

# 秦皇岛市北戴河区森林生态系统服务功能价值评估

马鹏嫣, 王智超, 李晴, 王姝怡, 张硕, 赵元杰

(河北师范大学 资源与环境科学学院, 河北省环境演变与生态建设实验室, 河北 石家庄 050024)

**摘要:** [目的] 评估城市森林生态系统服务功能价值, 为城市生态环境持续改善和经济发展提供科学依据和理论支持。[方法] 选用河北省秦皇岛市北戴河区森林生态系统作为研究对象, 采用水量平衡法、替代工程法、机会成本法、生产成本法、碳税法、市场价值法、认购意愿法等, 对森林生态系统提供的涵养水源、保育土壤、固碳释氧、净化大气、森林防护、游憩休闲等 6 种服务功能价值进行评估。[结果] 北戴河区森林生态系统服务功能价值达到 14.87 亿元/a。其中, 游憩休闲功能价值居首位, 达到 10.87 亿元/a, 约占总价值的 73.12%。各项森林生态系统服务功能价值表现为: 游憩休闲 > 净化大气 > 涵养水源 > 固碳释氧 > 保育土壤 > 森林防护。[结论] 森林生态系统在城市生态系统中发挥着重要作用, 尤其是旅游业的发展能够很好地拉动北戴河区经济的发展, 有助于合理利用与经营北戴河区森林资源, 最终实现北戴河区森林资源的可持续利用。

**关键词:** 秦皇岛市北戴河区; 森林生态系统; 价值评估

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)03-0286-07

**中图分类号:** S718.55

**文献参数:** 马鹏嫣, 王智超, 李晴, 等. 秦皇岛市北戴河区森林生态系统服务功能价值评估[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 286-292. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.046. Ma Pengyan, Wang Zhichao, Li Qing, et al. Evaluation of forest ecosystem services in Beidaihe district of Qihuangdao City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 286-292.

## Evaluation of Forest Ecosystem Services in Beidaihe District of Qihuangdao City

MA Pengyan, WANG Zhichao, LI Qing, WANG Shuyi, ZHANG Shuo, ZHAO Yuanjie

(College of Resources and Environmental Science, Hebei Normal University, Laboratory of Environmental Evolution and Ecological Construction in Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050024, China)

**Abstract:** [Objective] To evaluate the value of urban forest ecosystem service function in order to provide scientific basis and theoretical support for the continuous improvement of urban ecological environment and economic development. [Methods] Forest ecosystem of Beidaihe District of Qihuangdao City was chosen as the research object. Water balance, alternative engineering, opportunity cost, production cost, carbon tax, market value and subscription intention methods were adopted to evaluate the service function of forests ecosystem including soil and water conservation, carbon fixation and oxygen release, air purification, forest protection and recreation and leisure. [Results] The service function value of forest ecosystem in Beidaihe reached to 1.487 billion Yuan/a. Among them, function value of recreation and leisure ranked first, reached to 1.087 billion Yuan/a, accounted for 73.12% of the total value. The service function value of various forest ecosystem ranked as: leisure recreation > purification of atmosphere > water conservation > carbon fixation and oxygen release > soil conservation > forest protection. [Conclusion] Forest ecosystem plays an important role in urban ecosystems. In particular, the development of tourism can promote the development of economic development in Beidaihe District. To use and manage the forest resources rationally, the sustainable development of forest resources in Beidaihe District will be realized ultimately.

**Keywords:** Beidaihe District of Qihuangdao City; forest ecosystem; value assessment

收稿日期: 2017-11-09

修回日期: 2017-12-05

资助项目: 秦皇岛林业局, 河北省软科学研究计划项目“河北省生态环境安全评价体系完善与变化趋势研究”(14454208D)

第一作者: 马鹏嫣(1989—), 女(汉族), 河北省邢台市人, 硕士研究生, 研究方向为区域生态与环境变化研究。E-mail: 834625935@qq.com。

通讯作者: 赵元杰(1965—), 男(汉族), 河北省石家庄市人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事区域生态与环境变化研究。E-mail: ecoenvir@163.com。

森林作为陆地生态系统中重要的组成部分,对改善生态环境,维持生态平衡,保护人类生存和发展的空间起着重要作用。独特的地理环境孕育了北戴河宜人的气候,并且它以蓝天白云、碧海金沙、青松翠柏、红顶白墙为特色吸引着历代海内外的游客,旅游在社会经济中占据重要地位。因此,北戴河森林生态系统服务功能价值研究不仅具有普遍的现实意义,更有其独特的历史意义。

20世纪90年代以后,以 Costanza<sup>[1]</sup>为代表的国外一些学者,将全球生态系统服务功能分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务,并对不同的生态系统进行了价值测算。从2000年开始,中国森林生态系统服务功能价值评估研究逐渐成为生态学和经济学领域的一大热点,并取得了一定的研究成果<sup>[2]</sup>。王兵等<sup>[2]</sup>制定了《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008)统一了生态系统实物量评估公式及相应的价格参数,标志着中国在森林生态系统服务功能评估领域中形成了一个较为完整的评估体系。评估方法的统一能够更科学地评价森林生态系统服务功能价值,然而不同类型森林生态系统的服务功能价值有较大的区别<sup>[3-5]</sup>。但是,目前对于森林的分类较为宏观,对于森林生态系统服务功能价值评估具体到林种的研究较少。秦皇岛市北戴河区作为重要的旅游发展城区,森林林种复杂多样,生长阶段跨度较大。因此本文拟将北戴河区森林划分为乔木林、防护林、四旁树、散生木等,以及按照树木不同的生长阶段划分为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林。本文利用水量平衡法、替代工程法、机会成本法、碳税法、市场价值法等对北戴河区森林进行价值评估,分析不同林种、不同生长阶段树木的价值量,以期能更加真实地反映北戴河区森林生态系统服务功能价值,为城市生态环境持续改善和经济发展提供科学依据和理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

北戴河区位于河北省东北部,秦皇岛市西部,处于北纬 39°47′48″—39°53′17″,东经 119°24′08″—119°31′58″,陆地面积 111.64 km<sup>2</sup>,属于半湿润季风型大陆气候,由于受海洋影响较为明显,多风、湿度大、雨量适中、四季分明,年平均气温 8.8~11.3℃,年平均降水量 630 mm 左右。北戴河区境内分布着丰富的动植物资源。植被类型包括温带常绿针叶林、落叶阔叶混交林、灌丛植被、盐生草甸、水生植被和栽

培植被等<sup>[6]</sup>。野生陆地动物有 8 个种类 450 多种,其中最为丰富的是鸟类资源。海洋动物有 7 个种类 40 多种,其中对虾、梭子蟹最为著名;良好的生态环境,使北戴河湿地类成为鸟的天堂,鸟类共有 20 目 61 科 416 种。北戴河区也是国内外闻名的度假和旅游胜地。

### 1.2 数据来源

数据主要来源于 2015 年《秦皇岛市北戴河区国民经济和社会发展统计资料》、秦皇岛市 2015 年统计年鉴、北戴河区第二次土地利用现状调查数据、实地调研以及从文献中析出的一些相关数据。并以该数据为基础,对北戴河区森林生态系统进行服务价值评估。

### 1.3 研究方法

根据中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008),评估北戴河森林生态系统服务功能价值,共采用 6 个一级评价指标,主要包括森林生态系统的涵养水源、保育土壤、固碳释氧、净化大气、森林防护、游憩休闲等<sup>[7]</sup>。其中涵养水源从调节水量和净化水质两方面,采取水量平衡法、替代工程法进行评估;保育土壤从固定土壤、保持土壤肥力两方面,采取机会成本法和生产成本法进行评估;固碳释氧从森林固碳和森林释氧两方面,采取碳税法、市场价值法进行评估;净化大气主要从提供负离子、吸收氟化物、吸收碳氧化物、吸收二氧化硫、降低噪音、杀灭细菌、滞尘几个方面,采用生产成本法和费用替代法进行评估;森林防护从农田防护价值和农田固沙价值两方面,采取了市场价值法和认购意愿法进行评估;游憩休闲主要从旅游收入方面,采取了费用替代法进行评估。

为了计算北戴河区森林生态系统服务功能价值,根据已有林业调查数据和实地调查,统计了乔木林、防护林、四旁树、散生木等数据。其中,乔木林和防护林的面积主要是来源于林业局提供的具体数据,散生木和四旁树的面积主要是通过实测获得。四旁树主要是指村旁、宅旁、路旁、水旁等树木;散生木主要是指无林地中零星生长的树木或幼龄林中零星生长的过熟木。通过调查四旁树和散生木的数量及其生长情况,确定四旁树和散生木一般按照 4 300 株树木折合成 1 hm<sup>2</sup> 林地的算法,将其折合成面积,作为北戴河区森林生态系统服务功能价值的评估基础数据。通过计算,北戴河区植被总面积为 3 885 hm<sup>2</sup>。

1.3.1 涵养水源功能 涵养水源是森林生态系统的重要功能之一,具体表现在森林生态系统通过乔、灌、

草及枯枝落叶对大气降水进行截留、储存和净化等,同时对防洪抗涝也有重要作用。本次价值评估选择调节水水量和净化水质 2 个方面。

### (1) 调节水量。

$$D_{\text{涵}} = PA + A/A_{\text{总}} \times H_1 - EA - A/A_{\text{总}} \times H_2 \quad (1)$$

式中: $D_{\text{涵}}$ ——林分年涵养水源量( $\text{m}^3$ );  $P$ ——地区降水量;  $A$ ——林分面积( $\text{hm}^2$ );  $A_{\text{总}}$ ——北戴河区总面积( $\text{hm}^2$ );  $H_1$ ——流向林地的地表径流( $\text{mm/a}$ );  $E$ ——林分蒸散量( $\text{mm/a}$ );  $H_2$ ——流出林地的地表径流( $\text{mm/a}$ )。下同。

### (2) 净化水质。

$$U_{\text{水质}} = 10 \times K \times D_{\text{涵}} \quad (2)$$

式中: $U_{\text{水质}}$ ——森林年净化水质价值(元/a);  $K$ ——污水的净化费用(元/a)。

1.3.2 保育土壤功能 森林通过树冠、枯枝落叶层和强壮的根系有效保护土壤,减少雨水对土壤的直接冲刷,降低了地表径流对土壤的侵蚀。同时,森林植物每年有大量的凋落物和死亡根系,在水、土、光、温和微生物的作用下通过分解矿化,逐渐形成有机质、氮、磷、钾等营养物质,提高了土壤肥力,促进植物生长,因此,选择固定土壤和保持土壤肥力 2 个指标对北戴河森林保育土壤功能进行价值评估<sup>[8]</sup>。

### (1) 固定土壤。

$$G_{\text{固土}} = A_i(X_2 - X_1) \quad (3)$$

式中: $G_{\text{固土}}$ ——林分年固土量( $\text{t/a}$ );  $A_i$ ——林种面积( $\text{hm}^2$ );  $X_2, X_1$ ——无林地侵蚀模数、有林地侵蚀模数 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ 。下同。

$$U_{\text{固}} = A_i \times C_{\pm} (X_2 - X_1) / p \quad (4)$$

式中: $U_{\text{固}}$ ——森林年固定土壤价值(元/a);  $C_{\pm}$ ——挖取和运输单位体积土方所需费用(元/ $\text{m}^3$ );  $p$ ——林地土壤容重( $\text{t}/\text{m}^3$ )。

### (2) 保持土壤肥力。

$$U_{\text{肥}} = A(X_2 - X_1)(NC_1/R_1 + PC_2/R_2 + KC_3/R_3 + MC_4) \quad (5)$$

式中: $U_{\text{肥}}$ ——林分年保持土壤肥力价值(元/a);  $R_1, R_2, R_3$ ——磷酸二铵化肥含氮量、过磷酸钙化肥含磷量、氯化钾化肥含钾量(%);  $M$ ——土壤有机质含量(%);  $N, P, K$ ——土壤平均含氮、磷、钾量(%);  $C_1, C_2, C_3, C_4$ ——磷酸二铵化肥、过磷酸钙化肥、氯化钾化肥及有机质价格(元/t)<sup>[9]</sup>。

1.3.3 固碳释氧功能 固定二氧化碳、释放氧气也是森林的重要功能之一,维持着大气中碳、氧平衡。植被固碳功能是通过光合作用来实现,而土壤固碳则

是通过土壤中的微生物、动物和植物来实现。所以,固碳功能价值评估包含植被固碳和土壤固碳 2 个方面<sup>[10]</sup>。

### (1) 森林固碳。

$$U_{\text{碳}} = C_{\text{碳}}(G_1 + G_2) = AC_{\text{碳}}(1.63 R_{\text{碳}} B_{\text{年}} + F_{\text{土壤碳}}) \quad (6)$$

式中: $U_{\text{碳}}$ ——林分年固碳价值(元/a);  $C_{\text{碳}}$ ——固碳价格(元/t);  $G_1$ ——植被年固碳量( $\text{t/a}$ );  $G_2$ ——土壤年固碳量( $\text{t/a}$ );  $R_{\text{碳}}$ —— $\text{CO}_2$  中碳的含量,取 27.27%;  $B_{\text{年}}$ ——林分净生产力 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $F_{\text{土壤碳}}$ ——单位面积林分土壤年固碳量 $[\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ 。下同。

### (2) 森林释氧。

$$U_{\text{氧}} = G_{\text{氧}} \times 1.19 A \times B_{\text{年}} \quad (7)$$

式中: $U_{\text{氧}}$ ——林分年释氧价值(元/t);  $G_{\text{氧}}$ ——氧气价格(元/t)。下同。

1.3.4 净化大气功能 森林净化大气功能主要是指森林生态系统不仅能生产大量负离子,还能吸收、净化空气中的污染物,并且有滞尘和降低噪音的功能。

### (1) 提供负离子。

$$U_{\text{负离子}} = 5.256 \times 10^{15} \times A \times H \times K_{\text{负离子}} (Q_{\text{负离子}}) / L \quad (8)$$

式中: $U_{\text{负离子}}$ ——林分年提供负离子价值(元/t);  $H$ ——林分高度(m);  $K_{\text{负离子}}$ ——负离子生产费用(元/个);  $Q_{\text{负离子}}$ ——林分负离子浓度(个/ $\text{cm}^3$ );  $L$ ——负离子寿命(min)。下同。

(2) 吸收污染物。根据《森林生态系统服务功能评估规范》,选取吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物、滞尘等这 4 个指标来评估北戴河区森林的净化大气环境功能。其计算公式如下:

$$\begin{aligned} U_{\text{二氧化硫}} &= A \times K_{\text{二氧化硫}} Q_{\text{二氧化硫}} \\ U_{\text{氟化物}} &= A \times K_{\text{氟化物}} Q_{\text{氟化物}} \\ U_{\text{氮氧化物}} &= A \times K_{\text{氮氧化物}} Q_{\text{氮氧化物}} \\ U_{\text{滞尘}} &= A \times K_{\text{滞尘}} Q_{\text{滞尘}} \end{aligned} \quad (9)$$

式中: $U_{\text{二氧化硫}}, U_{\text{氟化物}}, U_{\text{氮氧化物}}, U_{\text{滞尘}}$ ——林分年吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物、滞尘的价值(元/a);  $Q_{\text{二氧化硫}}, Q_{\text{氟化物}}, Q_{\text{氮氧化物}}, Q_{\text{滞尘}}$ ——单位面积林分年吸收二氧化硫量、氟化物、氮氧化物、滞尘及重金属量 $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $K_{\text{二氧化硫}}, K_{\text{氟化物}}, K_{\text{氮氧化物}}, K_{\text{滞尘}}$ ——二氧化硫、氟化物、氮氧化物、滞尘治理费用(元/kg)。下同。

### (3) 降低噪音。

$$U_{\text{噪音}} \times U_{\text{噪音}} = A_{\text{噪音}} \times K_{\text{噪音}} \quad (10)$$

式中: $U_{\text{噪音}}$ ——林分年降低噪音价值(元/a);  $A_{\text{噪音}}$ ——林分面积折合为隔音墙的距离(km);  $K_{\text{噪音}}$ ——降低噪音费用(元/km)。下同。

(4) 杀灭细菌。相关研究发现,有 300 多种植物

能分泌出挥发性的杀菌物质;1 hm<sup>2</sup> 松柏林每天可分泌 30 kg 杀菌素;拥挤的商场内每 1 m<sup>3</sup> 空气中有细菌 400 万个,林荫大道上为 58 万个,绿化公园 1 000 个,而林区只有 55 个<sup>[11]</sup>。

目前,中国对森林的杀菌价值评估,通常采用林木蓄积量乘以造林成本的 20% 来计算<sup>[12-14]</sup>,本文也采取这种方法。

$$V_{\text{杀菌}} = Q_{\text{蓄积}} \times S \times F \times 20\% \quad (11)$$

式中: $V_{\text{杀菌}}$ ——杀菌价值(元/a); $Q_{\text{蓄积}}$ ——单位面积的植被蓄积量; $S$ ——森林总面积(hm<sup>2</sup>); $F$ ——北戴河区参考林木价格(元/m<sup>3</sup>)。下同。

1.3.5 森林防护功能 主要指对土壤表层的保护功能。植被根系能够固定土壤,改善土壤结构,降低土壤的裸露程度;树干和树冠部分能够增加地表粗糙程度,降低风速,阻截风沙。因此森林具有防风固沙和减少土壤侵蚀的功能<sup>[15]</sup>。

本次对森林防护功能的评估主要从森林的农田防护价值和防风固沙价值两个方面进行。

(1) 农田防护。

$$U_{\text{农田}} = A \times Q_{\text{农田}} \times C_{\text{防护}} \quad (12)$$

式中: $U_{\text{农田}}$ ——实测林分农田防护功能的价值量(元/a); $Q_{\text{农田}}$ ——由于农田防护林和防风固沙林存在而增加的单位面积农作物、牧草年产量[kg/(hm<sup>2</sup>·a)]。

(2) 防风固沙。国家为了生态环境安全,在生态认购时参与市场机制。本文采用生态认购法计算防风固沙功能。

$$U_{\text{固沙}} = A \times K_2 \quad (13)$$

式中: $U_{\text{固沙}}$ ——林分防风固沙价值(元/a); $K_2$ ——防风固沙生态认购价格。

1.3.6 游憩休闲功能 森林生态系统为人类提供旅游和休憩的场所,使人们在旅游休闲的同时放松心情,有益于身心健康。本文采用旅行费用法并结合前人研究成果北戴河区对森林游憩休闲功能价值进行评价<sup>[22]</sup>。

$$U_{\text{游}} = A \times P_1 \times P_2 \quad (14)$$

式中: $U_{\text{游}}$ ——林分游憩休闲功能价值(元/a); $A$ ——社会旅游总收入(元/a); $P_1$ ——评估区旅游收入占总收入的比例(%); $P_2$ ——评估区森林游憩休闲收入占评估区旅游收入的比例(%).

## 2 结果与分析

### 2.1 涵养水源价值

2015 年北戴河区降水量 620 mm,阔叶林、针阔林和针叶林蒸散量根据华北地区年平均蒸散量进行估算(表 1),分别为 537.00,457.95,600.00 mm/a<sup>[16]</sup>,林分调节水量价值取值 4.48 元/m<sup>3</sup><sup>[17]</sup>,污水的净化费用为 0.81 元/m<sup>3</sup><sup>[18]</sup>。

表 1 涵养水源功能评估数据汇总

项目	乔木林			防护林	四旁树		散生木		合计
	阔叶林	针阔叶	针叶林		阔叶	针叶	阔叶	针叶	
林分面积/hm <sup>2</sup>	1 501.00	4.00	409.00	74.00	811.00	810.00	190.00	82.00	3 885.00
年降水量/(mm·a <sup>-1</sup> )	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	620.00	—
年蒸散量/(mm·a <sup>-1</sup> )	537.00	457.95	600.00	537.00	537.00	600.00	537.00	600.00	—
年涵养水源量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	1 005.67	58.40	163.60	522.60	543.37	324.00	127.30	32.80	2 777.74
林分调节水量价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	4 505.40	261.63	732.93	2 341.25	2 434.30	1 451.52	570.30	146.94	12 444.28
林分净化水质价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	814.59	47.30	132.52	423.31	440.13	262.44	103.11	26.57	2 249.97
涵养水源总价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	5 319.99	308.94	865.44	2 764.55	2 874.43	1 713.96	673.42	173.51	14 694.25

从表 1 可得知,北戴河区森林生态系统调节水量总价值为 12 444.28 万元/a,净化水质总价值为 2 249.97 万元/a,单位面积平均涵养水源价值为 3.78 万元/a,涵养水源总价值为 14 694.25 万元/a。

### 2.2 保育土壤价值

2.2.1 固定土壤价值 本次评估中,林地侵蚀模数分别是:阔叶林为 336.43 t/(hm<sup>2</sup>·a),针阔林为 545.78 t/(hm<sup>2</sup>·a),针叶林为 941.70 t/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[19]</sup>。林地土壤容重为 1.3 t/m<sup>3</sup><sup>[20]</sup>。计算得出森林固土量

为 2.09×10<sup>6</sup> t/a,固土价值为 241.70 万元/a(表 2)。

2.2.2 保持土壤肥力价值 本次评估中,土壤采用褐土的平均肥力水平计算,其林地土壤含氮量、含磷量、含钾量分别为 0.08%,0.01%,0.1%,土壤有机质含量为 2%,计算得出森林保肥价值为 3 704.40 万元/a(表 2)。

2.2.3 保育土壤总价值 森林年保持土壤总价值为保持土壤肥力价值和固定土壤价值之和,计算森林保持土壤总价值为 3 946.10 万元/a(表 2)。

表 2 北戴河区森林各林分增加的保育土壤总价值

项目	乔木林			防护林	四旁树		散生木		合计
	阔叶林	针阔林	针叶林		阔叶	针叶	阔叶	针叶	
林分面积/hm <sup>2</sup>	1 501.00	4.00	409.00	74.00	811.00	810.00	190.00	82.00	3 885.00
林分年固土量/(10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup> )	50.43	0.25	38.35	2.67	27.32	76.18	6.44	7.74	209.38
林分年固土价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	58.27	0.32	44.08	3.23	31.50	88.22	7.18	8.90	241.70
林分年保持氮量/(t·a <sup>-1</sup> )	40.40	0.20	30.70	2.10	21.80	61.00	5.10	6.21	167.51
林分年保持磷量/(t·a <sup>-1</sup> )	5.10	0.00	3.80	0.30	2.70	7.61	0.62	0.81	20.94
林分年保持钾量/(t·a <sup>-1</sup> )	50.48	0.22	38.40	2.62	27.30	76.22	6.43	7.71	209.38
林分年保持有机质量/(10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup> )	1.10	0.00	0.73	0.10	0.45	1.33	0.13	0.28	4.12
林分年保 N 价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	95.20	0.40	72.40	0.50	5.20	14.40	1.20	1.53	190.73
林分年保 P 价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	11.10	0.10	8.41	0.61	6.00	16.71	1.40	1.70	46.03
林分年保 K 价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	28.30	0.10	21.50	1.50	15.30	42.70	3.60	4.28	117.26
林分年保有机质价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	808.01	3.51	614.41	42.01	436.71	1 219.81	102.30	123.38	3 350.14
林分年保肥总价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	942.60	4.10	716.70	44.60	463.20	1 293.70	108.50	131.00	3 704.40
林分年保育土壤总价值/(10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	1 000.87	4.42	760.78	47.83	494.70	1 381.92	115.68	139.90	3 946.10

## 2.3 固碳释氧价值

2.3.1 森林固碳价值 本次评估,固碳价格取 48.18 元/t(数据来源于全球主要碳交易市场碳汇价格);林分净生产力取值 5.09~13.93 t/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[20]</sup>;单位面积林分土壤年固碳量,取值 22.5~30 t/(hm<sup>2</sup>·a),根据树木生长的不同时期其含量不同。计算得出固

碳总价值为 297.89 万元/a(表 3)。

2.3.2 森林释氧价值 氧气价格取值 1 108 元/t,来源于中华人民共和国卫生部网站;林分面积和林分净生产力,计算得出释氧总价值为 4.78×10<sup>7</sup> 元/a(表 3)。

2.3.3 固碳释氧总价值 经计算,北戴河区的森林固碳释氧总价值为 5.08×10<sup>7</sup> 元/a。

表 3 固碳释氧功能评估数据汇总

项目	林分面积/ hm <sup>2</sup>	林分净生产力/ (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	单位面积林分 土壤年固碳量/ (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	植被土壤 年固碳量/ (t·a <sup>-1</sup> )	植被和土壤 年固碳价值/ (10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	单位面积林分 年释氧量/ (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	林分年 释氧量/ (t·a <sup>-1</sup> )	林分年释 氧价值/ (10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	林分年固碳 释氧总价值/ (10 <sup>4</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	
针叶林	幼龄林	8.00	5.09	22.50	198.10	0.48	6.06	48.46	5.37	5.85
	中龄林	46.00	8.04	22.50	1 199.33	2.91	9.56	439.93	48.74	51.65
	近熟林	84.00	10.98	22.50	2 300.10	5.58	13.07	1 097.89	121.65	127.22
	成熟林	159.00	13.93	22.50	4 562.01	11.06	16.58	2 635.70	292.04	303.09
	过熟林	112.00	5.09	22.50	2 773.40	6.72	6.06	678.40	75.17	81.89
针阔叶	幼龄林	0.00	5.09	26.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	中龄林	0.00	8.04	26.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	近熟林	1.00	10.98	26.25	31.13	0.08	13.07	13.07	1.45	1.52
	成熟林	2.00	13.93	26.25	64.88	0.16	16.58	33.15	3.67	3.83
	过熟林	1.00	5.09	26.25	28.51	0.07	6.06	6.06	0.67	0.74
阔叶林	幼龄林	28.00	5.09	30.00	903.35	2.19	6.06	169.60	18.80	20.98
	中龄林	170.00	8.04	30.00	5 707.29	13.83	9.56	1 625.82	180.14	193.98
	近熟林	310.00	10.98	30.00	10 813.45	26.21	13.07	4 051.75	448.93	475.15
	成熟林	580.00	13.93	30.00	20 991.30	50.88	16.58	9 614.49	1 065.29	1 116.17
	过熟林	413.00	5.09	30.00	13 324.42	32.30	6.06	2 501.58	277.18	309.47
防护林	阔叶林	78.00	8.63	30.00	2 639.21	6.40	10.27	801.04	88.75	95.15
四旁树	针叶林	810.00	8.63	22.50	21 342.73	51.73	10.27	8 322.56	922.14	973.87
	阔叶林	811.00	8.63	30.00	27 420.73	66.47	10.27	8 322.56	922.14	988.61
散生木	针叶林	82.00	8.63	22.50	5 015.86	5.21	10.27	1 955.93	216.72	228.88
	阔叶林	190.00	8.63	30.00	2 761.83	15.62	10.27	838.25	92.88	99.57
合计	3 885.00	—	—	—	297.89	189.72	43 156.24	4 781.73	5 077.62	

## 2.4 净化大气价值

2.4.1 年提供负离子价值 通过网络调查,北戴河区林地平均值负氧离子浓度取值为  $7\ 000$  个/ $\text{cm}^3$ ;根据实地调查数据,林分高度取值为  $6.5$  m;负离子寿命取值为  $10$  min;负离子生产费用取值为  $9.16$  元/ $10^{18}$  个<sup>[21]</sup>。通过计算得出提供负离子价值为  $1.29 \times 10^6$  元/a(表4)。

2.4.2 吸收污染物价值 二氧化硫、氟化物和氮氧化物是大气污染物的主要物质,选取森林吸收二氧化硫、氟化物和氮氧化物3个指标核算森林吸收污染物的能力。

本次评估中,单位面积林分吸收二氧化硫量取值范围为:针叶林  $215.60$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),针阔林  $152.13$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),阔叶林  $88.65$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。二氧化硫的治理费用取值为  $1.55$  元/ $\text{m}^3$ <sup>[21]</sup>,计算得出吸收二氧化硫的价值为  $7.90 \times 10^5$  元/a。

单位面积林分吸收氟化物量,其中,针叶林取值为  $0.50$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),针阔林取值为  $2.58$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),阔叶林取值为  $4.65$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );氟化物的治理费用取值为  $0.89$  元/kg<sup>[21]</sup>,计算得出吸收氟化物的价值为  $1.13 \times 10^4$  元/a。

单位面积林分吸收氮氧化物量,针叶林、针阔林、阔叶林均取值为  $6.00$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );氮氧化物的治理费用取值为  $0.81$  元/kg<sup>[21]</sup>,计算出吸收氮氧化物的价值为  $1.89 \times 10^4$  元/a。

单位面积林分年滞尘量,针叶林取值为  $33.20$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),针阔混交林取值为  $21.66$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),阔叶林取值为  $10.11$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );降尘清理费用取值为  $0.19$  元/kg<sup>[21]</sup>,计算得出滞尘的价值为  $1.32 \times 10^4$  元/a。

2.4.3 降低噪音价值 按一般经验,40 m宽的林带可减弱噪音  $10 \sim 15$  dB,隔音墙平均隔声量  $36$  dB,单价采用“安平县德仁声屏制造有限公司”高  $2.5$  m公路网栏、每平方价格  $170$  元/ $\text{m}^2$  计算,每米隔音墙的价格为  $425$  元/ $\text{m}^2$ ,每千米隔音墙的价格为  $4.25 \times 10^5$  元/ $\text{km}^2$ 。隔音墙的隔音效果相当于  $0.12$   $\text{km}^2$  的林带面积。计算得出降低噪音的价值为  $1.38 \times 10^8$  元/a。

2.4.4 杀灭细菌价值 目前,中国对森林的杀菌价值评估,通常采用林木的蓄积量乘以活立木林木平均价格的  $10\%$  来计算<sup>[13]</sup>。根据北戴河区森林活立木调查数据,北戴河区活立木蓄积量为  $376\ 023$   $\text{m}^3$ ,林木多年平均价格为  $835$  元/ $\text{m}^3$ 。计算结果为:北戴河区森林2015年杀菌价值量为  $3.14 \times 10^7$  元/a。

2.4.5 净化大气总价值 经过计算,在面积为  $3\ 884.88$   $\text{hm}^2$  的林地上,北戴河区的森林净化大气功

能总价值可以达  $1.71 \times 10^8$  元/a(表4)。其中,林分年提供负离子数为  $9.29 \times 10^{22}$  个/a,创造价值为  $1.29 \times 10^6$  元/a;林分年吸收二氧化硫量  $5.10 \times 10^5$  kg/a,创造价值为  $7.90 \times 10^5$  元/a;林分年吸收氟化物量为  $1.27 \times 10^4$  kg/a,创造价值为  $1.13 \times 10^4$  元/a;林分年吸收氮氧化物量  $2.33 \times 10^4$  kg/a,创造的价值为  $1.89 \times 10^4$  元/a;林分年滞尘量为  $6.94 \times 10^4$  kg/a,创造的价值为  $1.32 \times 10^4$  元/a;林分年降低噪音价值为  $1.38 \times 10^8$  元/a;林分年灭菌价值为  $3.14 \times 10^7$  元/a。

## 2.5 森林防护价值

在本次评估中,由于农田防护林、防风固沙林存在而增加的单位面积农作物、牧草年产量,取  $600$  kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )<sup>[21]</sup>;农作物、牧草价格,取  $2.0$  元/kg。计算得出北戴河区森林的农田防护功能价值为  $4.66 \times 10^6$  元/a。

防风固沙功能价值采用生态认购价格,即数值为  $6\ 593$  元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )<sup>[21]</sup>,计算得出北戴河区森林的防风固沙功能价值为  $2.56 \times 10^7$  元/a。北戴河区的森林防护功能价值为农田防护功能价值与防风固沙功能价值的和,即  $3.03 \times 10^7$  元/a(表4)。

## 2.6 游憩休闲价值

参照秦皇岛市2015年旅游社会总收入  $3.62 \times 10^{10}$  元。根据数据统计分析,约  $60\%$  为北戴河区所提供,其中  $5\%$  为森林游憩休闲价值<sup>[22]</sup>,经计算为  $1.09 \times 10^9$  元/a。

## 2.7 北戴河区森林生态系统服务功能总价值

通过对北戴河区森林生态系统的几种主导服务功能的价值评估(表4),2015年北戴河区森林生态系统服务功能总价值为  $1.53 \times 10^9$  元/a。

表4 2015年度北戴河森林生态服务价值

I级指标	服务价值/ ( $10^4$ 元 $\cdot$ a $^{-1}$ )	II级指标	服务价值/ ( $10^4$ 元 $\cdot$ a $^{-1}$ )
涵养水源	14 694.25	调节水量	12 444.28
		净化水质	2 249.97
保育土壤	3 946.10	固定土壤	241.70
		保肥土壤	3 704.40
固碳释氧	5 079.62	固碳	297.89
		释氧	4 781.73
净化大气	17 711.53	提供负离子	129.39
		吸收氟化物	1.13
		吸收氮氧化物	1.89
		吸收二氧化硫	79.06
		滞尘	1.32
		降低噪音	13 758.94
森林防护	3 027.49	杀灭细菌	3 739.80
		森林防护	3 027.49
游憩休闲	108 720.00	游憩休闲	108 720.00

注: I, II级指标服务价值合计为  $1.53 \times 10^9$  元/a。

### 3 结论

北戴河区森林生态系统服务价值评估研究是进行绿色 GDP 核算、生态补偿机制制定及生态城市建设的重要依据。通过研究发现,北戴河森林生态系统水源涵养、保育土壤、固碳释氧、净化大气、森林防护、游憩休闲等功能的总服务价值为  $1.53 \times 10^9$  元/a。北戴河区陆地总面积为  $111.64 \text{ km}^2$ , 平均每  $1 \text{ km}^2$  服务价值为  $1.37 \times 10^7$  元/a, 远远大于全国森林生态系统单位面积服务价值  $3.19 \times 10^5$  元/a<sup>[2]</sup>。

北戴河森林价值生态服务功能总量十分可观。从所评价的六种森林生态服务价值构成上,按照价值量的大小,依次为:游憩休闲(70.97%)>净化大气(11.56%)>涵养水源(9.59%)>固碳释氧(3.32%)>保育土壤(2.58%)>森林防护(1.98%)。赵忠宝等<sup>[23]</sup>的《秦皇岛市森林生态系统服务功能评价研究》一文中提到秦皇岛的森林生态系统各项服务价值顺序:涵养水源>固碳释氧>保育土壤>保护生物多样性>净化大气>积累营养物质>森林游憩,森林的游憩价值最低,而在本次研究中北戴河的森林游憩价值最高。可见,北戴河旅游业的发展在秦皇岛市的旅游中起带头作用,旅游业的发展能很好地拉动北戴河区经济的发展,同时也应充分考虑到北戴河森林生态系统的其他各项服务功能价值,合理利用与经营北戴河区森林资源,最终实现北戴河区森林资源的可持续利用。

本文依据中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)进行价值评估,并充分考虑到北戴河区森林林种复杂多样和生长阶段的差异性,将不同类型的林木进行分类评估,然后汇总,使其更真实地反映森林生态系统的服务价值。需要说明的是由于技术水平和资料等的限制,在进行森林林种调查时,采取了典型区域样点调查法,并未进行全面调查。因此,北戴河区森林生态系统服务功能价值是否准确,有待于进一步研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] Costanza R. The value of the world's ecosystem and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 235-260.
- [2] 王兵,任晓旭,胡文. 中国森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 145-153.
- [3] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. Ecological Economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [4] Björklund J, Limburg K E, Torbjörn R. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: An example from Sweden[J]. Ecological Economics, 1999, 29(2): 269-291.
- [5] Holmlund C M, Hammer M. Ecosystem services generated by fish populations[J]. Ecological Economics, 1999, 29(2): 253-268.
- [6] 刘小丹,赵忠宝,李克国. 河北北戴河区农田生态系统服务功能价值测算研究[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4): 390-396.
- [7] 石瑾,张培栋. 甘肃子午岭森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. 林业经济, 2007, 29(2): 69-71.
- [8] 王雪军,付晓. 辽宁省森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 林业资源管理, 2007, 3(4): 79-83.
- [9] 毕小刚,段淑怀,李永贵. 北京山区土壤流失方程探讨[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 6-13.
- [10] 缪建群,孙松,王志强,黄国勤. 江西高天岩自然保护区生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6422-6430.
- [11] 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[M]. 北京:中国林业出版社, 2007.
- [12] 肖建武,康文星,尹少华. 城市森林净化环境功能及经济价值评估:以“国家森林城市”长沙市为例[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(6): 71-75.
- [13] 尤建林. 天目山国家级自然保护区森林游憩价值评估方法研究[D]. 杭州:浙江林学院, 2009.
- [14] 王伯民,彭芳检,欧阳翠凤,等. 江西省武功山袁河流域森林净化环境价值评估[J]. 华东森林经理, 2015(2): 36-39.
- [15] 冯继广,丁陆彬,王景升,等. 基于案例的中国森林生态系统服务功能评价[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1375-1382.
- [16] 黄辉,孟平,张劲松,等. 华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素[J]. 生态学报, 2011, 31(13): 3569-3580.
- [17] 中国森林资源核算研究项目组. 生态文明制度构建中的中国森林资源核算研究[M]. 北京:中国林业出版社, 2014.
- [18] 王顺利,刘贤德,王建宏,等. 甘肃省森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 139-143.
- [19] 胡欣. 森林生态服务功能价值评价研究[D]. 福州:福建农林大学, 2014.
- [20] 吴腾飞,邓湘雯,黄文科,等. 南县森林生态系统服务功能价值评估[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(10): 109-115.
- [21] 北戴河区统计局. 秦皇岛市北戴河区国民经济和社会发展统计资料[R]. 北戴河:北戴河林业局, 2014.
- [22] 周亚东,薛杨,李广翘,等. 海南生态公益林生态系统服务功能价值评估报[J]. 热带林业, 2011, 39(2): 31-37.
- [23] 赵忠宝,李克国,曾广娟,等. 秦皇岛市森林生态系统服务功能评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 31-36.