

# 滦河上游 3 种林分类型固碳释氧效益估算

郑 淼

(山西林业职业技术学院, 太原 030009)

**摘 要:**为探究滦河上游 3 种林分类型固碳释氧效益,以针叶林、阔叶林与针阔混交林作为研究对象,以 3 种林分类型的蓄积量、生物量、碳密度、氧气释放量 4 个指标为基础对 3 种林分类型固碳释氧的效益进行了评价分析。结果表明:(1) 3 种林分类型各龄期蓄积量与阔叶林在林分中占的比例成正比,阔叶林最大,针叶林最小,而针阔混交林居中;在中幼龄时期,针叶林的平均生物量都是最小的,而近熟与成熟时期阔叶林的平均生物量为最小,这与林分内林木本身的生长规律有关。(2) 中幼龄时期碳密度、氧气释放量最小的为针叶林,而近熟龄与成熟龄时期最小的为阔叶林,两者都与林木的生长速度呈正相关,生长越快,固碳释氧量越大,而林分的价值量与两者的变化规律一致。(3) 整个生命周期平均固碳释氧总价值排序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林,说明针阔混交林固碳释氧的总价值是最高的,而阔叶林固碳释氧总价值最低。

**关键词:**林分类型; 固碳释氧; 效益估算

中图分类号:S718.56

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0363-04

## Estimation and Analysis of Carbon Sequestration and Oxygen Release Efficiency of Three Forest Types in the Upper Reaches of Luanhe River

ZHENG Miao

(Shanxi Forestry Vocational and Technical College, Taiyuan 030009, China)

**Abstract:** In order to explore three forest types of carbon fixation and oxygen release efficiency, the upper reaches of the Luanhe River, Coniferous forest, broad-leaved forest and coniferous forest were taken as the research example. Based on the four indicators such as accumulation volume, biomass, carbon density and oxygen release of three types of stands, the benefits of carbon sequestration and oxygen release from three forest types were evaluated. The results showed that: (1) the accumulation of three forest types at different ages was proportional to the proportion of broad-leaved forest in the forests, the broad-leaved forest was the largest, the coniferous forest was the smallest, and the coniferous and broad-leaved forest was in the middle; the average biomass of the coniferous forest in the early period is the smallest, while the average biomass of the broad-leaved forest in the near-mature and mature period is the smallest, which is related to the growth pattern of the forest; (2) coniferous forests have the lowest carbon density and oxygen release during the middle and young ages, and broad-leaved forests have the lowest carbon density and oxygen release at the mature ages, both of which are positively correlated with the growth rate of trees, and the faster the growth, the greater the amount of carbon sequestration and oxygen release, and the value of the stand is consistent with the change of the two indicators; (3) the average value of average carbon sequestration and oxygen release in the whole life cycle decreased in the order: coniferous and broad-leaved mixed forest>coniferous forest>broad-leaved forest, indicating that the total value of carbon fixation and oxygen release in coniferous and broad-leaved mixed forest is the highest, while total value of carbon fixation and oxygen release is the lowest.

**Keywords:** forest type; carbon sequestration and oxygen release; benefit estimation

全球的温度变化是目前生态环境科学界研究的重点与前沿,而其中的重要的一项是大气中  $\text{CO}_2$  浓度的变化,研究发现大气中的  $\text{CO}_2$  比工业革命前高出 35%,而森林是整个生态系统的碳库,尤其是北半球的森林生态系统尤其重要,在全球碳平衡中发挥着重要的碳吸收汇功能,通过对森林生态系统固碳释氧能力进行研究,评估出森林在减缓大气  $\text{CO}_2$  含量上升所起到的作用,为气候变化提出有效的理论依据。近年来,国内有关森林生态系统碳密度与碳储量的研究也开始增加,国内学者对我国森林植被的碳密度和碳储量进行了研究。由于森林生态系统的复杂性,影响因子比较多,因此对森林的固碳释氧量一般都是采取大尺度的测定方法来进行估算,滦河上游是华北地区重要的生态功能区,对京津冀地区的防风固沙具有重要的作用,该地区多以森林经营、水土保持、森林空间的合理配置和林分结构等方面的研究为主,而针对林分的固碳释氧方面的研究报道较少<sup>[1-2]</sup>。

为探究滦河上游 3 种林分类型固碳释氧效益,为当地以固碳释氧为主的森林经营提供参考,因此本文以滦河上游的 3 种林分类型作为研究对象,以林分的生物量作为基础来对林分的固碳释氧功能进行研究,与此同时对 3 种林分类型的不同林龄(幼龄林、中龄林、近熟林和成熟林)固碳释氧的效益进行分析研究,旨在对该地区的典型林分固碳释氧量进行对比分析,从而为该地区的森林固碳释氧功能评价提供参考依据,以期为该地区森林健康经营提供理论依据和技术支撑<sup>[3-4]</sup>。

## 1 研究区概况

本次调查是在承德木兰围场进行,木兰围场坐落于河北省东北部,地处滦河上游,地理坐标为  $116^{\circ}32' - 118^{\circ}14'E, 41^{\circ}35' - 42^{\circ}40'N$ ,海拔为 820~1 850 m,木兰林管局林区无霜期 67~25 d,年平均气温  $-1.4 \sim 4.7^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温  $-42.9^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温  $38.9^{\circ}\text{C}$ 。林管局林区内土壤主要包括棕壤、褐土、风砂土、草甸土、沼泽土、灰色森林土、黑土 7 个土类,共 15 个亚类,66 个土属,143 个土种。该地区针叶树种主要为华北落叶松林(*Larix principis-rupprechtii*)、云杉(*Picea asperata*)、油松林(*Pinus tabulaeformis*)、阔叶树种主要为山杨林(*Populus davidiana*)、白桦林(*Betula platyphylla* Suk.)、榆树(*Ilhus punctata*)等<sup>[5-7]</sup>。

## 2 研究内容和方法

### 2.1 样地设置

本文设置的样地为滦河上游最常见的林分,选取

针叶林、阔叶林与针阔混交林 3 种具有代表性的林分类型,设置 9 块大样地为  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ ,4 个龄期的 3 种林分,对样地的一些基本情况进行了了解,主要有海拔、地形、地理位置、样地的坡位以及林分郁闭度等,在适当的位置设置样地的原点,然后辅助设备(罗盘仪、全站仪)划定样地边界,并用玻璃绳连接,逐次编号,最后将边界用铁丝网、水泥桩固定,其中郁闭度的测定是通过在样地内机械设置 200 个样点,在各样点位置上进行抬头垂直仰视,判断该样点是否被树冠覆盖,统计被覆盖的样点数,该点数与样点数的比值则是林分的郁闭度,最后定量分析不同类型林分固碳释氧功能,系统研究不同林型固碳释氧效益的高低,为试验区森林的健康经营提供一定的理论依据<sup>[8-10]</sup>。

### 2.2 试验方法

#### 2.2.1 固碳释氧服务功能物质质量

$$G_{\text{固碳}} = 1.63R_{\text{碳}} \cdot A \cdot B_{\text{年}} \quad (1)$$

$$G_{\text{释氧}} = 1.19A \cdot B_{\text{年}} \quad (2)$$

式中: $G_{\text{固碳}}$ 、 $G_{\text{释氧}}$  分别为林分年固碳、释氧物质质量( $\text{t/a}$ ); $A$  为林分面积( $\text{hm}^2$ ); $B_{\text{年}}$  为林分净生产力 $[\text{t}/(\text{a} \cdot \text{hm}^2)]$ ;  $R_{\text{碳}}$  为二氧化碳中碳元素含量。在光合作用下树木每形成 1 g 干物质,需固定 1.63 g  $\text{CO}_2$ ,释放 1.2 g  $\text{O}_2$ 。由此可计算释放氧气量<sup>[11]</sup>。

#### 2.2.2 固碳释氧服务功能价值量<sup>[12-13]</sup>

$$U_{\text{固碳}} = 1.63C_{\text{碳}} \cdot R_{\text{碳}} \cdot A \cdot B_{\text{年}} \quad (3)$$

$$U_{\text{释氧}} = 1.19C_{\text{氧}} \cdot A \cdot B_{\text{年}} \quad (4)$$

式中: $U_{\text{固碳}}$ 、 $U_{\text{释氧}}$  分别是林分年固碳、释氧价值量( $\text{元/a}$ ),  $C_{\text{碳}}$ 、 $C_{\text{氧}}$  分别为固碳、氧气价格。采纳欧洲国家温室气体排放税收制度,确定固碳价格,本文采用瑞丹的碳税率 150  $\text{\$/t}$ ,折算人民币的价格为 1 200  $\text{元/t}$ 。而氧气的价格则采用 2007 年卫生部公布的春季氧气平均价格 1 000  $\text{元/t}$ 。

生物量和蓄积量的关系方程:

$$B = a \cdot V + b \quad (5)$$

式中: $B$  为森林生物量( $\text{t}$ ); $V$  为森林蓄积量( $\text{m}^3$ ); $a$ 、 $b$  为参数。各树种生物量与蓄积量回归方程见表 1,不同林分类型林龄组划分见表 2。

表 1 不同林分类型生物量与蓄积量回归方程

林分类型	回归方程	$R$	$n$
落叶松	$B = 0.967V + 5.7598$	0.99	8
山杨	$B = 0.4754V + 30.6034$	0.929	10
白桦	$B = 0.9644V + 0.8485$	0.977	4

碳储量与生物量的关系方程:

$$C = B \cdot C_c \quad (6)$$

式中: $C$  为碳储量( $\text{t}$ ); $B$  为森林生物量( $\text{t}$ ); $C_c$  为含碳率,森林含碳率采用平均值 0.5。

3 结果与分析

3.1 3 种林分类型生物量分析

如图 1 所示,同一林分不同龄期的生长状况比较可以看出:针叶林蓄积量在中幼龄期增长速度比较慢,而近熟期增长速度最快;阔叶林蓄积量中幼龄期增长速度比较快,近熟期与成熟期增长速度较慢;针阔混交林蓄积量在中幼龄期增长速度相对较快,而近熟期与成熟期增长速度相对较慢。不同林分类型同一龄期生长状况的比较,处于幼龄期时不同林分类型蓄积量由大到小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林;中龄期不同林分类型蓄积量由大到小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林;近熟期不同林分类型蓄积量由大到小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林;成熟期不同林分的蓄积量由大到小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林。

树种 起源		龄组划分					龄级 期限
		幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	
落叶松	天然	≤40	41~80	81~100	101~140	>141	20
	人工	≤20	21~30	31~40	41~60	>61	10
山杨	天然	≤20	21~30	31~40	41~60	>61	10
	人工	≤10	11~16	16~20	21~30	>31	5
白桦	天然	≤30	31~50	51~60	61~80	>81	10
	人工	≤20	21~30	31~40	41~60	>61	10

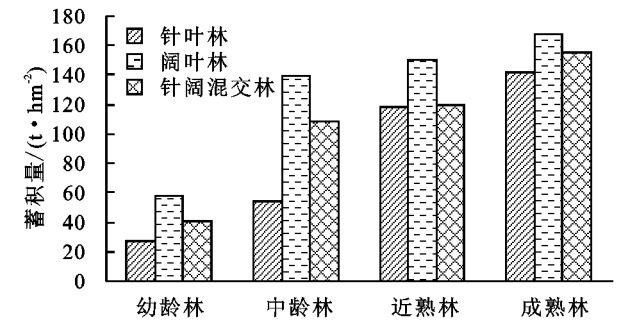


图 1 3 种林分类型不同龄期蓄积量估算

不同林分类型蓄积量呈现这种规律可能是因为阔叶林在中幼龄期生长速度比较快,近熟期开始速度减慢,而针叶树种则相反。阔叶林蓄积量无论在哪个龄期其蓄积量都要高于其他两种林分,但是针叶林与阔叶林的差距从近熟林开始迅速减小。根据生物量与蓄积量的关系测定出各林分类型不同龄期年均生长量,即年均生物量,从而对 3 种林分类型的固碳释氧经济价值进行分析(图 2)。

由图 2 可以看出,幼龄期 3 种林分类型平均生物量大小依次排序为:针阔混交林>阔叶林>针叶林,针叶林在该时期的生物量明显低于其他两种林分类型,是因为在生长初期针叶树种生长速度低于阔叶的

原因,而阔叶林低于针阔混交林是由于针阔混交林林内生长竞争比较激烈,有助于林分的生长;中龄期 3 种林分类型依次排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林,在中龄期阔叶林的生长速度达到了最高,针叶林增长速度开始加快;近熟林 3 种林分依次排序为:针叶林>针阔混交林>阔叶林,针叶林在近熟期树种生长速度达到最大,超过阔叶树种生长速度。成熟林 3 种林分类型依次排序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林,3 种林分类型在成熟期蓄积量积累达到了最大值,但是林分蓄积量生长速度都比较慢。

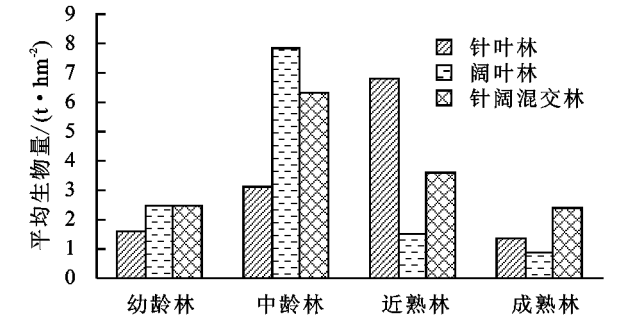


图 2 3 种林分不同龄期生物量估算

3.2 3 种林分类型不同龄级的固碳释氧量价值估算

3.2.1 不同龄期不同林分的碳密度估算 固碳物质质量与林木的生长速度呈正相关,生长越快,固碳物质质量增加越多。3 种林分类型固碳规律比较相似,从幼龄期到成熟林固碳的质量呈现出增加的趋势,中幼龄期针叶林固碳量低于其他两种林分类型,近熟龄到成熟龄期间针叶林的生长速度明显增快,固碳量高于阔叶林,与其他两种林分类型缩小了差距(图 3)。

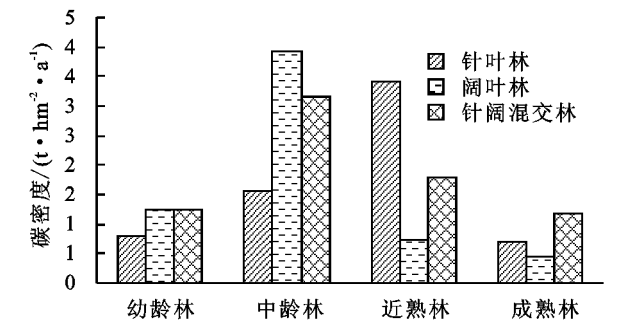


图 3 3 种林分类型不同龄期碳密度估算

从图 3 可以看出,幼龄期 3 种林分类型碳密度由大到小排序为:针阔混交林>阔叶林>针叶林;中龄期碳密度由大到小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林;3 种林分近熟林碳密度由大到小排序为:针叶林>针阔混交林>阔叶林;3 种林分类型成熟林碳密度由大到小排序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林。

3.2.2 不同龄期不同林分类型氧气释放量估算 释放氧气物质质量与林木的生长速度呈正相关,生长越快,释氧物质质量增加越多。3 种林分类型中阔叶林从幼龄林到中龄林期间,释氧物质质量呈增加趋势,此后

开始减少,到近熟期以后释氧物质量变化不大;针叶林从幼龄林到近熟林期间,释氧物质量呈增加趋势,此后开始减少;针阔混交林则是呈现先增加后减小的变化规律(图 4)。

从图 4 可以看出,幼龄期 3 种林分类型氧气释放量由大到小排序为:针阔混交林>阔叶林>针叶林;中龄期氧气释放量由大到小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林;3 种林分类型近熟林氧气释放量由大到小排序为:针叶林>针阔混交林>阔叶林;3 种林分类型成熟林氧气释放量由大到小排序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林。

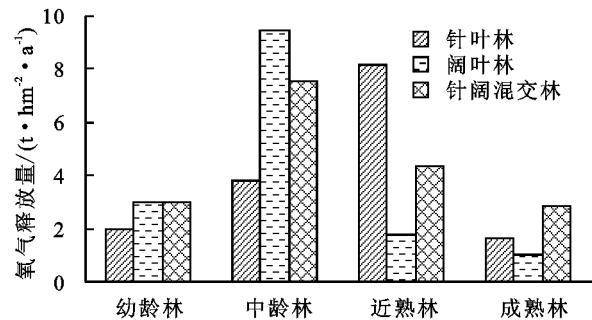


图 4 3 种林分类型不同龄期氧气释放量

3.3 固碳释氧经济价值估算

采纳欧洲国家温室气体排放税收制度,确定固碳价格,本文采用瑞丹的碳税率 150 \$/t,折算人民币的价格为 1 200 元/t。而氧气的价格则采用 2007 年卫生部公布的春季氧气平均价格 1 000 元/t。

如表 3 所示,针叶林固碳释氧总价值随龄林的增加呈单峰曲线,在近熟林时达到最大价值量,为 16 397 元/(hm<sup>2</sup>·a),成熟林期间固碳释氧总价值最低,仅为 3 321 元/(hm<sup>2</sup>·a),是近熟林时的 20%;阔叶林固碳释氧总价值随龄林的增加呈单峰曲线,在中龄林时达到最大价值量,为 18 948 元/(hm<sup>2</sup>·a),成熟林期间固碳释氧总价值最低,仅为 2 110 元/(hm<sup>2</sup>·a),是中龄林时的 11%;针阔混交林固碳释氧总价值随龄林的增加呈单峰曲线,在近熟林时达到最大价值量,为 15 188 元/(hm<sup>2</sup>·a),成熟林期间固碳释氧总价值最低,仅为 5 695 元/(hm<sup>2</sup>·a),是近熟林时的 37%。

幼龄林时固碳释氧平均总价值为 5 272 元/(hm<sup>2</sup>·a),不同林分类型价值量大小排序为:针阔混交林>阔叶林>针叶林;中龄林时平均总价值为 13 904 元/(hm<sup>2</sup>·a),不同林分类型价值量大小排序为:阔叶林>针阔混交林>针叶林;近熟林时平均总价值为 9 555 元/(hm<sup>2</sup>·a),不同林分类型价值量大小排序为:针叶林>针阔混交林>阔叶林;成熟林期平均总价值为 3 709 元/(hm<sup>2</sup>·a),不同林分类型价值量大小排序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林。整个生命周期平均固碳释氧总价值排

序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林,针阔混交林固碳释氧的总价值明显高于其他两种林分,而阔叶林固碳释氧总价值最低。

表 3 3 种林分类型不同龄级单位面积固碳释氧价值量  
元/(hm<sup>2</sup>·a)

林分类型	固碳释氧价值	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	均值
针叶林	固碳价值	1584	3080	6665	1350	3170
	释氧价值	2313	4497	9732	1971	4628
	总价值	3897	7577	16397	3321	7798
阔叶林	固碳价值	2412	7702	1462	858	3108
	释氧价值	3522	11246	2135	1253	4539
	总价值	5934	18948	3596	2110	7647
针阔混交林	固碳价值	2432	6174	3525	2315	3611
	释氧价值	3552	9014	5147	3380	5273
	总价值	5984	15188	8672	5695	8885
平均总价值		5272	13904	9555	3709	

4 结论

(1) 3 种林分类型各龄期蓄积量与阔叶林在林分中占的比例呈正比,阔叶林最大,针叶林最小,而针阔混交林居中;在中幼龄时期,针叶林的平均生物量都是最小的,而近熟与成熟时期阔叶林的平均生物量为最小,这与林分内林木本身的生长规律有关。

(2) 中幼龄时期碳密度与氧气释放量最小的为针叶林,而近熟龄与成熟龄时期最小的为阔叶林,两者都与林木的生长速度呈正相关,生长越快,固碳释氧量越大,而林分的价值量与两者的变化规律一致。

(3) 针叶林固碳释氧总价值最大的为近熟林,成熟林最小,仅为近熟林的 20%;阔叶林固碳释氧总价值最大为中龄林,成熟林最低,为中龄林时的 11%;针阔混交林固碳释氧总价值最大的为近熟林,成熟林最小仅近熟林时的 37%。

(4) 4 个林龄的林分固碳释氧平均总价值大小排序为:中龄林>近熟林>幼龄林>成熟林,整个生命周期平均固碳释氧总价值排序为:针阔混交林>针叶林>阔叶林,说明针阔混交林固碳释氧的总价值是最高的,而阔叶林固碳释氧总价值最低。

参考文献:

[1] 谷建才. 华北土石山区典型区域主要类型森林健康分析与评价[D]. 北京:北京林业大学,2006.

[2] 靳芳,鲁绍伟,余新晓,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 应用生态学报,2005,16(8):1531-1536.

[3] 靳芳,余新晓,鲁绍伟,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[M]. 北京:中国林业出版社,2007.

[4] 郭峰,何佳,陈丽华,等. 华北土石山区典型天然次生林生态系统健康评价研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):200-203.

- [9] 王钊,李登科. 2000—2015 年陕西植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1876-1884.
- [10] 冯益明,姚爱冬,姜丽娜. CASA 模型的改进及在干旱区生态系统 NPP 估算中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(8): 39-43.
- [11] 汪青春,秦宁生,唐红玉,等. 青海高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 234-239.
- [12] 王云霓,熊伟,王彦辉,等. 宁夏六盘山 3 种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4002-4010.
- [13] 张仁平. 新疆地区草地 NPP 和物候对气候变化的响应研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [14] 丁文广,魏银丽,牛贺文. 西北干旱区植被恢复的土壤养分效应[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2568-2573.
- [15] 穆少杰,周可新,齐杨,等. 内蒙古植被降水利用效率的时空格局及其驱动因素[J]. 植物生态学报, 2014, 38(1): 1-16.
- [16] 穆少杰,李建龙,周伟,等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3752-3764.
- [17] 朱文泉,陈云浩,徐丹,等. 陆地植被净初级生产力计算模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(3): 296-300.
- [18] 周伟,刚成诚,李建龙,等. 1982—2010 年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 15-30.
- [19] 刘海江,尹思阳,孙聪,等. 2000—2010 年锡林郭勒草原 NPP 时空变化及其气候响应[J]. 草业科学, 2015, 32(11): 1709-1720.
- [20] 阿多,赵文吉,宫兆宁,等. 1981—2013 华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 576-592.
- [21] 焦伟,陈亚宁,李稚. 西北干旱区植被净初级生产力的遥感估算及时空差异原因[J]. 生态学杂志, 2017, 36(1): 181-189.
- [22] 彭珂珊,王继军. 中国退耕还林(草)的发展历史阶段与对策探讨[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 106-109.
- [23] Iersel M W V. Carbon use efficiency depends on growth respiration, maintenance respiration, and relative growth rate: A case study with lettuce[J]. Plant Cell & Environment, 2010, 26(9): 1441-1449.
- [24] 王耀斌,赵永华,韩磊,等. 2000—2015 年秦巴山区植被净初级生产力时空变化及其趋动因子[J]. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2373-2381.
- [25] 仲晓春,陈雯,刘涛,等. 2001—2010 年中国植被 NPP 的时空变化及其与气候的关系[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(9): 16-22.
- [26] Guo R, Wang X K, Ouyang Z Y, et al. Spatial and temporal relationships between precipitation and ANPP of four types of grasslands in northern China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(5): 1024-1030.

(上接第 366 页)

- [5] 康春国. 承德避暑山庄木兰围场地理及植物分析[J]. 森林工程, 2003, 19(3): 7-8.
- [6] 赵建成,孔照普. 河北木兰围场植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [7] 张建华. 木兰围场国有林区历史沿革及其丰富的植物资源[J]. 河北林业科技, 2007(S7): 192-194.
- [8] 张佳音. 木兰林场北沟林场森林生态系统健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [9] 黄从德,张健,杨万勤. 四川省森林植被碳储量的空间分异特征[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5115-5121.
- [10] 李斌,方晰,项文化,等. 湖南省杉木林植被碳贮量、碳密度及碳吸存潜力[J]. 林业科学, 2013, 49(3): 25-32.
- [11] 胡海清,罗碧珍,魏书精,等. 小兴安岭 7 种典型林型林分生物量碳密度与固碳能力[J]. 植物生态学报, 2015, 39(2): 140-158.
- [12] 刘亚茜. 河北地区华北落叶松、杨树单木生物量、碳贮量及其分配规律[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2012.
- [13] 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.