

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 7 期 2011 年 4 月 (半月刊)

目次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘琳,赵晖,清华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温璐,董世魁,朱磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董丹,倪健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡剑,姜东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张彪,金鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王兵,魏江生,胡文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁秀,马克明,王德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘杰,王涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马晨,周顺桂,庄莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王惠,刘研萍,陶莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白杨,欧阳志云,郑华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵文,王雅倩,魏杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙耀,赵从明,等 (2046)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

海河流域森林生态系统服务功能评估

白 杨, 欧阳志云*, 郑 华, 徐卫华, 江 波, 方 瑜

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:森林生态系统在流域中发挥着极其重要的生态作用,为流域发展提供着巨大的服务功能。根据生态系统服务功能的内涵,建立了流域森林生态系统服务功能评价指标体系,利用市场价值法、影子工程法和生产成本法等,定量评价了海河流域森林生态系统服务功能的经济价值。结果表明:海河流域森林生态系统总价值 2349.4 亿元,其中直接价值 358.7 亿元,间接价值 1990.7 亿元。从不同的服务功能类型来看,其价值量大小依次为:涵养水源>固碳释氧>环境净化>提供产品>土壤保持>营养元素循环;从不同的森林类型来看,其价值量大小依次为:松柏类>灌木>栎类>桦木类>混交林>杨树类>松杉类。但是从各种森林类型单位面积价值量来看,大小依次是:松杉类>松柏类>桦木类>混交林>栎类>杨树类>灌木。从研究结果来看,海河流域森林生态系统服务功能价值巨大,该结果有利于加强人们对森林生态系统的认识,可以为流域生态系统管理、生态保护和生态补偿提供依据。

关键词:海河流域;森林生态系统;服务功能;价值

Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China

BAI Yang, OUYANG Zhiyun*, ZHENG Hua, XU Weihua, JIANG Bo, FANG Yu

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Rapid human population growth and urbanization have led to the loss of many ecosystem services. However to effectively manage ecosystems so they can provide enough food, fiber, fuel and other services for humanity is a great challenge. One of the most important terrestrial ecosystems is forest, which plays an important role in watershed management. Forests provide important services such as timber, nutrient cycling and soil conservation. To increase our understanding of how to balance economic development with environmental conservation, we used Haihe river basin as a case study to evaluate forest ecosystem services. The Haihe river basin, located in Northern China, covers an area of $3.2 \times 10^5 \text{ km}^2$. Haihe river basin is currently confronting many environmental problems making the protection of ecosystem services a high priority for sustainable development across the region. Haihe river basin possesses many environmental challenges such as water scarcity, water pollution and desertification that are exacerbated by rapid economic development and urbanization. The majority of primary forests and secondary forests have been destroyed for timber production despite reforestation effects resulting in the reduction of forest ecosystem services. An index system for forest ecosystem evaluation was established and the economic value of the forest ecosystem services were evaluated using a methodology that included market valuation, shadow price and opportunity cost.

The results showed that the total value of Haihe river basin's forest ecosystems were 234.9 billion RMB, of which the direct value accounted for 35.9 billion RMB and the indirect value was 199.1 billion RMB. Water conservation, carbon sequestration and oxygen release, environmental purification account for 37.63%, 21.88% and 19.57% of the total value. These three services were the main ecosystem services in the watershed. Based on our results, the services could be arranged from the maximum to the minimum value as: water conservation (88.4 billion RMB), carbon sequestration and

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2006CB403402)

收稿日期:2010-03-04; 修订日期:2010-08-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

oxygen release (51.41 billion RMB), environmental purification (45.98 billion RMB), product offers (35.87 billion RMB), soil conservation (8.21 billion RMB) and nutrient cycling (5.08 billion RMB). Based on forest types, the value could be arranged from the maximum to the minimum as: conifer, shrub, robur, birch, mixed forest, polar and larch. Shrub, conifer and robur are the main forest types in the watershed, accounting for 47.60%, 26.00% and 15.29% of the total area. Shrub provided services that value to 67.32 billion, conifer to 90.59 billion and robur to 42.08 billion RMB, which account for 28.65%, 38.56%, and 17.91% of the total value. Shrub occupied the greatest area but did not provide the most services. However, larch had a small area (4.31%), yet had the greatest value per unit area (53.9 thousand RMB per hectare). When considering value per unit area, coniferous forest provided more services than broad-leaved forest. The research results show that the forest ecosystem provide an immense value to the Haihe river basin. This study highlights the importance of forest ecosystems and could help facilitate the protection as well as the management of forest ecosystems in Haihe river basin.

Key Words: Haihe river basin; forest ecosystem; service; value

生态系统服务功能即人类从生态系统中获得的效益^[1]。森林生态系统服务功能是指森林生态系统及其生态过程为人类提供的自然环境条件与效用^[2]。森林作为地球上最重要的陆地生态系统类型之一,为人类的生产和生活提供各种产品和服务,包括木材、药材、营养循环、土壤保持、生物多样性保护和水供给等。长期以来,由于人们对森林资源的重要性认识不够,对森林资源采取了大量掠夺式的开采和粗放型的管理方式,导致了森林面积逐渐减少,森林质量随之下下降,森林生态系统提供的各种服务功能减弱,最终威胁到人类的安全和健康,危及社会经济的发展^[3]。随着对环境资源可持续性发展机制研究的深入,人们逐渐意识到维持和保育生态系统,尤其是森林生态系统服务功能是实现社会经济可持续发展的基础^[4]。从 20 世纪 80 年代开始,对森林生态系统服务功能的量化和评价研究就引起了学者们广泛的重视^[5],相关的研究已在 100 多个国家展开^[6]。这些研究揭示了森林资源的重要性,同时也让人们更深刻的认识到森林资源从各个方面为人类提供的福利。现有研究大多集中在对某一个特定地点的森林,如自然保护区、城市等;或特定的区域,如省、市、县等。但是森林生态系统提供的服务功能,如土壤保持、涵养水源,并不属于原位性服务(*In situ*)^[7],例如,上游的人以牺牲经济发展为代价选择了森林保护,收益最大的是下游以发展经济为主的人。因此,从流域的尺度上评价一个森林生态系统服务功能的价值,更加具有实用性。然而这方面的研究却非常少,从流域尺度上弄清森林生态系统各种服务功能的大小和空间分布上的差异性,可以作为生态补偿、流域管理依据。

海河流域是我国七大流域之一,也是生态环境问题比较严重的流域之一。海河流域水资源匮乏、水旱灾害和水土流失等情况严重,森林生态系统对该流域自然资源保护、社会经济发展具有重要的意义。本文通过对海河流域森林生态系统服务功能进行评价,将达到以下目的:(1)定义流域尺度上,森林生态系统具有的服务功能类型,建立评价指标体系;(2)对各种服务功能类型进行定量评价;(3)分析森林生态系统提供的各种服务功能特征。

1 研究区概况

海河流域位于东经 112°—120°、北纬 35°—43°之间,流域总面积 31.78 万 km²,占全国总面积的 3.3%。海河流域处于中国干旱和湿润气候的过渡地带,是东部沿海降水最少的地区。由于气候、地形等因素的影响,降水量的分布呈较明显的地带性差异。沿太行山、燕山山脉迎风坡有一条年雨量达 600mm 的弧形多雨带,其间由北到南分布着大于 700—800mm 的多雨中心;西北部的雁北和冀北山地大部分地区降水量为 400—500mm。平原地区降水量一般为 500—600mm。由于受季风气候的影响,流域降水量年内分配很不均匀,75%—85%集中在汛期。流域土壤主要以褐土和棕壤为主。受中纬度暖温带季风气候影响,本区大部分植被属于暖温带落叶阔叶林地带的暖温带北部落叶栎林亚地带;只有南、北一小部分,分别属于暖温带南部落叶栎林亚地带和温带草原地带。海河流域森林类型多种多样,有软阔、硬阔、针叶、经济林和灌木等;树种有油松、

侧柏、椴树、华北落叶松等等。本研究考虑到海河流域植被分布规律和优势物种组成,将主要森林类群分为以下 7 个群组:灌木、杨树、松柏类、栎类、桦木类、松杉类和针阔混交类。

2 研究方法

2.1 数据来源

采用 2005/2006 年 TM 遥感影像,解译出了海河流域各种生态类型面积及其空间分布。对于森林生态系统,首先根据 GPS 样点,划分出灌丛、针叶林、阔叶林和针阔混交林。针叶林主要由油松、侧柏、桧柏、华北落叶松和青杠等树种组成。将分布海拔较低的油松、侧柏和桧柏等归为松柏类;将分布海拔较高的华北落叶松和青杠等归为松杉类。对于阔叶林,主要树种是杨树、桦木类、栎类等,杨树主要分布于平原地势平缓的地带;桦木类和栎类等主要分布于山区,并且在垂直梯度上也有明显的差异。考虑到植被空间分布差异,本研究对海河流域森林分布规律进行分区调查,根据野外调查样点划分毛白杨、加拿大杨等归为杨树类;白桦、糙皮桦和硕桦等归为桦木类、蒙古栎、辽东栎、槭、椴等归为栎类。本研究中用到的其他参数均全部来自已有的研究文献,将在后面详述。

2.2 评价指标体系

自从 Daily 的 Nature's Services 发行以来,对生态系统服务功能的研究迅速增加。MA 的目的是使得人类福利和生态系统提供的服务之间的联系能够变得更加清晰^[8]。基于这一目的,他们提出了支持功能、调节功能、提供功能和文化服务功能这一框架。学术界能够达成共识的是这些研究具有很强的启发性,但这种分类框架存在很多问题;Boyd^[9-10]和 Wallace^[8]认为该分类系统不能很好的指导实际的工作或对景观的管理,主要的问题是把“终点”和“过程”混在一起。Boyd^[9-10]的解决办法是:为生态系统服务功能设计了一个可以数量化的系统框架,即是生态系统中能够直接被消费的生态组分。如湖泊、森林等。Wallace^[8]承认 MA 对生态系统服务功能的定义,即:人类从生态系统中获得的效益,但是他更关注于对景观的管理和在生态系统过程中如何传递生态系统服务功能,他们分别提出了自己的分类框架。Fisher^[11]的研究强调在实践层面,认为上述的分类框架仍然是有问题的;即它们不是为“我们”工作的。他指出我们研究的是生态系统服务功能是如何向人类传递福利效益的、这些效益在什么地方得到实现、通过什么实现、并且在不同的地方、不同的时间尺度下它们传递的价值将如何改变等。最终,Fisher 也提出自己的分类系统。Hein 等^[12]提出了将调节功能和提供产品功能合并为一类,叫调节功能。尽管对生态系统服务功能分类的争论不断,本文更倾向于 MA 的分类框架,正如 Costanza^[7-13]所说:生态系统是一个复杂的、动态的,具有非线性的反馈,具有阈值和具有滞后效益的系统。真实的世界是复杂和混乱的,在对具体研究系统进行分类和制定生态系统服务功能时,应该根据实际存在的差异来决定。基于此,对海河流域森林生态系统服务功能的分类如表 1 所示。在具体评价的时候,受数据的限制,没有对全部指标进行评价。

2.3 评价方法

本研究主要讨论森林生态系统服务功能的价值量,并将其分为直接经济价值和间接经济价值。直接经济价值主要是提供产品功能;间接经济价值包括固碳释氧、土壤保持、涵养水源等。

2.3.1 提供产品

森林生态系统服务功能的直接经济价值主要是林产品、林副产品。采用市场价值法,用如下公式进行评价:

$$V_p = \sum S_j \cdot V_j \cdot P_j \quad (1)$$

式中, V_p 为流域森林生态系统提供产品总价值; S_j 为第 j 种森林类型或果品的分布面积; V_j 为第 j 种森林类型单位面积净生长量或产量; P_j 为第 j 种森林类型木材或果品的市场价格; j 表示不同的森林类型。

2.3.2 固碳释氧

$$V_q = \sum_{j=1}^m NPP_j (1.63P_c + 1.2P_o) \quad (2)$$

式中, V_q 是固碳释氧总的价值量; NPP_j 为第 j 类森林类型的 npp ; P_c 为市场固定 CO_2 的价格; P_o 为市场制

造 O₂ 价格;其他同上。

表 1 海河流域森林生态系统服务功能评价指标体系

Table 1 Indicator System of Forest ecosystem in Haihe river basin

评价项目 Items	评价指标 Indicators	评价方法 Method
提供产品 Provision	食物 Food	市场价值法 Market Value Method
	木材 Timber	
	药材 Drug	
	柴薪 Fuel	
	旅游 Tour	
支持功能 Support	营养物质循环 Nutrient Cycling	旅行费用法 Travel Cost Method
	生物多样性保护 Biodiversity Conservation	影子价格法 Shadow Price Method
	固碳 Carbon Sequestration	支付意愿法 CVM
	释氧 Oxygen Release	造林成本法、碳税法 Reforestation Cost or Carbon Tax
调节功能 Regulation	涵养水源 Water Conservation	造林成本 Reforestation Cost
	土壤保持 Soil Conservation	影子价格法 Shadow Price Method
	环境净化 Pollution Purification	机会成本法 Opportunity Cost Method
文化服务功能 Culture	休憩娱乐 Recreation	市场价值法 Market Value Method
	文化遗产 Cultural Heritage	旅行费用法 Travel Cost Method
	宗教价值 Religion Value	CVM

2.3.3 营养物质保持

(1) 生物体内参与营养元素循环的价值

$$V_n = \sum_{j=1}^m NPP_j \cdot (C_{nj} \cdot P_n \cdot f_n + C_{pj} \cdot P_p \cdot f_p + C_{kj} \cdot P_k \cdot f_k) \tag{3}$$

式中, V_n 是生物库中营养物质保持的总价值; NPP_j 为第 j 类森林类型的 npp ; C_{nj} 为第 j 类森林类型物质中含 N 元素的百分比; C_{pj} 为第 j 类森林类型物质中含 P 元素的百分比; C_{kj} 为第 j 类森林类型物质中含 K 元素的百分比; P_n 、 P_p 、 P_k 分别对应于 N、P、K 的市场价格; f 分别代表森林生态系统中 N、P、K 的周转率; 其他同上。

(2) 土壤库中参与营养元素循环的价值

$$V_s = \sum_{j=1}^m M_j \cdot (S_{nj} \cdot P_n \cdot f_n + S_{pj} \cdot P_p \cdot f_p + S_{kj} \cdot P_k \cdot f_k) \tag{4}$$

式中, V_s 是土壤库中营养物质保持的总价值; M_j 为第 j 类森林类型土壤库总量; S_{nj} 为第 j 类森林类型土壤库中含 N 元素的百分比; S_{pj} 为第 j 类森林类型土壤库中含 P 元素的百分比; S_{kj} 为第 j 类森林类型物质中含 K 元素的百分比; 其他同上。

(3) 营养物质保持总价值

$$V_e = V_n + V_s \tag{5}$$

2.3.4 涵养水源

$$V_w = P_w \cdot \sum_{j=1}^m (K_{fj} + K_{lj} + K_{sj}) \cdot S_j \tag{6}$$

式中, V_w 是涵养水源总价值; P_w 为单位面积修建水库的市场价格; K_{fj} 为第 j 类森林类型单位面积冠层截留降水的能力; K_{lj} 为第 j 类森林类型单位面积枯枝落叶层含水的能力; K_{sj} 为第 j 类森林类型单位面积土壤储水的能力; 其他同上。

2.3.5 土壤保持

采用通用水土流失方程进行评价:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (7)$$

式中, A 为年土壤流失量; R 为降雨侵蚀因子; K 为土壤可蚀性因子; LS 为坡长坡度因子; C 为植被覆盖因子; P 为水土保持措施因子。

土壤保持的物质质量:

$$T_h = \sum_{j=1}^m S_j \cdot (E_{pj} - E_{rj}) \quad (8)$$

式中, T_h 为土壤保持总量; S_j 为第 j 类森林类型面积; E_{pj} 为第 j 类森林类型潜在土壤侵蚀模数; E_{rj} 为第 j 类森林类型现实土壤侵蚀模数。

(1) 保持土壤养分价值

$$V_a = T_h \cdot \sum (C_i \cdot P_i) \quad (9)$$

式中, V_a 为保持土壤养分价值; i 为土壤中养分种类; C_i 为土壤中第 i 类养分含量; P_i 为第 i 类养分的市场价格。

(2) 减少土地废弃的价值

$$V_b = T_h / d / h \cdot P / 10000 \quad (10)$$

式中, V_b 为减少土地废弃价值; d 为土壤容重; h 为土壤厚度; P 为土地年均收益。

总的土壤保持价值:

$$V_s = V_a + V_b \quad (11)$$

2.3.6 环境净化

$$V_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_j \cdot (U_i \cdot P_i) \quad (12)$$

式中, V_e 为环境净化总价值; S_j 为第 j 类森林类型面积; U_i 为对第 i 中环境污染物的净化效率; P_i 为第 i 总环境污染物的净化市场价格。

2.3.7 流域森林生态系统总服务功能

$$V_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij} \quad (13)$$

式中, V_{ij} 为第 j 类森林类型的第 i 中服务功能价值。

3 结果

3.1 提供产品

海河流域森林提供产品的价值主要是森林活立木的价值和林果、药材等林副产品的价值。各种森林类型蓄积量如表 2 所示,从大小来看,提供木材产品价值最多是松柏类,其次是栎类和桦木类,最后是松杉类,灌丛不提供木材产品。林副产品主要是药材和林果,从各地统计年鉴查得药材和林果年产量,乘以市场价格得出药材的价值是:2.65 亿元;林果的价值是 6.52 亿元。

表 2 各种森林类型提供产品价值

Table 2 Provision value of different forest types

项目 Item	灌丛 Shrub	杨树类 Poplar	松柏类 Conifer	栎类 Robur	桦木类 Birch	松杉类 Larch	针阔混 Mixed forest
面积 Area/hm ²	3132348.8	183567.5	1711169.8	1005907.8	283783.9	30310.3	233452.8
年单位面积平均蓄积量 Annual average volume per unit/ (m ³ hm ⁻² a ⁻¹) *	27.55	18.61	10.23	16.08	13.85	12.74	
木材价值 Value/(×10 ⁸ 元)		23.8	171.1	98.2	31.8	2.42	22.2

* 该指标经表 3 中 NPP 换算而来

3.2 固碳释氧

森林对碳素的固定是通过绿色植物的光合作用吸收 CO_2 制造碳氢化合物,以有机物的形式固定大气中的 CO_2 于植物体内,同时释放出 O_2 ^[14];森林土壤虽为陆地生态系统中比较重要的碳汇,因其固碳速率较慢,本研究未予以考虑。各种森林类型净初级生产力(NPP)如表3所示,本研究根据光合作用方程式,即每形成1t干物质,可固定1.63t CO_2 ,释放出1.19t O_2 ,来估算各种森林类型固碳和释氧量。 CO_2 造林成本为1320元/t C^[15];工业制氧成本为400元/t O_2 ^[16]。结果如表3所示,固碳释氧总价值为514.06亿元。

表3 各种森林类型固碳释氧价值

Table 3 Carbon sequestration and oxygen release value according to different forest types

项目 Item	灌丛 Shrub	杨树类 Poplar	松柏类 Conifer	栎类 Robur	桦木类 Birch	松杉类 Larch	针阔混 Mixed Forest
$NPP/(t\text{ hm}^{-2}\text{ a}^{-1})^*$	5.54	10.33	8.19	9.68	10.21	8.88	9.48
Annual NPP/(t/a)	17337546	1896247	14014474	9740197	2897424	269001	2213498
固碳价值 Carbon sequestration value/($\times 10^8$ 元)	101.74	11.13	82.24	57.16	17.00	1.58	12.99
释氧价值 Oxygen release value/($\times 10^8$ 元)	82.53	9.03	66.71	46.36	13.79	1.28	10.54
总价值 Total value/($\times 10^8$ 元)	184.26	20.15	148.95	103.52	30.79	2.86	23.53

* 栎类 NPP 采用桑卫国^[17]、许中旗^[18]、王德艺^[19]、刘玉萃^[20]、罗天祥^[21]等人的研究结果取平均值;松柏 NPP 采用赵敏^[22]、马钦彦^[23]、罗天祥等人的研究结果取平均值;松杉采用刘再清^[24]、刘志刚^[25]等人的研究结果取平均值;杨树、桦树采用梁婉君^[26]、李庆云^[27]、张小泉^[28]、罗天祥等人的研究结果取平均值;混交类是本研究者将上述值再求平均;灌丛是陈退林^[29]、戴晓兵^[30]等人的研究结果取平均值

3.3 环境净化

森林可以依靠自身特殊的结构和功能,通过吸收、过滤、阻隔和分解等生理生化过程,净化人类活动排放到环境中的有毒气体(如 SO_2),也能吸附、粘着一部分粉尘,降低大气中的含尘量,从而达到净化环境的目的^[14]。本研究主要考虑森林吸收 SO_2 和滞尘两大主要环境净化功能。根据中国林业科学研究院和北京市林业局《北京市山区森林生态系统服务价值评价》,林木对 SO_2 的年平均吸收能力为120.85kg/hm²;滞尘的年平均能力阔叶林为10.11t/hm²,针叶林为33.2 t/hm²,针阔混交林取二者平均值,为22.7 t/hm²。灌丛净化 SO_2 的能力为18.91 kg/hm²,滞尘的能力为1.18 t·hm⁻²·a⁻¹^[31]。市场治理 SO_2 的费用为0.6元/kg,处理粉尘的价格为0.56元/kg,计算各种森林类型环境净化价值如表4所示,总价值为459.84亿元。

表4 各种森林类型环境净化价值

Table 4 Pollution purification value according to different forest types

项目 Item	灌丛 Shrub	杨树类 Poplar	松柏类 Conifer	栎类 Robur	桦木类 Birch	松杉类 Larch	针阔混 Mixed Forest
吸收 SO_2 价值 Uptake SO_2 value/($\times 10^8$ 元)	0.60	0.12	0.56	0.68	0.14	0.01	0.16
吸收粉尘价值 Uptake dust value/($\times 10^8$ 元)	20.70	10.39	318.14	56.95	16.07	5.64	29.68
总价值 Total value/($\times 10^8$ 元)	21.30	10.52	318.70	57.63	16.20	5.65	29.84

3.4 营养元素保持

生态系统的营养物质循环主要是在生物库、凋落物库和土壤库之间进行。其中生物与土壤之间的养分交换过程是最主要的过程^[32]。本研究只考虑土壤库和生物库。土壤库中参与生态系统维持养分循环的物质种类很多,主要考虑含量相对较大的氮、磷、钾。本研究森林土壤容重按1.1t/m³计算,土层深度灌丛按0.5m计,其他森林类型按0.6m计^[33-34]。根据养分循环功能的服务机制,认为构成森林第一性净生产力的营养元素量即为参与循环的养分量,参与评价的生物库中营养元素也仅考虑含量相对较大的氮、磷、钾^[35]。各种森

林类型生物质中含氮、磷、钾比例如表 5 所示。本研究区域森林生态系统 N、P、K 周转率分别取 0.086、0.053 和 0.091^[36-37]。根据 2006 年国产化肥平均价格,尿素为 1825 元/t,过磷酸钙为 522 元/t,氯化钾为 1948 元/t,计算营养元素保持的总价值如表 5 所示。

表 5 各种森林类型营养元素保持价值

Table 5 Nutrient Cycling value according to different forest types

项目 Item	灌丛 Shrub	杨树类 Poplar	松柏类 Conifer	栎类 Robur	桦木类 Birch	松杉类 Larch	针阔混 Mixed Forest
生物质中含 N 比例 * N Percentage /%	0.215	0.21	0.271	0.164	0.74	3.1	0.897
生物质中含 P 比例 * P Percentage /%	0.033	0.046	0.034	0.018	0.13	0.74	0.194
生物质中含 K 比例 * K Percentage /%	0.206	0.134	0.157	0.328	0.19	0.29	0.22
生物质中元素价值 Value in biomass/($\times 10^8$ 元)	0.2	0.02	4.7	0.2	0.1	0.06	0.1
土壤库中元素价值 Value in soil **/($\times 10^8$ 元)	18.99	1.73	11.71	8.62	2.31	0.24	1.80
总价值 Total value/($\times 10^8$ 元)	19.19	1.75	16.41	8.82	2.41	0.30	1.90

* 杨树数据来自吴泽民^[38]的研究;松柏数据来自刘世海^[39]的研究,其单位为(t/hm^2);栎类数据来自刘玉萃^[40]的研究;桦木类的数据来自张成林^[41]的研究;松杉的数据来自谢会成^[42]的研究;针阔混交为除灌丛外其他森林类型的平均值; * * 土壤库中各种森林类型土壤中 N、P、K 的含量同下土壤保持中的含量

3.5 土壤保持

降雨时非林地输出大量泥沙,这些泥沙带走土壤中大量的 N、P、K 和有机质,造成土层变薄,土壤肥力降低,并使得河流和水库淤积^[32]。森林的存在起到了明显的土壤保持的作用。本研究从减少土地废弃和减少土壤肥力损失两个方面评价森林土壤保持的价值。森林各种类型土壤保持量利用通用水土流失方程进行估算。减少土地废弃价值按我国林业生产的平均收益 282.17 元 $\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 进行估算^[32]。减少土壤肥力按照森林土壤中营养元素含量及其对应的市场价格进行估算,结果如表 6 所示。

表 6 各种森林类型土壤保持价值

Table 6 Soil conservation value according to different forest types

项目 Item	灌丛 Shrub	杨树类 Poplar	松柏类 Conifer	栎类 Robur	桦木类 Birch	松杉类 Larch	针阔混 Mixed Forest
土壤含 N 比例 * N Percentage /%	0.12	0.17	0.11	0.15	0.14	0.13	0.13
土壤含 P 比例 * P Percentage /%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
土壤含 K 比例 * K Percentage /%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
减少土壤肥力损失价值 Value of reducing the loss of soil fertility/($\times 10^8$ 元)	31.2	0.45	24.6	15.9	3.7	0.4	3.1
减少土地废弃价值 Value of reducing land abandon/($\times 10^8$ 元)	1.1	0.01	0.9	0.5	0.1	0.01	0.1
总价值 Total value/($\times 10^8$ 元)	32.3	0.46	25.5	16.4	3.8	0.4	3.2

* 各种森林类型土壤 N、P、K 含量来源如下:松柏来自刘世海、耿玉清、程晓玲^[31]等研究的平均值;杨树类数据来自程晓玲的研究结果;栎类、桦木类、松杉类、灌丛数据均来自耿玉清、程晓玲等研究结果的平均值;混交类数据是上述除灌丛外的平均值

3.6 涵养水源

森林涵养水源主要表现为:冠层截留降水、枯枝落叶层含水和土壤储水 3 个方面,将这 3 个方面的森林保

持水分的能力加在一起,形成了森林涵养水源量,其价值采用替代成本法,即修建相应库容的水库成本来进行计算。根据 1993—1999 年《中国水利年鉴》,平均水库库容造价为 2.17 元/m³,得到 2005 年单位库容造价为 6.11 元/m³。计算结果如表 7 所示。

表 7 各种森林类型涵养水源价值

Table 7 Water conservation value according to different forest types

项目 Item	灌丛 Shrub	杨树类 Poplar	松柏类 Conifer	栎类 Robur	桦木类 Birch	松杉类 Larch	针阔混 Mixed forest
单位面积涵养水源量 Water conservation per unit /(m ³ ·hm ⁻² ·a ⁻¹) *	2174.2	1665.8	2154.2	2216.2	3036.8	2562.3	2130.0
总价值 Total value/(×10 ⁸ 元)	416.1	18.7	225.2	136.2	52.7	4.7	30.4

* 该值来自程晓玲^[31] 整理结果

3.7 服务功能总价值及其特征

由上述分析可以得出,海河流域森林生态系统服务功能总价值是 2349.4 亿元(直接价值 358.7 亿元,间接价值 1990.7 亿元)。其中提供产品价值为 358.7 亿元(占 15.26%),调节功能价值为 1425.9 亿元(占 60.69%),支持功能价值为 564.8 亿元(占 24.04%),文化功能因数据限制没有进行核算。从具体的服务功能指标来看,如图 1 所示,所占比例最大的是涵养水源功能,其次是固碳释氧功能,最小的是营养循环功能。从不同森林类型来看,如图 2 所示,服务功能价值大小顺序依次是:松柏类>灌丛>栎类>桦木类>混交林>杨树类>松杉类。但是从各种森林类型单位面积价值量来看,如图 3 所示,大小依次是:松杉类>松柏类>桦木类>混交林>栎类>杨树类>灌丛。

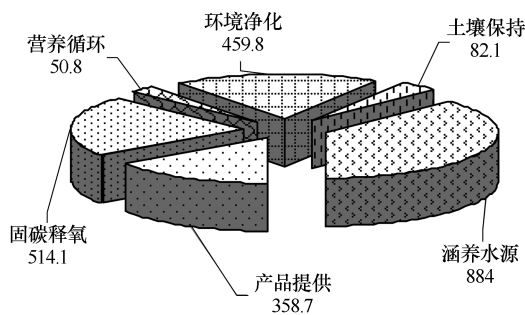


图 1 各种服务功能类型价值构成图/(×10⁸ 元)

Fig. 1 Value of different ecosystem services

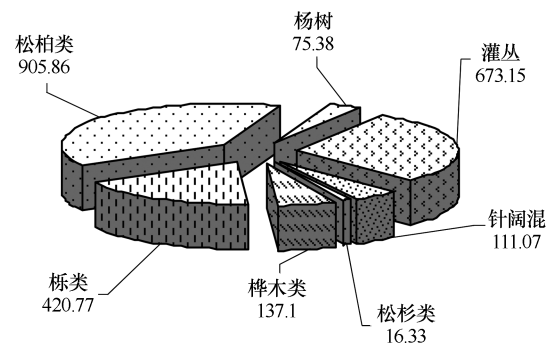


图 2 各种森林类型价值构成图/(×10⁸ 元)

Fig. 2 Value of different forest types

4 讨论

4.1 从提供的各种服务功能经济价值来看,本流域森林生态系统以涵养水源、环境净化和固碳释氧的价值为主,分别占总价值的 37.63%、19.57% 和 21.88%,说明它们在流域中提供主要的服务功能。本流域主要森林类型是灌丛、松柏类和栎类,分别占流域森林面积的 47.60%、26.00% 和 15.29%,它们提供的服务功能总价值分别是 673.15、905.86 亿元和 420.77 亿元,占总服务功能比例为 28.65%、38.56% 和 17.91%。尽管灌木分布面积最大,但其提供的服务功能却不是最大。而松杉类面积比例较小(仅占森林总面积的 4.31%),但其单位面积提供的服务功能价值却是最大,为 5.39 万元。同时从单位面积服务功能价值大小可以看出,针叶类树种比阔叶类提供的服务功能价值更大。因此在进行森林资源管理时应该充分注意不同森林类型服务功能的差异。

4.2 与国内进行的大多数森林服务功能评价一样,本研究仅对森林服务功能进行了静态的评价,并没有反映

出服务功能价值动态变化和时空分布的差异性。下一步研究将重点放在利用多年森林资源分布数据或以空间换时间的方法,计算服务功能动态,分析服务功能时空变异性;另一方面应该加强对服务功能产生机理及人类活动对森林生态系统服务功能和生物多样性保护之间关系的研究,上述结果将对森林资源的管理和资源的开发有更实用的指导意义。

4.3 本研究局限性来自两方面。一是森林类型的划分,本研究区域内森林类型丰富,优势物种较多。本研究只考虑了其中几种,忽略了其他优势物种的服务功能价值。二是由于流域面积较大,采用 TM 遥感影像解译可能会带来数据的偏差,尤其是本研究区域内杨树的分布主要呈条带状,很多地方其宽度不足一个象元,无法对其进行解译,从而导致解译的面积会大大低于实际面积。

5 结论

5.1 本研究首先根据 constanza^[7]和 MA^[1]框架,建立了流域森林生态系统服务功能评价指标体系,对各个指标的价值进行了计算,并分析了总体服务功能组成特点,得出海河流域森林生态系统服务功能总价值,其中以涵养水源、环境净化和固碳释氧为主要服务功能类型。说明森林生态系统不仅提供各种林产品和林副产品,而且在涵养水源、固碳释氧等间接服务方面具有更重要的经济价值。因此,在资源开发和管理过程中要注意合理的利用森林资源。

5.2 本研究是在流域尺度上进行评价,其结果有利于更直观的认识和了解森林生态系统服务功能在空间上的迁移规律,有利于提高人们对森林生态系统的保护意识,可以为流域的生态补偿、流域生态功能区划和流域管理提供决策依据。

5.3 由于受基础资料的限制,个别指标没有进行评价。对已经进行评价的指标,其中参数大多是来自已有的研究成果,由于海河流域范围非常大,大多数参数的选择不一定体现了各个地方的差异性,从而导致数据的不完全精确性。但这并不影响我们的研究,随着基础研究的深入,这一缺陷将逐渐被克服。从结果可以看出海河流域森林生态系统具有非常巨大的服务功能价值,这对加强森林生态系统的保护和管理、对森林资源进行合理开发具有重要的指导意义。

References:

- [1] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington DC, 2005
- [2] Zhao J Z, Xiao H, Wu G. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2): 290-292.
- [3] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, Wang X K, Han Y S. Forest ecosystem services and their ecological valuation: A case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan Island. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(4): 481-484
- [4] Zhang C, Ren Z Y, Gao M X, Yan W H. The forest ecosystem services and their valuation in Gansu Province. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(8): 147-151
- [5] Zhang B, Li W H, Xie G D, Xiao Y. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value. Ecological Economics, 2010, 69(7): 1416-1426.
- [6] Amirnejad H, Khalilian S, Assareh M H, Ahmadian M. Estimating the existence value of north forests of Iran by using a contingent valuation method. Ecological Economics, 2006, 58(4): 665-675.
- [7] Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. Biological Conservation, 2008, 141(2): 350-352.
- [8] Wallace K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. Biological Conservation, 2007, 139(3/4): 235-246.

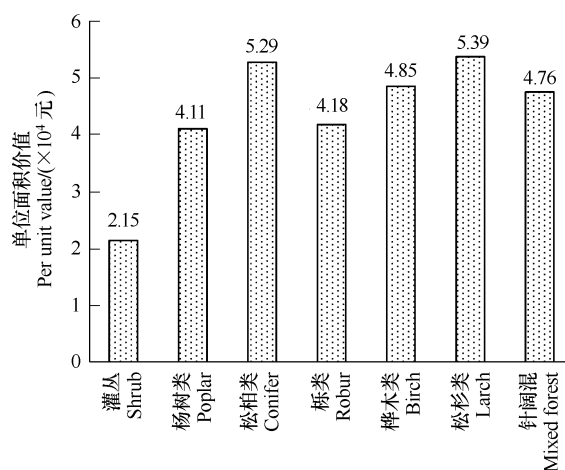


图3 各种森林类型单位面积价值对比图

Fig. 3 Comparison of per unit value according to different forest types

- [9] Boyd J. Nonmarket benefits of nature: what should be counted in green GDP?. *Ecological Economics*, 2007, 61 (4): 716-723.
- [10] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [11] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643-653.
- [12] Hein L, van Koppen K, de Groot R S, van Lerland E C. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2006, 57 (2): 209-228.
- [13] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Naeem S, Limburg K, Paruelo J, O'Neill R V, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [14] Mao F L, Guo Y R, Liu Y X. Evaluation of forest ecosystem services of Wuling Mountain Nature Reserve. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2005, 20(3): 220-223.
- [15] Li W H. Theories, methods and applications in valuing the ecosystem services. Beijing: China Renmin University Press, 2008: 277-277.
- [16] Ren Z Y, Zhang Y F, Li J. Land use change and ecological security evaluation. Beijing: Science Press, 2003: 148-148.
- [17] Sang W G, Su H X, Chen L Z. Coupling biomass and energy in warm temperate deciduous broad-leaved oak (*Quercus liaotungensis*) forest ecosystem. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(Supp. 1): 88-92.
- [18] Xu Z Q, Wang Y H. Research advances in *Quercus mongolica*. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2002, 17 (4): 365-370.
- [19] Wang D Y, Cai W B, Li D Y, Feng X Q, Feng T J, Li Y N. Study of biomass and production of the forest of *Quercus mongolica* in Wuling mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(1): 9-15.
- [20] Liu Y C, Wu M Z, Guo Z M, Jiang Y X, Liu S R, Wang Z Y, Liu B D, Zhu X L. Biomass and net productivity of *Quercus variabilis* forest in Baotianman Natural Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(6): 569-574.
- [21] Luo T X. Patterns of net primary productivity for Chinese major forest types and their mathematical models. Beijing: Institute of Geography Sciences and Natural Resources Research, CAS, 1996.
- [22] Zhao M, Zhou G S. A new methodology for estimating forest NPP based on forest inventory data a case study of Chinese pine forest. *Journal of Forestry Research*, 2004, 15(2): 93-100.
- [23] Ma Q Y. A study on the biomass of Chinese Pine forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 1989, 11 (4): 1-10.
- [24] Liu Z Q, Chen G H, Meng Y Q, Li J G, Liu M R. Increase of biomass and accumulation of nutrient elements in *Larix principis-rupprechtii* plantation. *Forest research*, 1995, 8(1): 88-93.
- [25] Liu Z G, Ma Q Y. Study on Biomass and Productivity of *Larix principis-rupprechtii* plantations. *Journal of Beijing Forestry University*, 1992, 14 (supp. 1): 114-122.
- [26] Liang W J, Hu H Q, Liu F J, Zhang D M. Research advance of biomass and carbon storage of poplar in China. *Journal of Forestry Research*, 2006, 17 (1): 75-79.
- [27] Li Q Y, Wan M, Fan W, Wu Z X. Study on Biomass and Productivity of *Populus* Plantation in the Huanghuaihai Plain. *Henan Sciences*, 2008, 26 (4): 434-437.
- [28] Zhang X Q, Meng Y Q, Liu M R, Zhang F X. Research on the net productivity and nutrient accumulation of the natural forest of *Populus cathayana* P. *simonii*. *Forest Research*, 1995, 8(3): 291-296.
- [29] Chen X L, Ma Y Q, Kang F F, Cao W Q, Zhang G H, Chen Z W. Studies on the Biomass and Productivity of Typical Shrubs in Taiyue Mountain, Shanxi Province. *Forest Research*, 2002, 15(3): 304-309.
- [30] Dai X B. The seasonal dynamics of the biomass of VIT EX shrubland in mountainous area of Huairou county in Beijing. *Acta Botanica Sinica*, 1989, 31 (4): 307-315.
- [31] Cheng X L. Evaluation on the value of wild plant resources in Wuling mountain. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [32] Ouyang Z Y, Zhao T Q, Zhao J Z, Xiao H, Wang X K. Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [33] Dong Q, Li X W. Evaluation of forest ecosystem services of Dazhongshan Nature Reserve in Yunnan. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2008, 38(6): 8-11.
- [34] Peng Z H, Wang H L, Wang Y X. The Evaluation of Forest Ecosystem Services Value in Jinggangshan National Nature Reserve. *Issues of Forestry Economics*, 2008, 28(6): 512-516.
- [35] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Zheng H, Wang X K, Miao H. Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19 (4): 480-491.
- [36] Zhao Y, Wang P F, Fan W, Zhu Y F. Nutrient cycling in *Quercus variabilis* plantations of different ages classes in hilly region of Taihang Mountain. *Science of Soil and Water Conservation*, 2009, 7 (4): 66-71.
- [37] Xiao Y, Chen L H, Yu X X, Wang X P, Qin Y S, Chen J Q. Nutrient cycling of N, P and K in a plantation ecosystem of *Pinus tabulaeformis* in Miyun District, Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(supp. 2): 72-75.
- [38] Wu Z M, Sun Q X, Chen M G. Biomass and nutrient accumulation of poplar plantation on beach land in Yangtse River in Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 806-810.

- [39] Liu S H, Bai M Z. Nutrient Distribution and Accumulation Pattern of *Pinus tabulaeformis* Water Resources Protection Forest in Miyun Reservoir Watershed, Beijing. Research for Soil and Water Conservation, 2007, 14(3): 326-329.
- [40] Liu Y C, Wu M Z, Guo Z M, Jiang Y X, Liu S R. Study on element cycle of *Quercus acutidentata* forest ecosystem in Baotianman Natural Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1488-1497.
- [41] Zhang C L, Peng H T. The distribution and dynamic of nutrient contents in xylem and phloem of larch forestry. Forestry Science & Technology, 1997, 22(6): 18-20.
- [42] Xie H C, Ge Y, Sun J W, Li J H, Yang M S. The variation of nutrient contents in needles of prince rupprecht's larch plantation. Journal of Fujian College of Forestry, 2005, 25(2): 163-166.

参考文献:

- [2] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质质量与价值量评价方法的比较分析. 应用生态学, 2000, 11(2): 290-292.
- [3] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 韩艺师. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 481-484.
- [4] 张岑, 任志远, 高孟绪, 阎文浩. 甘肃省森林生态服务功能及价值评估. 干旱区资源与环境, 2007, 21(8): 147-151.
- [14] 毛富玲, 郭雅儒, 刘雅欣. 雾灵山自然保护区森林生态系统服务功能价值评估. 河北林果研究, 2005, 20(3): 220-223.
- [15] 李文华等著. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008: 277-277.
- [16] 任志远, 张艳芳, 李晶等著. 土地利用变化与生态安全评价. 北京: 科学出版社, 2003: 148-148.
- [17] 桑卫国, 苏宏新, 陈灵芝. 东灵山暖温带落叶阔叶林生物量和能量密度研究. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 88-92.
- [18] 许中旗, 王义弘. 蒙古栎研究进展. 河北林果研究, 2002, 17(4): 365-370.
- [19] 王德艺, 蔡万波, 李东义, 冯学全, 冯天杰, 李永宁. 雾灵山蒙古栎林生物生产量的研究. 生态学杂志, 1998, 17(1): 9-15.
- [20] 刘玉萃, 吴明作, 郭宗民, 蒋有绪, 刘世荣, 王正用, 刘保东, 朱学凌. 宝天曼自然保护区栓皮栎林生物量和净生产力研究. 应用生态学报, 1998, 9(6): 569-574.
- [21] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型. 北京: 中科院研究生院, 1996.
- [23] 马钦彦. 中国油松生物量的研究. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 1-10.
- [24] 刘再清, 陈国海, 孟永庆, 李建国, 刘命荣. 五台山华北落叶松人工林生物生产力与营养元素的积累. 林业科学研究, 1995, 8(1): 88-93.
- [25] 刘志刚, 马钦彦. 华北落叶松人工林生物量及生产力的研究. 北京林业大学学报, 1992, 14(增刊1): 114-122.
- [27] 李庆云, 万猛, 樊巍, 吴泽鑫. 黄淮海平原农区杨树人工林生物量和生产力研究. 河南科学, 2008, 26(4): 434-437.
- [28] 张小泉, 孟永庆, 刘命荣, 张复兴. 五台青杨天然林净生产力与营养元素积累的研究. 林业科学研究, 1995, 8(3): 291-296.
- [29] 陈遐林, 马钦彦, 康峰峰, 曹文强, 张国华, 陈宗伟. 山西太岳山典型灌木林生物量及生产力研究. 林业科学研究, 2002, 15(3): 304-309.
- [30] 戴晓兵. 怀柔山区荆条灌丛生物量的季节动态. 植物学报, 1989, 31(4): 307-315.
- [31] 程晓玲. 雾灵山野生植物资源价值评估. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [32] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 肖寒, 王效科. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [33] 董琼, 李乡旺. 大中山自然保护区森林生态系统服务功能价值评估. 山东林业科技, 2008, 38(6): 8-11.
- [34] 彭子恒, 王怀领, 王宇欣. 井冈山国家级自然保护区森林生态系统服务功能价值测度. 林业经济问题, 2008, 28(6): 512-516.
- [35] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [36] 赵勇, 王鹏飞, 樊巍, 朱延峰. 太行山丘陵区不同龄级栓皮栎人工林养分循环特征. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 66-71.
- [37] 肖洋, 陈丽华, 余新晓, 王小平, 秦永胜, 陈俊崎. 北京密云油松人工林生态系统 N、P、K 养分循环. 北京林业大学学报, 2008, 30(增刊2): 72-75.
- [38] 吴泽民, 孙启祥, 陈美工. 安徽长江滩地杨树人工林生物量和养分积累. 应用生态学报, 2001, 12(6): 806-810.
- [39] 刘世海, 白明洲. 密云水库北京集水区油松水源保护林主要养分元素积累与分配研究. 水土保持研究, 2007, 14(3): 326-329.
- [40] 刘玉萃, 吴明作, 郭宗民, 蒋有绪, 刘世荣. 宝天曼自然保护区锐齿栎林生态系统营养元素循环. 生态学报, 2003, 23(8): 1488-1497.
- [41] 张成林, 彭海田. 天然次生白桦木质部及韧皮部营养元素含量的分布及动态特性. 林业科技, 1997, 22(6): 18-20.
- [42] 谢会成, 葛云, 孙居文, 李际红, 杨茂生. 华北落叶松人工林叶内营养元素含量的变异. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 163-166.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元