年各森林类型平均碳密度大小顺序为栎树林>油松林>桦木林>杂木林>柏木林>杨树林。因此,保护和经营管理好栎树林、油松林、桦木林,对增加该林场的森林碳汇功能具有重要意义。

3)处于不同生长阶段林分的碳汇能力存在差异。1986 和 1997 年不同生长阶段林分的平均碳密度大小顺序为近熟林>幼龄林>中龄林>成熟林>过熟林。因此,大力开展近熟林、中龄林和幼龄林的经营抚育,可以作为增加该林场碳汇能力的主要措施之一。

4)1986 和 1997 年,该林场森林的平均碳密度

低于同期全国及西北五省(区),但油松林的平均碳密度明显高于同期全国平均水平。因此,在该林场营造油松林对增加森林的碳汇功能具有重要贡献。

[参考文献]

[1] Alexeyev V,Birdsey R,Stakanov V,et al. Carbon in vegetation of Russian forests:Methods to estimate storage and geographical distribution [J]. Water Air Soil Poll,1995,82:271-282.

[2] Detwiler R P,Hall C S. Tropical forests and global carbon cycle [J]. Science,1988,239:42-47.

[3] Dixon R K,Brows S,Houghton R A. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. Science,1994,263:185-190.

[4] 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.

Liu G H,Fu B J,Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance [J]. Acta Ecol Sin,2000,20(5):733-740. (in Chinese)

[5] Giese L A B,Aust W M,Kolka R K,et al. Biomass and carbon pools of disturbed riparian forests [J]. For Ecol Manage,2003,180:493-508.

[6] 李意德,吴仲民,曾庆波. 尖峰岭热带山地雨林生态系统碳平衡的初步研究 [J]. 生态学报,1998,18(4):371-378.

Li Y D,Wu Z M,Zeng Q B. Carbon pool and carbon dioxide dynamics of tropical mountain rain forest ecosystem at Jianfengling Hainan Island [J]. Acta Ecol Sin,1998,18(4):371-378.

- (in Chinese)
- [7] 项文化,田大伦,闫文德. 森林生物量和生产力研究进展 [J]. 中南林业调查规划,2003,22(3):57-60.
Xiang W H, Tian D L, Yan W D. Review of researches on forest biomass and productivity [J]. Central South Forestry Inventory, 2003, 22(3): 57-60. (in Chinese)
- [8] 刘 华,雷瑞德. 我国森林生态系统碳储量和碳平衡的研究方法及进展 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 835-843.
Liu H, Lei R D. Research methods and advances of carbon storage and balance in forest ecosystems of China [J]. Acta Bot Boréal-Occident Sin, 2005, 25(4): 835-843. (in Chinese)
- [9] 方精云. 北半球中高纬度的森林碳库可能远小于目前的估算 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 635-638.
Fang J Y. Forest biomass carbon pool of middle and high latitudes in the north hemisphere is probably much smaller than present estimates [J]. Acta Phytoecol Sin, 2000, 24(5): 635-638. (in Chinese)
- [10] 杨清培,李鸣光,王伯苏. 粤西南亚热带森林演替过程中的生物量与净第一性生产力动态 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2136-2140.
Yang Q P, Li M G, Wang B S. Dynamics of biomass and net primary productivity in succession of south subtropical forests in south west Guangdong [J]. Chin J Appl Eco, 2003, 14(12): 2136-2140. (in Chinese)
- [11] 周玉荣,于振良,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.
Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types [J]. Acta Phytoecol Sin, 2000, 24(5): 518-522. (in Chinese)
- [12] 方精云,陈安平,赵淑清,等. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文 (Science, 2001, 291: 2320-2322) 的若干说明 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 243-249.
Fang J Y, Chen A P, Zhao S Q, et al. Estimating biomass carbon of China's forests: Supplementary notes on report published in science (291: 2320-2322) by Fang et al. (2001) [J]. Acta Phytocolorica Sinica, 2002, 26(2): 243-249. (in Chinese)
- [13] 杨 昆,管东生,周春华. 潭江流域森林碳储量及其动态变化 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1579-1582.
Yang K, Guan D S, Zhou C H. Forest biomass carbon storage and its dynamics in Tanjiang River basin [J]. Chin J Appl Ecol, 2006, 17(9): 1579-1582. (in Chinese)
- [14] 光增云. 河南省森林碳储量及动态变化研究 [J]. 林业资源管理, 2006(4): 56-60.
Guang Z Y. Study on changes in forest biomass carbon storage in Henan Province [J]. Forestry Resources Management, 2006(4): 56-60. (in Chinese)
- [15] 焦秀梅,项文化,田大伦. 湖南省森林植被的碳贮量及其地理分布规律 [J]. 中南林学院学报, 2005, 25(1): 4-8.
Jiao X M, Xiang W H, Tian D L. Carbon storage of forest vegetation and its geographical [J]. Journal of Central South Forestry University, 2005, 25(1): 4-8. (in Chinese)
- [16] 焦 燕,胡海清. 黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2248-2252.
Jiao Y, Hu H Q. Carbon storage and its dynamics of forest vegetations in Heilongjiang Province [J]. Chin J Appl Ecol, 2005, 16(12): 2248-2252. (in Chinese)
- [17] 赵海珍,王德艺,张景兰,等. 雾灵山自然保护区森林的碳汇功能评价 [J]. 河北农业大学学报, 2001, 24(4): 43-47.
Zhao H Z, Wang D Y, Zhang J L, et al. The carbon pooling ability of the forest in Wuling mountain natural reserve [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2001, 24(4): 43-47. (in Chinese)
- [18] 王 斌,杨校生. 4 种典型地带性森林生态系统碳含量与碳密度比较 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(4): 464-473.
Wang B, Yang X S. Comparison of carbon content and carbon density of four typical zonal forest ecosystems [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2010, 36(4): 464-473. (in Chinese)
- [19] 张全智,王传宽. 6 种温带森林碳密度与碳分配 [J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 622-631.
Zhang Q Z, Wang C K. Carbon density and distribution of six Chinese temperate forests [J]. Sci China: Life Sci, 2010, 40(7): 622-631. (in Chinese)
- [20] 徐 冰,郭兆迪,朴世龙,等. 2000—2050 年中国森林生物量碳库: 基于生物量密度与林龄关系的预测 [J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 587-594.
Xu B, Guo Z D, Piao S L, et al. Biomass carbon stocks in China's forests between 2000 and 2050: A prediction based on forest biomass-age relationships [J]. Sci China: Life Sci, 2010, 40(7): 587-594. (in Chinese)
- [21] 刘 华,雷瑞德,侯 琳,等. 秦岭火地塘林区主要森林类型的碳储量和碳密度 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 133-140.
Liu H, Lei R D, Hou L, et al. Research on carbon storage and carbon density of main forest types at Huoditang forestry region in the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2009, 37(3): 133-140.
- [22] 龚建福,王毅荣. 黄土高原气候响应全球变化的敏感区 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 6-11.
Gong J F, Wang Y R. Response of climate in Loess Plateau in China to global change [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(6): 6-11. (in Chinese)
- [23] 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(4): 497-508.
Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China [J]. Acta Ecol Sin, 1996, 16(4): 497-508. (in Chinese)
- [24] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Change in forest biomass carbon storage in China between 1949—1998 [J]. Science, 2001, 292: 2300-2323.