主持人：宋希强，任明迅　Open Access

# 海南热带雨林国家公园生态产品供给能力研究

夏天波[1,2,3#]，王　兵[1,2,3]，牛　香[1,2,3*]

（1. 海南国家公园研究院/海南国家公园保护与发展重点实验室 海南 海口 570203 中国；2. 中国林业科学研究院 森林生态环境与自然保护研究所，北京 100091 中国；3. 国家林业和草原局森林生态环境重点实验室，北京 100091 中国）

**摘　要：**海南热带雨林国家公园是中国唯一的岛屿型热带雨林保护区，具有极高的生物多样性和关键生态功能，也是全球极危物种海南长臂猿（*Nomascus hainanus*）的唯一栖息地。文章基于森林生态量清技术方法体系，整合森林资源连续清查、森林生态连清及社会公共数据，从生态产品物质量和价值量两个维度系统评估其生态产品供给能力，并与三江源、大熊猫、东北虎豹、武夷山等国家公园进行了对比分析。结果表明，海南热带雨林国家公园森林生态系统年生态产品总价值约 515.12 亿元，其中调节服务占比最高（50.99%），供给、文化和支持服务分别占 36.27%、6.65% 和 6.09%。在功能结构中，生物多样性保护和涵养水源为核心功能，分别占总价值的 32% 和 31%，旗舰物种海南长臂猿的保护价值每年达 15.07 亿元。与其他国家公园相比，海南热带雨林国家公园生态产品供给结构更为均衡。研究强调了热带岛屿型国家公园在生态安全维系、物种保护及多样化生态服务供给中的重要作用，对推进中国生态文明建设与自然保护地体系高质量发展具有示范意义。

**关键词：**海南热带雨林国家公园；生态产品；供给能力；生态系统服务价值；国家公园体系

**中图分类号：**S718.5　**文献标志码：**A　**文章编号：**1674 − 7054(2026)05 − 0729 − 12

夏天波, 王兵, 牛香. 海南热带雨林国家公园生态产品供给能力研究[J]. 热带生物学报 (中英文), 2026, 17(5): 729−740.　DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.20250171　CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswxb.20250171

生态系统服务（ecosystem services）已成为全球生态学、环境经济学和自然资源管理领域的重要研究主题[1−3]。近年来，随着自然资本（natural capital）和自然基础设施（nature-based solutions, NbS）等理念的提出，越来越多学者与政策制定者呼吁将生态系统服务纳入国家和地方决策过程，以实现生态保护与经济发展的协调可持续[4]。国际上，大量研究聚焦于森林生态系统服务的定量化评估[5−9]。这些研究通常利用遥感、地面调查和生态模型相结合的方法，估算森林植被的净初级生产力、生物量固定量、水源涵养量及其货币价值。亚洲、南美、非洲等地的热带雨林保护区也被广泛视为自然资本的重要组成部分，其生态服务价值已被纳入国家自然资产管理与国际生态补偿机制设计当中[10−11]。此外，全球生物多样性与生态系统服务政府间科学政策平台（intergovernmental science-policy platform for biodiversity and ecosystem services, IPBES）的报告强调，国家公园在生态系统服务供给体系中扮演着核心角色[12]。

在国内，生态系统服务研究亦取得了快速发展[12]。在国家公园体制试点加快后，研究者广泛关注其自然资产价值和生态服务功能[13]。已有研究表明，这些国家公园在旗舰物种保护、水源涵养和碳汇方面具有显著贡献。相对而言，对岛屿热带森林类型国家公园的生态服务研究尚不充分[14−15]。海南热带雨林国家公园作为中国首批国家公园之一，其资源类型具有高度代表性。它既是中国最完整、最具代表性的岛屿热带雨林系统。虽然，已

CC BY 4.0
**收稿日期：**2025−11−18　**修回日期：**2026−01−16

**基金项目：**国家林业和草原局重点课题（2021ZDKT003-2）

#**第一作者：**夏天波（1998—），男，中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所博士研究生。E-mail: 1729480454@qq.com

*通信作者：牛香（1982—），女，研究员。研究方向：森林生态系统监测与评估。E-mail: niuxiang@caf.ac.cn

有研究多关注海南热带雨林的物种多样性与保护现状，但系统性评估其生态产品供给能力的研究仍然缺乏[16–19]。这在一定程度上限制了对热带国家公园自然资本结构和发展的深入了解。此外，森林生态连续清查（forest ecological inventory）技术方法学体系的提出也大力推动了相关研究[20–21]。这一方法体系，非常适合用于国家公园区域的研究。但利用该方法体系在热带雨林国家公园的研究还很稀缺。

本研究选择海南热带雨林国家公园为研究对象，采用森林生态量清技术方法学体系，基于森林资源连续清查数据集、森林生态连续清查数据集及社会公共数据集，从生态产品物质量与货币价值两个维度系统评估该国家公园的生态产品供给能力。同时，将其与三江源、大熊猫、东北虎豹、武夷山国家公园进行横向对比，以揭示热带岛屿型国家公园在中国国家公园体系和自然资产管理框架中的独特角色。通过这项研究，希望为国家公园自然资产核算、生态补偿机制设计、热带森林保护政策及生态文明建设提供科学依据。

## 1 研究区概况

海南热带雨林国家公园位于海南岛中部山区，是中国首批设立的 5 个国家公园之一，规划总面积 4 269 km$^2$，涵盖五指山、鹦哥岭、尖峰岭、霸王岭和吊罗山等核心林区。研究区（18°09′ ~ 19°18′ N，108°36′ ~ 110°03′ E）属于典型的热带海洋季风气候区，具有高温多雨、辐射充足和湿度大的气候特征。年均气温 22 ~ 25 ℃，年降水量 1 600 ~ 2 400 mm，干湿季分明，水热组合优越，更是南渡江、昌化江、万泉河等海南岛主要水系的发源地，为全岛提供稳定的饮用水和农业灌溉水源，在水土保持、固碳释氧、净化环境等方面发挥着重要作用，是名副其实的“海南水塔”（图 1）[9]。

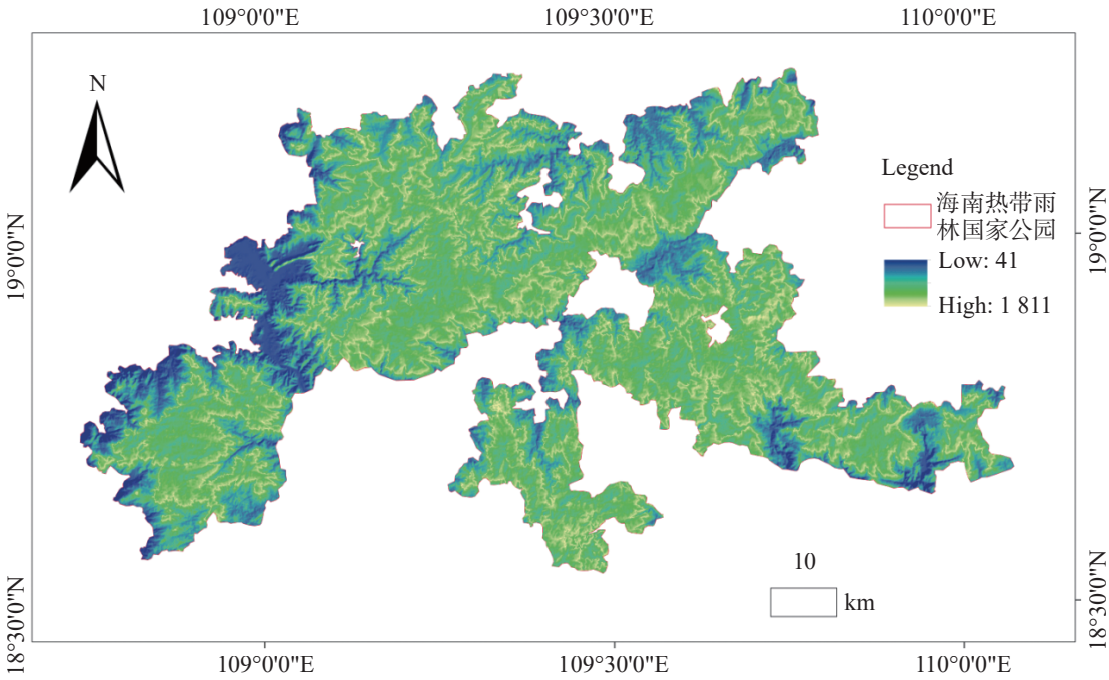



**图 1 海南热带雨林国家公园研究示意图**

**Fig. 1 Study diagram of Hainan Tropical Rainforest National Park**

海南热带雨林国家公园生物多样性极为丰富，是中国重要的热带生物基因库之一，有野生维管束植物 3 577 余种，其中，国家一级保护植物超过 6 种，国家二级保护植物 428 种；脊椎动物 500 余种，涵盖大量特有或濒危物种，如海南长臂猿（*Nomascus hainanus*）、海南山鹧鸪（*Arborophila ardens*）、坡鹿（*Panolia siamensis*）和云豹（*Neofelis nebulosa*）等，其中，全球唯一的海南长臂猿野外种群全部分布于此，具有极高的保护价值和不可替代性[22–24]。研究区内复杂的群落结构与稳定的水热条件，使其成为中国自然生态系统完整性和连续性保持最好的区域之一[25]。在生态功能方面，海南热带雨林国家公园是海南岛最关键的生态安全屏障，对区域及海岛整体的水循环保持具有决定

作用。同时,热带雨林具有全球最高水平的净初级生产力和碳密度,是中国重要的森林碳汇核心区,在区域气候调节和应对气候变化方面发挥着关键作用。研究区内原生林保存完好,生态系统连通性强,为生态产品核算、生态系统过程研究和自然资产管理提供了稳定的自然背景。

## 2　数据来源与研究方法

**2.1　数据来源**　本研究基于 2021 年全国林草综合监测成果和中国森林生态系统时空演变数据库,综合采用海南热带雨林国家公园范围内多类型、多尺度、多时段的观测与统计数据构建了海南国家公园 2021—2023 年多年平均的森林生态产品评估数据库。数据来源包括 3 类。

(1)森林资源连续清查数据:采用国家林业和草原局发布的九期森林资源连续清查数据,系统涵盖海南热带雨林国家公园内森林面积、蓄积量、林龄结构、森林类型及地类状况等核心信息。为确保各时期数据的可比性,森林类型依据《国家森林资源连续清查技术规定(2004)》进行统一整理与重分类。该数据为识别国家公园森林资源变化趋势、结构演替特征及生态服务供给潜力提供了关键支撑。

(2)森林生态定位观测与长期样地监测数据:采用中国森林生态定位研究网络(Chinese Ecosystem Research Network, CFERN)提供的长期定位观测数据,涵盖森林结构、生物量、水文过程、土壤侵蚀与养分保持、植被生产力、大气环境等关键生态因子。由于早期定位站点数量有限,部分指标存在缺测情况,本研究依据森林生态功能修正系数(公式 1),按照时间临近与空间临近原则进行数据补全,实现不同林分生态参数间的可比性[26−28]。

$$FEF = \frac{B_e}{B_o} = \frac{BEF \times V}{B_o} \tag{1}$$

式中,$FEF$ 为森林生态功能修正系数;$B_e$ 为评估林分的单位面积生物量(kg·hm$^{-2}$);$B_o$ 为实测林分的单位面积生物量(kg·hm$^{-2}$);$BEF$ 为蓄积量与生物量的转换因子(kg·m$^{-3}$);$V$ 为评估林分的单位面积蓄积量(m$^3$·hm$^{-2}$)。

(3)社会公共统计数据:社会经济与自然资源数据来自权威机构发布的相关年鉴及数据集,包括《中国水利年鉴》《水利工程预算定额》《环境保护税税目税额表》、中国农业信息网长期数据产品等,并结合气象、水文与大气环境监测资料,用于生态产品货币价值估算相关参数的确定,如水资源利用成本、污染物处理成本和生态修复成本等。

**2.2　评估指标体系**　本研究依据国家标准《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T 38582—2020)[29],构建涵盖结构、过程与功能的森林生态产品评估指标体系。指标体系包括调节、供给、文化和支持 4 大类生态系统服务,重点评价保育土壤、林木养分固持、涵养水源、固碳释氧、净化大气环境、生物多样性保护(森林植被多样性和旗舰物种多样性)、森林康养。该体系既体现国家生态产品核算的标准化要求,也能够反映森林生态结构与生态过程对人类福祉的综合贡献。本研究测算指标均来源于 2021—2023 年连续 3 年的相关统计数据与监测资料,并以此计算年均代表值。

**2.3　生态产品价值核算**　根据 GB/T 38582—2020 的价值核算方法[29],结合生态过程模拟结果与社会公共统计数据,分别对水源涵养、固碳释氧、大气净化、保育土壤、生物多样性保护及自然生态产品供给等进行货币化计算(表 1)。价格参数采用全国统一的社会平均成本或区域修正成本,从而获得森林生态产品的价值序列[30−31]。

**2.4　森林植被生态产品价值评价方法**　本研究在 Shannon-Wiener 指数的基础上引入特有种指数、濒危指数与古树年龄指数,对森林植被多样性保护功能进行综合评价。其中,特有种指数用于衡量区域独有物种的生态不可替代性;濒危指数反映受威胁物种的保护紧迫程度;古树年龄指数则体现森林结构稳定性与生态系统历史连续性。通过构建加权综合评价模型,本研究能够更全面地量化生物多样性在生态产品供给与生态安全保障中的功能价值,提高生物多样性保护功能评估的科学性与精确度。具体计算流程见公式(2)。

$$U_{生} = \left(1 + 0.1\sum_{m=1}^{x} E_m + 0.1\sum_{n=1}^{y} B_n + 0.1\sum_{r=1}^{2} O_r\right) \times S_{生} \times A \tag{2}$$

式中,$U_{生}$为评估林分年生物多样性保护价值(元·年$^{-1}$);$E_m$为评估林分(区域)内物种 $m$ 的濒危指数;$B_n$为评估林分(区域)内物种 $n$ 的特有种指

**表 1 生态产品各项指标计算方法**

Tab. 1 Calculation method for each index of ecological products

| 指标类别 Indicator category | 计算方法 Method of calculation | 功能类别 Functional categories |
|---|---|---|
| 年涵养水源量 Annual water conservation capacity | $Q_{wr}=\sum_{i=1}^{n}A_i\times(P_i-R_i-ET_i)\times10^{-3}$ | 水源涵养 Water conservation |
| 年固碳量 Annual carbon sequestration | $G_{碳}=A\times\left(1.63R_{碳}\times B_{年}+F_{土壤碳}\right)\times F$ | 固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release |
| 碳当量 Carbon equivalent | $G_{碳当量}=C_{固碳量}\times44/12$ | |
| 年释氧量 Annual oxygen release | $G_{氧气}=1.19\times A\times B_{年}\times F$ | |
| 年固土量 Annual amount of soil consolidation | $G_{固土}=A\times(X_2-X_1)\times F$ | 保育土壤 Soil conservation |
| 年保肥量 Annual fertilizer retention | $G_{保肥}=A\times(Y_2-Y_1)\times F$ | |
| 年提供负离子量 Annual production of negative ions | $G_{负离子}=5.256\times10^{15}\times Q_{负离子}\times A\times H\times FL$ | 大气净化 Atmospheric cleansing |
| 年吸收气体污染物量 Amount of gas pollutants absorbed per year | $G_{气体}=A\times V\times T\times K\times F$ | |
| 年滞尘量 Annual dust retention amount | $G_{TSP}=Q_{TSP}\times A\times F/1\,000$ | |
| 年养分固持量 Annual nutrient holding capacity | $G_{养分}=A\times(Z_2-Z_1)\times F$ | 养分固持 Nutrient retention |

数；$O_r$为评估林分（区域）内物种 r 的古树年龄指数；$x$ 为计算濒危物种数量；$y$ 为计算特有种数量；$S_{生}$为单位面积的物种多样性保护价值量（元·hm$^{-2}$·年$^{-1}$）；$A$ 为林分面积（hm$^2$）。

**2.5 旗舰物种生态产品价值评价方法** 在濒危物种能值评价体系基础上，进一步补充构建旗舰物种生态产品价值评价方法。旗舰物种因其显著的生态象征意义和广泛的公众关注度，往往具有超出一般濒危物种的生态与社会效益，其价值不仅体现在生态功能本身，还通过伞护效应带动生境整体保护，因此需要单独建立评价模型。首先，依据 Odum 能值理论，计算旗舰物种在维持食物链稳定、促进物质循环、种子传播、改善土壤和维持多样性等功能中的能值输入，并由相应能值转换率转化为统一的太阳能焦耳（sej）[32]。其次，为反映旗舰物种的社会认知价值与生态带动效应，构建旗舰效应指数，包括公众认知度、伞护效应强度和文化服务价值 3 类指标，通过专家赋权计算综合指数，并据此修正其生态能值。最后，结合社会经济系统的能值—货币比率（emergy/money ratio, EMR），将旗舰物种修正后的能值转换为货币价值，从而得到其生态产品价值。具体计算流程见公式（3）。

$$U=\left(1+0.1\sum_{x=1}^{x}E_m+0.1\sum_{y=1}^{y}B_n\right)\times(x+y)\times\frac{\gamma}{EMR}\times Z \tag{3}$$

式中，$U$为特有、濒危和受威胁旗舰物种价值；$E_m$为评估区域内物种 $x$ 的濒危指数；$B_n$为评估区域内物种 $y$ 的特有种指数；$x$为纳入计算的濒危指数物种数；$y$为纳入计算的中国特有种指数物种数；$\gamma$为单个物种能值转化率（sej·种$^{-1}$）；$EMR$ 为全国能值/货币（sej·元$^{-1}$·年$^{-1}$）；$Z$ 为特定区域内某种物种个体数量占全国同类个体数量的比例（%）。

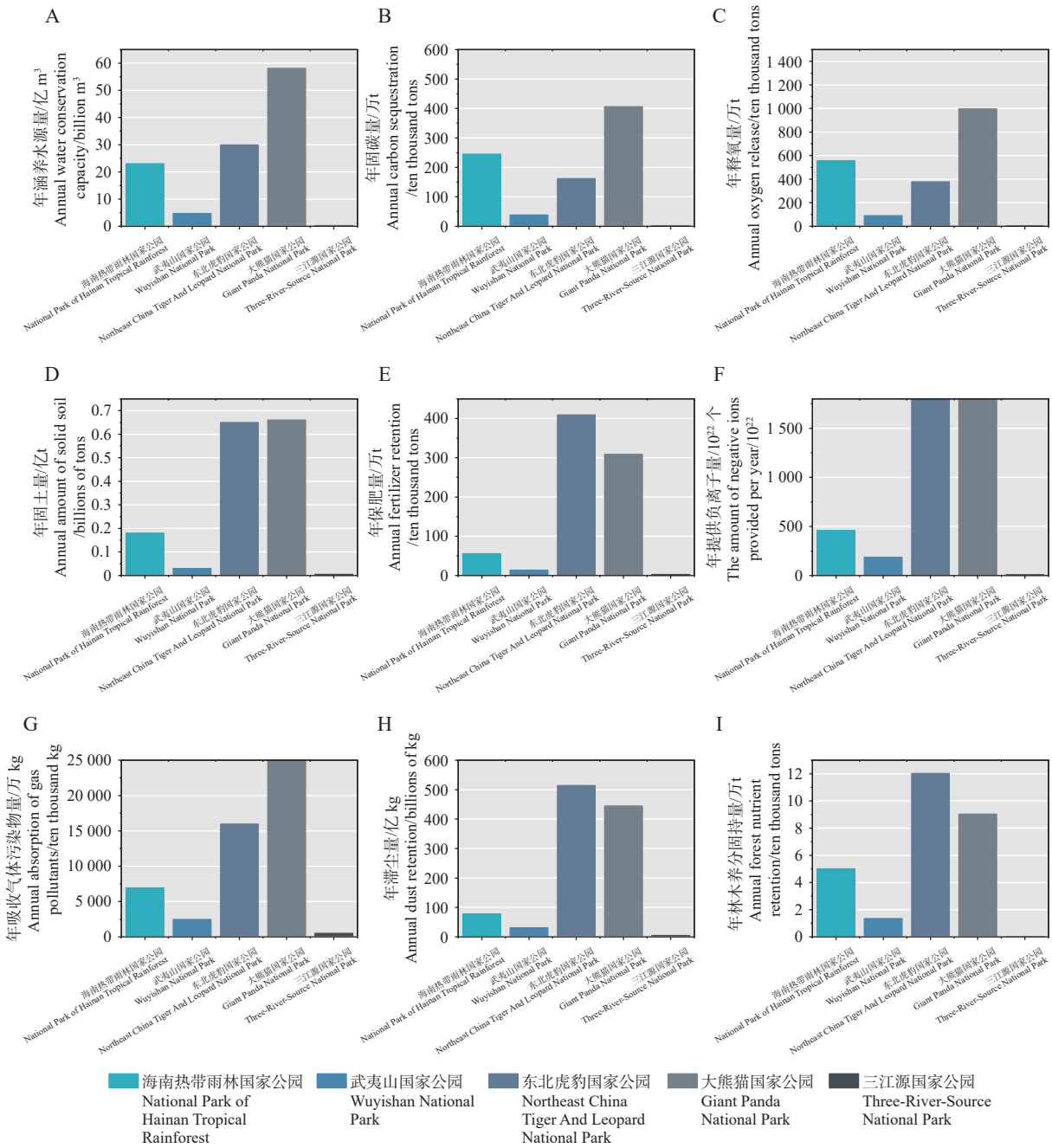
## 3 结果与分析

### 3.1 海南热带雨林国家公园森林生态产品物质量特征及与其他国家公园的比较

**3.1.1 生态产品供给规模特征对比** 根据图 2 所示，海南热带雨林国家公园在水分调蓄、碳循环调节及大气环境改善等方面均形成了较高水平的物质量供给。其年涵养水源量为 23.01 亿 m$^3$（图 2-A），显著高于武夷山（4.71 亿 m$^3$）和三江源国家公园（0.26 亿 m$^3$），但低于大熊猫（58.11 亿 m$^3$）和东北虎豹国家公园（29.94 亿 m$^3$）。

在碳汇类方面，海南热带雨林国家公园年固碳量为 244.76 万 t（图 2-B），对应的碳当量为 897.46 万 t（图 2-C）。该物质量水平低于以温带–山地森林为主的大熊猫国家公园，但明显高于武夷山和三江源国家公园，同时亦高于东北虎豹国家公园。与之相对应，其年释氧量为 556.50 万 t（图 2-D），在 5 个国家公园中处于较高水平。

在大气环境调节方面，海南热带雨林国家公园年吸收气体污染物量为 6 923.66 万 kg（图 2-H），明显高于武夷山和三江源国家公园，但低于东北虎豹和大熊猫国家公园；其年滞尘量为 76.86 亿 kg（图 2-I），在颗粒物拦截方面表现出较强能力。同时，其年提供负离子数量为 459.24×10$^{22}$ 个




A.涵养水源量; B.固碳量; C.释氧量; D.固土量; E.保肥量; F.林木养分固持量; G.吸收气体污染物量; H.滞尘量; I.提供负离子量。

A. Water conservation capacity; B.Carbon sequestration; C. Oxygen release; D. Soil conservation; E. Fertilizer retention; F. Forest nutrient fixation; G. Air pollutant absorption; H. Dust retention; I. Negative ion emission.

**图 2　海南热带雨林国家公园生态产品物质量年总量与其他国家公园特征比较**

**Fig. 2　The annual total quality of ecological products in Hainan Tropical Rainforest National Park was compared with the characteristics of other national parks**

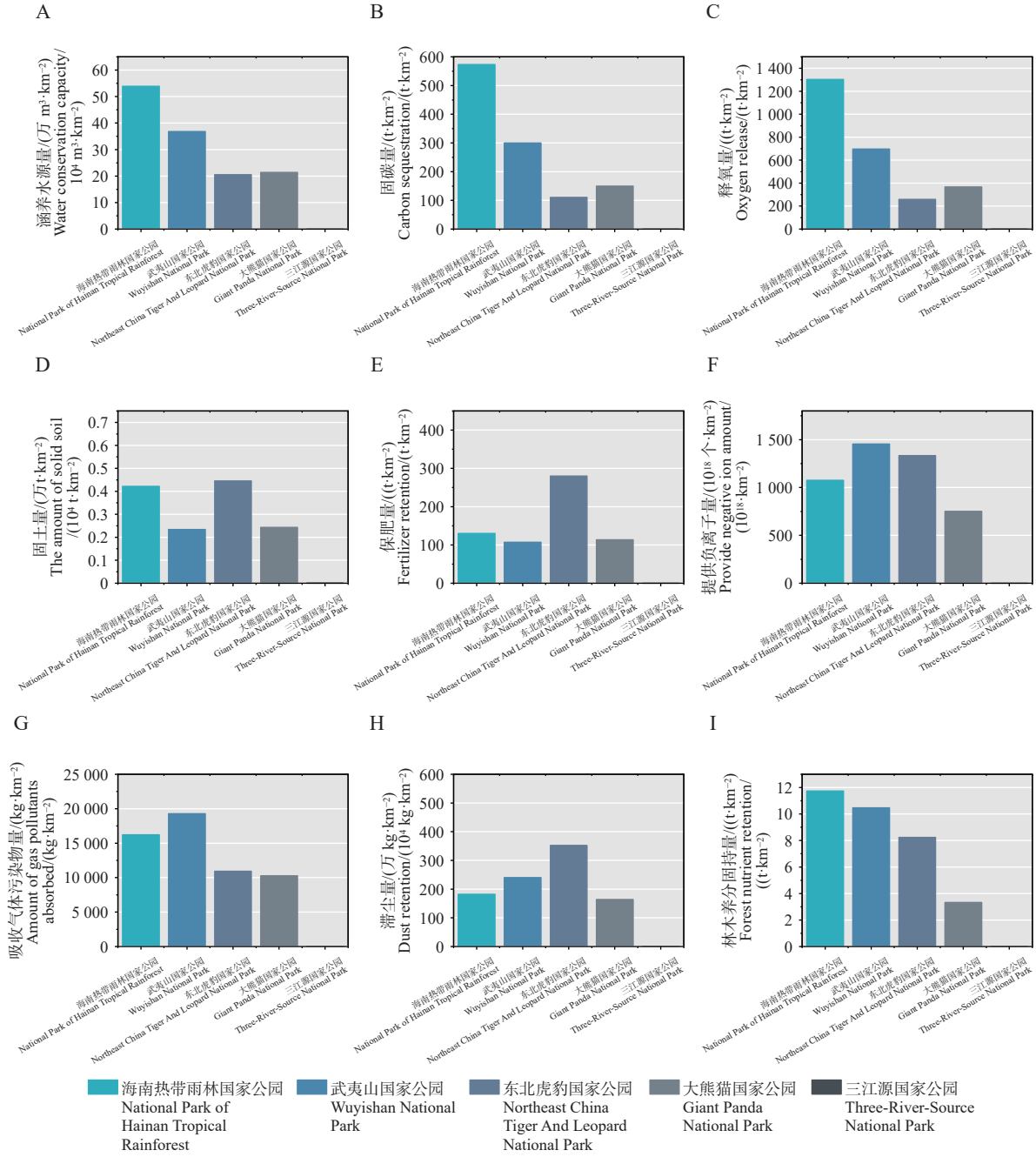
(图 2-G), 整体处于较高水平。

结果显示, 海南热带雨林国家公园年固土量为 0.18 亿 t(图 2-E), 在 5 个国家公园中处于中等水平, 高于武夷山国家公园(0.03 亿 t)和三江源国家公园(0.005 亿 t), 但低于东北虎豹(0.65 亿 t)和大熊猫国家公园(0.66 亿 t)。在养分维持类生态产品方面, 海南热带雨林国家公园年保肥量为 55.61 万 t(图 2-F), 明显高于武夷山和三江源国家公园, 但低于东北虎豹和大熊猫国家公园; 其年林木养分固持量为 5.01 万 t(图 2-I), 同样高于武夷山(1.34 万 t)和三江源(0.03 万 t), 表明在林木生长与养分积累过程中, 海南热带雨林具备较为稳定的支持类生态产品供给能力。

**3.1.2　生态产品供给强度特征**　在单位面积尺度

上，海南热带雨林国家公园在多项生态产品指标上表现出显著的高强度供给特征。如图 3 所示，其单位面积水源涵养量（53.90 万 $m^3 \cdot km^{-2}$）、固碳量（573.34 $t \cdot km^{-2}$）、碳当量（2 102.27 $t \cdot km^{-2}$）及释氧量（1 303.58 $t \cdot km^{-2}$）均为 5 个国家公园中的最高水平，显示出热带森林在单位空间内的高生产力特征。表明了热带雨林在单位面积尺度上的高降水调蓄、强径流调控能力、高初级生产力和高光合固碳效率。

海南热带雨林国家公园在单位面积土壤保育与养分维持方面表现出较强的生态支撑能力。其单位面积固土量达到 0.421 6 万 $t \cdot km^{-2}$，明显高于武夷山国家公园和大熊猫国家公园，与东北虎豹国家公园接近，仅略低于后者，且显著高于三江源




A.年涵养水源量；B.年固碳量；C.年释氧量；D.年固土量；E.年保肥量；F.年林木养分固持量；G.年吸收气体污染物量；H.年滞尘量；I.年提供负离子量。

A. Annual water conservation; B. Annual carbon sequestration; C. Annual oxygen release; D. Annual soil conservation; E. Annual nutrient retention; F. Annual forest nutrient fixation; G. Annual air pollutant absorption; H. Annual dust retention; I. Annual negative ion emission.

**图 3 海南热带雨林国家公园生态产品物质量年单位面积产量与其他国家公园特征比较**

**Fig. 3 Comparison of the annual yield per unit area of ecological products between Hainan Tropical Rainforest National Park and other national parks**

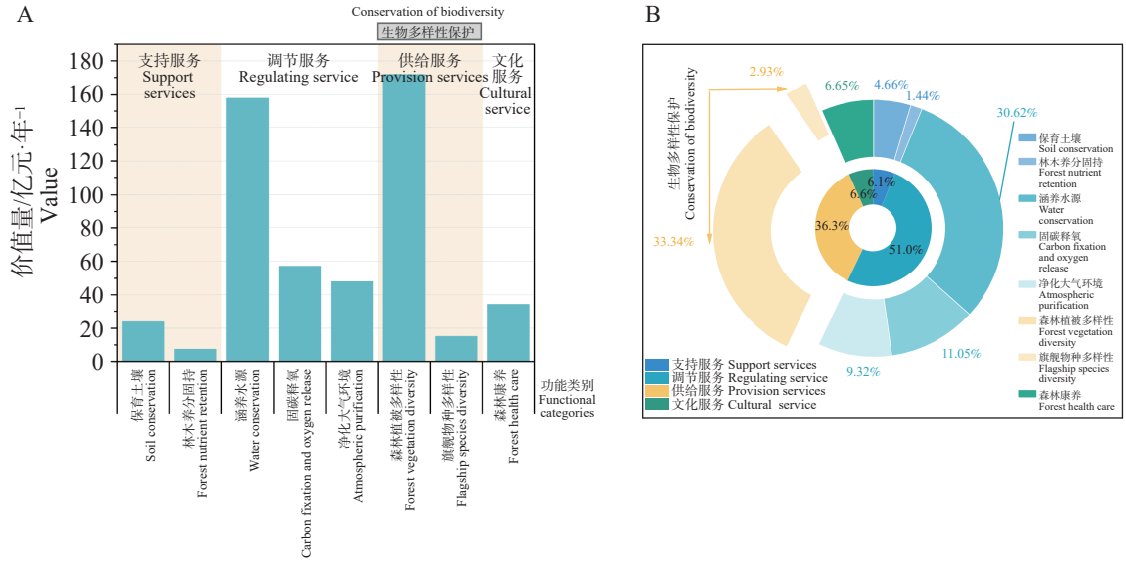
国家公园(图 3-D); 其单位面积保肥量为 130.26 t·km$^{-2}$, 高于武夷山和大熊猫国家公园, 但低于东北虎豹国家公园(图 3-E), 反映出不同气候带森林在养分循环路径上的差异。同时, 海南热带雨林国家公园单位面积林木养分固持量达到 11.74 t·km$^{-2}$, 在 5 个国家公园中处于较高水平, 明显高于东北虎豹、大熊猫和三江源国家公园(图 3-I)。

在大气环境调节方面, 海南热带雨林国家公园的单位面积吸收气体污染物量为 16 218.46 kg·km$^{-2}$, 略低于武夷山国家公园(19 273.44 kg·km$^{-2}$), 但明显高于东北虎豹和大熊猫国家公园, 远高于三江源国家公园(图 3-G); 其单位面积滞尘量为 182.38 万 kg·km$^{-2}$, 处于中等偏高水平, 高于大熊猫国家公园, 但低于东北虎豹和武夷山国家公园(图 3-H)。此外, 海南热带雨林国家公园单位面积负离子提供量达到 1 075.76×10$^{18}$ 个·km$^{-2}$, 高于大熊猫国家公园, 但低于武夷山和东北虎豹国家公园, 整体表现出较强的大气环境改善能力(图 3-F)。

**3.1.3　总量—单位面积耦合特征与对比分析**　从生态产品物质量总量来看, 海南热带雨林国家公园在多项生态服务功能上表现突出, 其生态产品供给能力在 5 个国家公园中处于中高水平, 反映了在较大连续森林面积和完整生态系统结构支撑下的综合生态效益。在剥离面积因素影响后, 从单位面积尺度考察生态产品供给强度, 可以更加清晰地识别不同国家公园森林生态系统的内在功能效率差异。结果表明, 海南热带雨林国家公园在单位面积尺度上同样表现出显著的高强度生态产品供给特征, 说明其高生态产品总量并非单纯由面积效应驱动, 而是源于热带森林生态系统本身较高的功能密度。

综合来看, 海南热带雨林国家公园在单位面积尺度上表现出的高强度水源涵养、碳汇与释氧能力, 为其在总量尺度上形成显著生态产品供给优势提供了机制解释。高功能密度的生态产品供给特征, 为森林植被多样性维持及旗舰物种生境质量保障提供了稳定的物质基础, 体现出热带雨林生态系统在不同尺度下的一致性生态服务优势。

**3.2　海南热带雨林国家公园森林生态产品价值结构特征**　海南热带雨林国家公园森林生态系统的生态产品总价值为 515.12 亿元·年$^{-1}$, 在中国现有国家公园体系中处于领先水平。按照生态系统服务的四类属性进行归类, 其价值结构呈现显著差异(图 4)。其中, 调节服务价值量最高, 达 262.66 亿元·年$^{-1}$(图 4-A), 占比 50.99%(图 4-B), 显示热带雨林在气候调节、水文调节和环境净化等方面发挥核心生态功能。据图 4 所示, 供给服务价值为 186.83 亿元·年$^{-1}$, 占比 36.27%, 主要来源于森林生物资源与基于生物多样性的自然资产; 支持服务和文化服务价值分别为 31.38 亿




A.海南热带雨林国家公园生态价值产品不同功能类别的价值量对比; B.海南热带雨林国家公园生态价值产品不同功能类别的价值量占比。

A. Comparison of ecosystem service values across different functional categories in Hainan Tropical Rainforest National Park; B. Proportion of ecosystem service values across different functional categories in Hainan Tropical Rainforest National Park.

**图 4　海南热带雨林国家公园森林生态产品价值**

**Fig. 4　Value of forest ecological products in National Park of Hainan Tropical Rainforest**

元·年$^{-1}$(6.09%)和 34.25 亿元·年$^{-1}$(6.65%)，反映出热带雨林生态系统在维持生产力基础、文化体验与自然教育方面的潜在贡献。

从不同生态产品功能构成来看(图 4)，海南热带雨林国家公园的生态产品供给以生物多样性保护与涵养水源服务为主体，两者合计价值占比超过三分之二，分别占 36.27% 和 30.62%。生物多样性保护价值(森林植被多样性+旗舰物种多样性)为 186.83 亿元·年$^{-1}$，其中，仅旗舰物种海南长臂猿贡献达 15.07 亿元·年$^{-1}$(方法详见 2.4 和 2.5)。这彰显了该物种在海南热带雨林国家公园生态系统服务价值中的突出地位，也印证了中国热带雨林在全球濒危物种保护格局中的关键作用。从单位面积产值来看，在热带雨林国家公园产值为 12.06 万元·km$^{-2}$(表 2)，相较于常规农业产值水平具有一定的优势。

**表 2 海南热带雨林国家公园生态产品四大服务核算结果**

Tab. 2 Accounting results of four major services of ecological products in Hainan Tropical Rainforest National Park

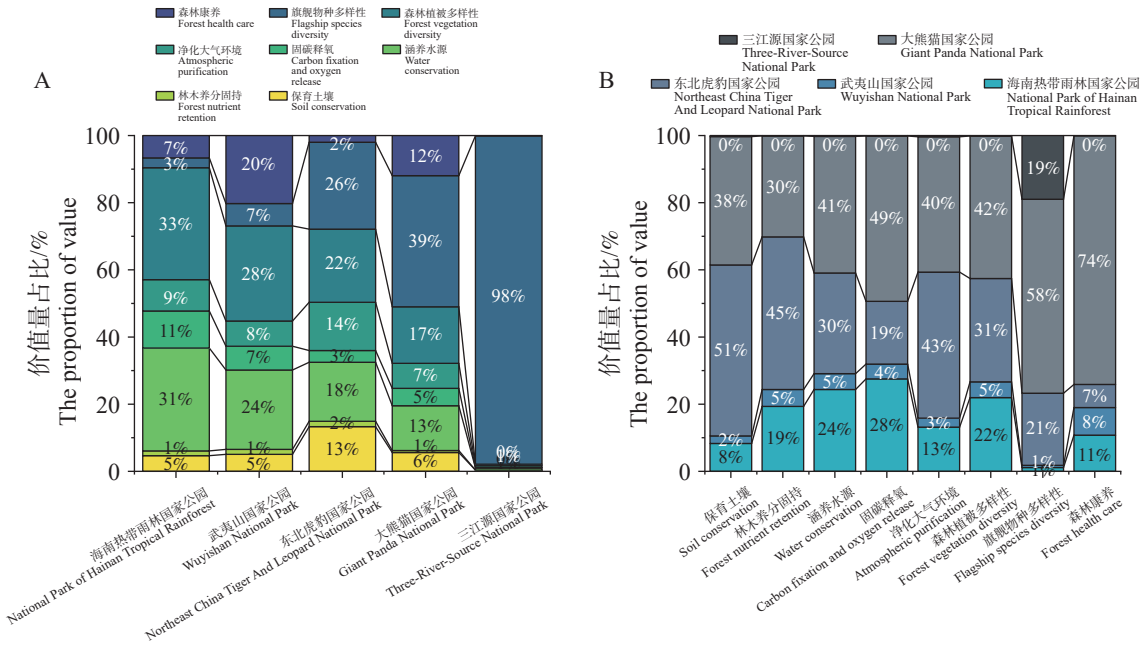
| 服务类别 Service class | 功能类别 Functional categories | | 价值量/(亿元·年$^{-1}$) Value | | 单位面积产值/(万元·hm$^{-2}$) Output value per unit area |
|---|---|---|---|---|---|
| 支持服务 Support services | 保育土壤Soil conservation | | 23.98 | 31.38 | 0.735 066 76 |
| | 林木养分固持Forest nutrient retention | | 7.40 | | |
| 调节服务 Regulating service | 涵养水源Water conservation | | 157.71 | 262.66 | 6.152 728 976 |
| | 固碳释氧Carbon fixation and oxygen release | | 56.94 | | |
| | 净化大气环境Atmospheric purification | | 48.01 | | |
| 供给服务 Provision services | 生物多样性保护 Conservation of biodiversity | 森林植被多样性 Forest vegetation diversity | 171.76 | 186.83 | 4.376 434 762 |
| | | 旗舰物种多样性 Flagship Species Diversity | 15.07 | | |
| 文化服务 Cultural service | 森林康养Forest health care | | 34.25 | 34.25 | 0.802 295 620 |
| 总计 Grand total | | | 515.12 | | 12.066 526 120 |

总体来看，海南热带雨林国家公园生态产品价值体系呈现出调节服务占主导、生物多样性与水源涵养突出、文化与支持服务协同贡献的格局。这一结构特征不仅反映热带雨林

**3.3 海南热带雨林国家公园森林生态产品价值差异与多样性保护功能比较** 如图 5 所示，结果表明，海南热带雨林国家公园的生态产品供给能力呈现显著的热带森林特征，其生态系统服务结构均衡，功能贡献分布相对稳定。涵养水源与森林植被多样性是其生态系统最主要的生态产品，两项功能价值分别占总价值量的约 31% 和 32%，共同构成热带雨林服务的核心。这一结构特征反映出热带森林在水文调节与生物多样性维持方面的高度协同效应，也突显了海南热带雨林在区域生态安全格局中的关键地位。

与其他类型国家公园相比，海南热带雨林国家公园的森林生态产品供给呈现明显的均衡型特征。其固碳释氧、空气净化、土壤保持、森林康养等生态产品在物量和价值量上表现稳定，各项功能之间差异较小，没有出现某一生态产品极端占优的情况。这区别于旗舰物种保护主导的大熊猫和东北虎豹国家公园，也不同于森林规模受到自然条件限制的三江源国家公园。热带雨林生态系统高生产力、高生物多样性和快速物质循环的生态学属性，使其在多种生态产品供给方面保持较高且相对均衡的输出能力(图 5-A)。

如图 5-B 所示，大熊猫和东北虎豹国家公园的生态产品结构高度集中于旗舰物种保护，贡献占比远高于其他功能；三江源国家公园则因森林覆盖度低，其森林生态产品整体规模有限；武夷山国家公园虽具良好的生态系统原真性，但生态产品量级明显小于热带雨林地区。相比之下，海南热带雨林国家公园在涵养水源、生物多样性维持与固碳释氧等关键功能上均保持全国前列，生态调节服务与生态支持服务的综合贡献度明显高于其他公园，展现了热带森林在多功能生态产品供




A.五大国家公园不同功能类别价值量占比; B.不同功能类别在五大国家公园中的价值量占比。

A. Proportion of ecosystem service values across different functional categories in the five national parks; B. Proportion of ecosystem service values of different national parks within each functional category.

**图 5　国家公园森林生态产品和旗舰物种多样性保护价值比较**

**Fig. 5　Comparison of the conservation value of forest ecological products and flagship species diversity in national parks**

给中的独特优势。

总体来看，海南热带雨林国家公园以生物多样性—水源调节为主导功能，以多元生态产品均衡供给为突出特征，是五个国家公园中生态产品结构最为协调、生态服务维度最为丰富的区域。

## 4　讨　论

海南热带雨林国家公园生态价值结构中生物多样性保护与涵养水源功能占据主导地位，这与全球热带森林生态系统服务研究的共识高度一致。国际千年生态系统评估(millennium ecosystem assessment, MA)及后续的生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台(intergovernmental science-Policy platform for biodiversity and ecosystem services, IPBES)报告都表明，热带雨林在提供调节服务(如碳汇、水文调节)和维护生物多样性方面具有不可替代性[33]。海南热带雨林的水源涵养能力强、植被类型丰富，与亚马逊流域、西非宽扎盆地等全球重点热带区域类似，其生态系统结构稳定、物种多样性高，是调节区域气候和水循环的重要“自然基础设施”[34–37]。这说明国家公园体制对具有国际重要性的生态过程的重要意义。与此同时，该公园生态产品供给功能较为均衡，这在国内外的公园体系中尤为难得。许多国家公园(无论是国内的大熊猫、东北虎豹公园，还是国际上的某些旗舰物种型公园)往往在某一功能上高度集中，如旗舰物种保护或碳汇，而忽视了其他服务功能的多元性[14–15]。在海南热带雨林国家公园，调节、供给、支持和文化服务四类服务均有较为稳定的价值输出，这显示了该地管理机制在保护优先与多功能供给之间取得了较好平衡。这种多功能均衡型服务格局在理论上与自然资本综合管理(natural capital integrated management)的理念相契合，即既保护自然资产，又实现生态服务的持续供给。从物种保护的角度看，海南长臂猿作为旗舰物种，其价值显著[38–39]。这不仅体现了其物种本身的稀缺性和生态指示意义，更反映出国家公园对极度濒危灵长类动物的制度保障。与其他国家公园相比(如大熊猫和东北虎豹国家公园)，海南热带雨林国家公园虽然在价值量规模上不及这些大型陆地旗舰动物所带来的巨额保护价值，但其生态功能更加多元、生态系统结构更加复杂[40]。在全球性框架中，这种基于生态系统完整性的保护方式是有效维持生态网络连通性的关键，对缓解栖息地破碎化问题具有重要意义。

此外，从生态系统服务管理与政策视角来看，

海南热带雨林国家公园的经验具有示范意义。首先，其价值结构分析为国家公园自然资产核算提供了可操作的范式。在国内，“自然资产负债表”“生态补偿机制”逐渐被纳入国家和地方政策议程，而海南公园的数据可以直接支持这些制度机制的设计[41]。其次，其多功能均衡的生态服务输出提示我们，在国家公园规划和管理中，不能仅强调少数生态产品（如旅游或碳汇），还应全面考虑生态系统的多维价值。最后，从气候变化适应与生态恢复角度出发，在国际上越来越多地强调建立 NBS 以提升区域气候韧性[42]。海南热带雨林国家公园正好提供了通过保护高质量热带森林，提升碳汇、水源涵养与生物多样性三重协同效应的一个典型。

本研究也存在一些局限性。首先，生态产品价值评估基于量化模型和可观测数据，难以充分涵盖所有文化服务（如精神文化、传统知识等）。其次，本研究主要依赖森林生态量清技术方法学体系，该方法在某些服务（如微生物功能、多样性内部差异）方面尚难量化。未来研究应进一步结合定性调研、生态经济模型与长期监测，以更全面地捕捉国家公园自然资产和生态服务的动态变化。此外，还应加强与当地社区、旅游业以及管理机构之间的协同，通过生态补偿、生态红线、自然资产管理等制度设计，将生态产品价值转化为可持续的管理机制，推动国家公园的长远发展。

## 5 结 论

本研究估算了海南热带雨林国家公园生态系统服务总价值为 515.12 亿元·年$^{-1}$，调节服务贡献最高，供给、文化与支持服务依次递减。生物多样性保护与水源涵养构成生态价值的主体功能，并与海南省生态产品价值的功能结构高度契合，表明国家公园在支撑全岛生态安全格局与维持生态系统稳定性方面具有不可替代的战略地位。整体上，海南热带雨林国家公园各类生态服务功能发展均衡，充分印证其生境格局的完整性、生态过程的连续性及管理措施的有效性。持续强化极小种群物种保护、保持森林原真性结构与提升区域水文过程调控能力，仍是未来国家公园管理的重点方向。建议进一步完善长期监测体系，优化生态价值核算方法，并推动生态产品价值在国家公园治理与政策制定中的常态化应用，为中国国家公园体系的高质量建设提供科学支撑。

## 参考文献：

[1] Wu D F, Guo Z Y, Yin X B, et al. Metal-organic frameworks as cathode materials for Li-$O_2$ batteries[J]. Advanced Materials, 2014, 26(20): 3258−3262. https://doi.org/10.1002/adma.201305492

[2] Jiang W, Marggraf R. A theoretical rethinking of ecosystem services from the perspective of social-ecological system [J]. iScience, 2025, 28(5): 112309. https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112309

[3] Zhang L B, Wang J Q, Wang H G, et al. Preparation, mechanical and thermal properties of functionalized graphene/polyimide nanocomposites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2012, 43(9): 1537−1545. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.03.026

[4] Mandle L, Bryant B P, Ruckelshaus M, et al. Entry points for considering ecosystem services within infrastructure planning: how to integrate conservation with development in order to aid them both[J]. Conservation Letters, 2016, 9(3): 211−227. https://doi.org/10.1111/conl.12201

[5] Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services [J]. Global Environmental Change, 2014, 26: 152−158. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

[6] Wang R W, Yang C Y, Zhao G F, et al. Fragmentation effects on diversity of wasp community and its impact on fig/fig wasp interaction in *Ficus racemosa* L.[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(1): 20−26. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00003.x

[7] 马友鑫, 刘玉洪, 张克映. 西双版纳热带雨林片断小气候边缘效应的初步研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(3): 250−255.

[8] 金振洲. 西双版纳热带雨林植物种类组成的生态结构多样性特征[J]. 植物多样性, 1997, 19(S9): 1−3.

[9] 胡玉佳, 李玉杏. 海南岛热带雨林[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1992.

[10] Liquete C, Kleeschulte S, Dige G, et al. Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: a pan-European case study[J]. Environmental Science & Policy, 2015, 54: 268−280. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009

[11] Maes J, Barbosa A, Baranzelli C, et al. More green infrastructure is required to maintain ecosystem services under current trends in land-use change in Europe[J]. Landscape Ecology, 2015, 30(3): 517−534. https://doi.org/10.1007/s10980-014-0083-2

[12] 文一惠, 刘桂环, 王金南, 等. 面向 2035 生态产品价值实现推进战略研究[J]. 中国工程科学, 2025, 27(5): 19−29. https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2025.07.008

[13] 何思源. 中国国家公园治理中的社区角色及其巩固与发展[J]. 自然资源学报, 2024, 39(10): 2310−2334. https://doi.org/10.31497/zrzyxb.20241004
[14] 刘世荣. 刊首语: "海南热带雨林国家公园"专刊[J]. 陆地生态系统与保护学报, 2022, 2(6): 1.
[15] 郝天象, 王兵, 牛香, 等. 全面提升我国森林生态系统质量和稳定性的实践与思考[J]. 陆地生态系统与保护学报, 2022, 2(5): 13−31. https://doi.org/10.12356/j.2096-8884.2022-0081
[16] 吴意, 姚欣钰, 卢桦, 等. 语域分析视角下国家公园官网话语对比研究: 以英国邱园和海南热带雨林国家公园为例[J]. 现代语言学, 2024, 12(5): 196−201. https://doi.org/10.12677/ml.2024.125348
[17] 王少杰, 严铭海, 黄清麟, 等. 海南热带雨林国家公园 3 种半天然林特征[J]. 森林与环境学报, 2023, 43(5): 498−506. https://doi.org/10.13324/j.cnki.jfcf.2023.05.007
[18] 姚小兰, 周琳, 吴挺勋, 等. 海南热带雨林国家公园高速公路穿越段景观动态与生态风险评估[J]. 生态学报, 2023, 42(16): 6695−6703. https://doi.org/10.5846/stxb202006191601
[19] 秦子薇, 张玉钧, 杜松桦. 国家公园社区居民可持续生计研究: 以海南热带雨林国家公园霸王岭片区为例[J]. 自然保护地, 2023, 3(1): 1−14. https://doi.org/10.12335/2096-8981.2022031501
[20] 高艳妮, 张林波, 李凯, 等. 生态系统价值核算指标体系研究[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 58−65. https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2018.10.13
[21] 张林波, 陈鑫, 梁田, 等. 我国生态产品价值核算的研究进展、问题与展望[J]. 环境科学研究, 2023, 36(4): 743−756. https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2023.02.01
[22] Wang G Q, Scherson R A, Vera D, et al. Spatial patterns and drivers of native plant diversity in Hainan, China[J]. Journal of Systematics and Evolution, 2024, 62(4): 603−620. https://doi.org/10.1111/jse.13017
[23] 郭起荣. 中国森林植物种质资源保育[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2006.
[24] 刘浩栋. 海南岛陆均松天然群落多样性格局及维持机制研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2021. https://doi.org/10.27625/d.cnki.gzlky.2021.000131
[25] 黄佳欣, 杜彦君, 李东海, 等. 海南潜在世界自然遗产地的突出普遍价值初探[J]. 广西植物, 2023, 43(9): 1678−1687. https://doi.org/10.11931/guihaia.gxzw202203035
[26] 王兵. 森林生态连清技术体系构建与应用[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(1): 1−8. https://doi.org/10.13332/j.cnki.jbfu.2015.01.011
[27] Fu B J, Li S G, Yu X B, et al. Chinese ecosystem research network: Progress and perspectives [J]. Ecological Complexity, 2010, 7(2): 225−233. https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.02.007
[28] LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范[S].
[29] GB/T 38582—2020 森林生态系统服务功能评估规范[S].
[30] 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. https://doi.org/10.11707/j.1001-7488.20110220
[31] 国家林业局中国森林生态系统服务功能评估项目组. 中国森林资源及其生态功能四十年监测与评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018: 119−121, 220−223.
[32] Abel T, Howard T. Odum's contributions to evolutionary theory[J]. Ecological Modelling, 2025, 509: 111263. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111263
[33] 苏凯文, 马丽, 杨光. 国家公园生态产品价值实现的理论阐释、机制解析与模式总结[J]. 国家公园 (中英文), 2025,3(2):117−125.https://doi.org/10.20152/j.np.202409190100
[34] 高玮, 屈文军. 非洲地区大气气溶胶光学厚度时空变化及亚速尔高压对沙尘越大西洋传输的影响[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(4): 81−92. https://doi.org/10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.04.009
[35] 徐雪, 罗娅, 杨胜天, 等. 全球不同气候带陆地植被净初级生产力变化趋势与可持续性[J]. 生态学报, 2023, 43(9): 3729−3743. https://doi.org/10.5846/stxb202205061255
[36] 海南热带雨林国家公园水源涵养服务时空演变及驱动因素分析[J]. 环境科学研究, 2023, 36(9): 1728−1736. https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2023.06.13
[37] Van der Ent R J, Savenije H H G, Schaefli B, et al. Origin and fate of atmospheric moisture over continents, Water Resources Research, 2010, 46, W09525. https://doi.org/10.1029/2010WR009127
[38] 张颖. 生态系统经济服务价值的综合管理[J]. 环境保护, 2012(17): 19−21. https://doi.org/10.14026/j.cnki.0253-9705.2012.17.011
[39] 甘大力, 王震声. 环境资源与自然资本[J]. 中山大学学报论丛, 2001, 21(4): 217−220. https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-3202.2001.04.047
[40] Yao X L, Zhou L, Wu T X, et al. Ecosystem services in national park of Hainan tropical rainforest of China: Spatiotemporal dynamics and conservation implications [J]. Journal for Nature Conservation, 2024, 80: 126649. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126649
[41] 张兴, 姚震. 新时代自然资源生态产品价值实现机制[J]. 中国国土资源经济, 2020, 33(1): 62−69. https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.000374.
[42] 卢风. 论基于自然的解决方案 (NbS) 与生态文明[J]. 福建师范大学学报 (哲学社会科学版), 2020(5): 44−53. https://doi.org/10.12046/j.issn.1000-5285.2020.05.006

# Study on the supply capacity of ecological products in National Park of Hainan Tropical Rainforest

Xia Tianbo[1,2,3#], Wang Bing[1,2,3], Niu Xiang[1,2,3*]

（1. Hainan Institute of National Park/Key Laboratory of Protection and Development for Hainan National Park, Haikou, Hainan 570203, China; 2. Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Key Laboratory of Forest Ecology andEnvironment of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China）

**Abstract:** National Park of Hainan Tropical Rainforest is the only island-type tropical rainforest reserve in China. It has extremely high biodiversity and key ecological functions, and is also the only habitat for the global critically endangered species of Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*). Based on the technical method system of forest ecological inventory, this paper integrates the continuous inventory of forest resources, forest ecological inventory and social public data, systematically evaluates the supply capacity of ecological products from the two dimensions of material quality and value of ecological products, and compares it with Sanjiangyuan, Giant Panda, Northeast Tiger and Leopard, Wuyishan and other national parks. The results showed that the total annual value of ecological products in the forest ecosystem of the park was about 51.512 billion yuan, of which the regulation service accounted for the highest proportion (50.99%), and the supply, culture and support services accounted for 36.27%, 6.65% and 6.09%, respectively. In the functional structure, biodiversity conservation and water conservation are the core functions, accounting for 32% and 31% of the total value, respectively. The conservation value of the flagship species Hainan gibbon reached 15.07 billion yuan/year. Compared with other national parks, the supply structure of ecological products in National Park of Hainan Tropical Rainforest is more balanced. The study emphasizes the important role of tropical island national parks in ecological security maintenance, species protection and diversified ecological service supply, and has demonstration significance for promoting the construction of ecological civilization and the high-quality development of nature reserve system in China.

**Keywords:** National Park of Hainan Tropical Rainforest; ecological products; supply capacity; the value of ecosystem services; national Park System.

(责任编辑:钟云芳)