

# 自然解决方案背景下的辽宁省森林生态系统服务主导功能评估

许庭毓<sup>1,2,3</sup>, 牛香<sup>1,2,3</sup>, 王兵<sup>1,2,3</sup>, 宋庆丰<sup>1,2,3</sup>

(1.中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091; 2.国家林业和草原局森林生态环境重点实验室,北京 100091; 3.江西大岗山森林生态系统国家野外科学观测研究站,江西 分宜 336606)

**摘要:** [目的] 对辽宁省森林生态系统的主导服务功能进行评估,并分析其作为基于自然的解决方案的意义和可行性,为探索符合中国国情的基于自然的解决方案(NbS)提供理论依据。[方法] 基于辽宁省2017年森林资源2类调查数据,根据中华人民共和国国家标准《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T38582-2020),应用分布式测算方法,对辽宁省森林生态系统绿色水库、绿色碳库、净化环境氧吧库和生物多样性基因库4项主导服务功能进行评估,并探讨其对于解决社会挑战的贡献。[结果] 全省4大主导功能价值量分别为: $1.71 \times 10^{11}$ ,  $8.24 \times 10^{10}$ ,  $3.40 \times 10^{10}$ ,  $9.69 \times 10^{10}$ 元/a。森林生态系统服务功能整体上呈现:辽东山区>辽西北地区>辽中南平原沿海地区的分布格局,丹东市、抚顺市和本溪市各项服务功能较高,沈阳市、锦州市和盘锦市各项服务功能较低。[结论] 在全球变化和实现可持续发展目标时间越来越紧迫的背景下,基于自然的解决方案的内涵与生态系统服务对人类福祉的贡献不谋而合。森林生态系统各项服务功能的充分发挥有助于解决气候变化、生物多样性丧失、环境退化等问题。

**关键词:** 基于自然的解决方案; 森林生态系统服务; 辽宁省; 可持续发展

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)05-0191-07

中图分类号: S718.5

**文献参数:** 许庭毓, 牛香, 王兵, 等.自然解决方案背景下的辽宁省森林生态系统服务主导功能评估[J].水土保持通报,2021,41(5):191-197.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.05.026; Xu Tingyu, Niu Xiang, Wang Bing, et al. Evaluation on leading functions of forest ecosystem services in Liaoning Province based on nature-based solutions [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(5):191-197.

## Evaluation on Leading Functions of Forest Ecosystem Services in Liaoning Province Based on Nature-based Solutions

Xu Tingyu<sup>1,2,3</sup>, Niu Xiang<sup>1,2,3</sup>, Wang Bing<sup>1,2,3</sup>, Song Qingfeng<sup>1,2,3</sup>

(1. *Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*; 2. *Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China*; 3. *Dagangshan National Key Field Observation and Research Station for Forest Ecosystem, Fenyi, Jiangxi 336606, China*)

**Abstract:** [Objective] The leading functions of forest ecosystem services in Liaoning Province were evaluated, and their significance and feasibility as a nature-based solutions were analyzed in order to provide a theoretical basis for exploring nature-based solutions (NbS) suitable to conditions in China. [Methods] Based on the second-category survey data of forest resources in Liaoning Province in 2017, in accordance with the National Standard of the People's Republic of China "Specifications for assessment of forest ecosystem services" (GB/T38582-2020), the distributed measurement method was used to assess and evaluate the four leading service functions (i.e., green reservoir, green carbon pool, environmental oxygen bar pool, and biodiversity

收稿日期:2021-04-06

修回日期:2021-05-24

资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“天然林保护工程生态效益监测评估及示范”(CAFYBB2020ZD002-2);国家重点研发计划项目(2017YFC0503804);中国森林资源核算及林业绿色发展研究项目(2019131046)

第一作者:许庭毓(1997—),男(汉族),辽宁省西丰县人,硕士研究生,主要研究方向为森林生态系统长期监测与评估。Email:545566961@qq.com。

通讯作者:牛香(1982—),女(汉族),内蒙古自治区巴音淖尔市人,博士,副研究员,主要从事森林生态系统长期监测与评估工作。Email:niuxiang@caf.ac.cn。

gene pool), and their contributions to solving social challenges were discussed. [Results] The monetary values of the four leading functions of the province were  $1.71 \times 10^{11}$ ,  $8.24 \times 10^{10}$ ,  $3.40 \times 10^{10}$ , and  $9.69 \times 10^{10}$  yuan/year, respectively. The distribution pattern of the services was mountainous areas in Eastern Liaoning > Northwestern Liaoning > coastal areas of central and Southern Liaoning. Dandong, Fushun, and Benxi had higher service functions, and Shenyang, Jinzhou, and Panjin cities had lower service functions. [Conclusion] In the context of global climate change and the increasingly urgent time to achieve the sustainable development goals, the connotation of NbS coincides with the contribution of ecosystem services to human well-being. The full use of various ecosystem services provided by forests can help solve problems related to climate change, biodiversity loss, and environmental degradation.

**Keywords: nature-based solutions; forest ecosystem services; Liaoning Province; sustainable development**

伴随着气候变化的日益加剧以及人类对土地的不合理利用,陆地生态系统受到了严重的影响,威胁到粮食、水和能源安全,并扩展到对人类健康和福祉的压力上<sup>[1-3]</sup>。面对气候变化和日益加剧的环境、经济和社会压力,可持续发展已经成为世界各国面临的战略问题<sup>[4]</sup>。通过整体性的方法,从生态系统中寻找解决方案不仅可以有效应对各项挑战,而且具有时间和成本效益<sup>[5-6]</sup>。在此背景下,“基于自然的解决方案”(nature-based solutions, NbS)应运而生。NbS 的概念由世界银行于 2008 年首次正式提出<sup>[7]</sup>,然后经由 IUCN 在 2009 年联合国气候变化框架公约中引入并定义,经过欧盟、世界银行、IUCN 等组织以及全世界的学者从不同角度诠释其含义并展开研究<sup>[8-12]</sup>,基于自然的解决方案是采取行动保护、可持续管理和恢复自然和改良的生态系统,有效地适应社会挑战,提供人类福祉和生物多样性利益<sup>[13]</sup>,2020 年由 IUCN 正式发布全球标准,旨在为全球的用户设定框架,以解决一个或多个社会挑战。标准中提及的社会挑战包括气候变化的缓解和适应,灾害风险的降低,经济和社会发展,人类健康,食物生产,用水安全,环境退化和生物多样性的损失等<sup>[14]</sup>。森林生态系统作为陆地生态系统的主体,为人类提供了多种多样的服务,如供给服务、调节服务、文化服务和支持服务等,对于人类福祉具有重大贡献,森林生态系统服务对于帮助人类应对气候变化背景下的危机,推动可持续发展的进程具有重要意义<sup>[15-17]</sup>。NbS 的理念与生态系统服务的核心理念不谋而合,即以人为本,提升人类福祉<sup>[18]</sup>。并且森林生态系统的 4 大主导功能:绿色水库、绿色碳库、净化环境氧吧库和生物多样性基因库可以有效的应对 NbS 标准中提及的社会挑战。找到与生态系统合作的方法,而不是仅仅依靠传统的工程解决方案,可以有效的帮助人类应对气候变化带来的挑战,并极大的节约成本<sup>[19]</sup>。NbS 标准中提出,基于证据的自然价值评估工具以及有关 NbS 对市场和工作的贡献的想法,可以鼓励 NbS 的创造

性融资,从而增加了 NbS 长期成功的可能性<sup>[14]</sup>。本文采用《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T38582-2020)中的评估指标及公式<sup>[20]</sup>,以辽宁省为例,基于森林资源 2 类调查数据、森林生态站提供的生态连清数据以及社会公共数据,对森林生态系统的 4 个主导功能:绿色水库(涵养水源)、绿色碳库(固碳释氧)、净化环境氧吧库(净化大气环境功能)和生物多样性基因库(生物多样性保育功能)进行评估,并阐述其在应对社会挑战过程中发挥的重要作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

辽宁省位于  $38^{\circ} 43' - 43^{\circ} 26'N$ ,  $118^{\circ} 53' - 125^{\circ} 46'E$  之间,地处中国东北地区南部,东部紧邻鸭绿江,与朝鲜民主主义共和国相望,南邻黄海和渤海,西北与内蒙古自治区接壤,西南与河北省毗邻,北部和东北部与吉林省相邻。辽宁省地势由东西向中,由北向南倾斜,根据地形地貌将辽宁省划分为 3 个大区,即辽东山区、辽西北地区、辽中南平原沿海地区。辽宁省大部分属暖温带落叶阔叶林区,全省 2020 年平均气温为  $9.6^{\circ}C$ ,降水量为  $710\text{ mm}$ <sup>[21]</sup>,由东向西递减,土壤主要是两个地带性土壤分布区,即东部的棕壤区和西部的褐土区。截至 2017 年,辽宁省共有森林面积  $5.98 \times 10^6\text{ hm}^2$ ,蓄积量为  $3.28 \times 10^8\text{ m}^3$ ,主要优势树种有红松(*Pinus koraiensis*)、落叶松(*Larix gmelinii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、云杉(*Picea asperata*)、冷杉(*Abies fabri*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 数据来源

①森林资源数据来源于辽宁省林业调查规划监测院提供的 2017 年辽宁省森林资源 2 类调查数据,包括各地市、各树种、各林龄的资源面积和蓄积;②森林生态数据来源于森林生态站的监测数据,主要

包括分布在辽宁省内的 4 个生态站(冰砬山森林生态站、白石砬子森林生态站、辽东半岛森林生态站和辽河平原森林生态站),还包含分布在临近省份的与辽宁省处在同一生态区内的森林生态站(松江源森林生态站、长白山森林生态站和长白山西坡森林生态站;

内蒙古:赛罕乌拉森林生态站、赤峰森林生态站,七老图山森林生态站和特金罕山森林生态站;河北省:塞罕坝森林生态站)以及辽宁省内建立的其他林业辅助监测站点的数据作为补充;③价格参数来自于权威部门发布的相关参数(表 1)。

表 1 数据来源与数据类型

数据来源	数据类型
资源连清数据集	森林面积,林分蓄积
生态连清数据集	年降水量,林分蒸渗量,非林区降水量,无林地蒸发散,森林土壤侵蚀模数,无林地土壤侵蚀模数,土壤容重,土壤含氮量,土壤有机质含量,土层厚度,土壤含钾量,泥沙容重,生物多样性指数,蓄积/生物量,吸收二氧化硫能力,吸收氟化物能力,吸收氮氧化物能力,滞尘能力
社会公共数据集	水库库容造价,水质净化费用,磷酸二铵含氮量,磷酸二铵含磷量,氯化钾含钾量,磷酸二铵价格,氯化钾价格,有机质价格,二氧化碳含碳比例,碳价格,氧气价格,二氧化硫治理费用,燃煤污染收费标准,大气污染收费标准,排污收费标准

1.2.2 评估方法 选取绿色水库(涵养水源)、绿色碳库(固碳释氧)、净化环境氧吧库(净化大气环境)和生物多样性基因库(生物多样性保护)4 大主导功能,参照《森林生态系统服务功能评估规范》(GB/T38582-

2020),结合辽宁省森林资源 2 类调查数据和周边生态站的监测数据,对进行评估(表 2)。通过 Excel 软件进行数据的计算与分析,空间分布图利用 ArcGIS 10.4 软件制作。

表 2 森林生态系统服务功能评估模型

服务功能	指标	物质量评估模型	价值量评估模型
涵养水源	调节水量	$G_1 = 10A \times (P - E - C)$ 式中: $G_1$ 为评估林分年调节水量( $m^3/a$ ); $A$ 为林分面积( $hm^2$ ); $P$ 为实测林分降水量( $mm/a$ ); $E$ 为实测林分蒸散量( $mm/a$ ); $C$ 为实测林分地表径流量( $mm/a$ )	$U_1 = G_1 \times C_1 + G_2 \times C_2$ 式中: $U_1$ 为评估林分涵养水源价值量( $元/a$ ); $C_1$ 为水资源市场交易价格( $元/m^3$ ); $C_2$ 为水的净化费用( $元/m^3$ )
	净化水质	$G_2 = 10A \times (P - E - C)$ 式中: $G_2$ 为评估林分年净化水量( $m^3/a$ )	
固碳释氧	固碳	$G_3 = 1.63 \times R \times A \times B + A \times S$ 式中: $G_3$ 为评估林分年固碳量( $t/a$ ); $R$ 为二氧化碳中碳含量; $B$ 为实测林分净生产力( $t/(hm^2 \cdot a)$ ); $S$ 为单位面积实测林分土壤固碳量( $t/hm^2$ )	$U_2 = G_3 \times C_3 + G_4 \times C_4$ 式中: $U_2$ 为评估林分固碳释氧价值量( $元/t$ ); $C_3$ 为固碳价格( $元/t$ ); $C_4$ 为氧气价格( $元/t$ )
	释氧	$G_4 = 1.19 \times A \times B$ 式中: $G_4$ 为评估林分年释氧量( $t/a$ )	
净化大气环境	提供负离子	$G_5 = 5.256 \times 10^{15} \times Q_1 \times A \times H / L$ 式中: $G_5$ 为评估林分年提供负离子数( $个/a$ ); $Q_1$ 为实测林分负离子浓度( $个/cm^3$ ); $H$ 为实测林分高度( $m$ ); $L$ 为负离子寿命( $min$ )	$U_3 = G_5 \times C_5 \times (Q_1 - 600) + \sum_{i=3}^5 Q_i \times A \times \sum_{j=6}^8 C_j + G_7 \times C_9$ 式中: $U_3$ 为评估林分净化大气环境价值量( $元/a$ ); $C_5$ 为负离子生产费用( $元/个$ ); $C_j$ 为气体污染物治理费用( $元/t$ ); $C_9$ 为降尘清理费用( $元/t$ )
	吸收气体污染物	$G_6 = (Q_3 + Q_4 + Q_5) \times A$ 式中: $G_6$ 为评估林分年吸收气体污染物量( $t/a$ ); $Q_3$ 为单位面积实测林分吸收二氧化碳量( $t/(hm^2 \cdot a)$ ); $Q_4$ 为单位面积实测林分吸收氮氧化物量( $t/(hm^2 \cdot a)$ ); $Q_5$ 为单位面积实测林分吸收氟化物量( $t/(hm^2 \cdot a)$ )	
	滞纳 TSP	$G_7 = Q_6 \times A$ 式中: $G_7$ 为评估林分年滞尘量( $t/a$ ); $Q_6$ 为实测林分单位面积滞纳 TSP 量( $t/(hm^2 \cdot a)$ )	
生物多样性	物种资源保育		$U_4 = (1 + \sum_{m=1}^x E_m \times 0.1 + \sum_{n=1}^y B_n \times 0.1 + \sum_{r=1}^z O_r \times 0.1) \times S' \times A$ 式中: $U_4$ 为评估林分物种资源保育价值量( $元/a$ ); $E_m$ 为评估林分内物种 $m$ 的珍稀濒危指数; $B_n$ 为评估林分内物种 $n$ 的特有种指数; $O_r$ 为评估林分内物种 $r$ 的古树年龄指数; $x$ 为计算珍稀濒危物种的数量; $y$ 为计算特有种物种的数量; $z$ 为计算古树物种数量; $S'$ 为计算单位面积物种资源保育价值( $元/hm^2$ )

## 2 结果与分析

### 2.1 物质质量评估结果

根据相关数据以及规范中的公式计算得出辽宁省森林生态系统提供服务功能的物质质量结果。作为陆地生态系统的主体,森林为全省社会发展提供着丰富多样的产品和服务,在水土保持、维护生态安全、应对气候变化、净化大气和支撑人类生存发展等方面发挥了十分独特而重要的作用,在推进生态文明建设中居于不可或缺的地位。从受益范围看,辽宁省森林生态系统不仅为当地人民提供了多种生态服务,也对周

边区域乃至全球的经济社会可持续发展至关重要。从表 3 中可以看出,森林生态系统服务功能的空间差异明显。盘锦市由于其森林面积较小,所以各项服务功能的物质质量均为全省最低,提供负离子功能、吸收污染气体功能,滞纳 TSP,滞纳 PM<sub>10</sub> 功能物质最高的地市为抚顺市,其余各项功能物质最高的地市均为丹东市。丹东市、抚顺市和本溪市由于处于辽宁省东部沿海地区,森林面积大,质量高,各项服务功能物质质量均较高,且 3 市各项森林生态系统服务功能之和占到全省各项服务功能总物质质量的 40% 以上,而营口市、沈阳市、锦州市和盘锦市各项服务功能占比较低。

表 3 辽宁省各地市森林生态系统服务功能物质质量评估结果

地级市	$G_{\text{水}}$	$G_{\text{碳}}$	$G_{\text{氧}}$	$G_{\text{负离子}}$	$G_{\text{SO}_2}$	$G_{\text{HF}}$	$G_{\text{NO}_x}$	$G_{\text{TSP}}$	$G_{\text{PM}_{10}}$	$G_{\text{PM}_{2.5}}$
沈阳市	5.26	42.35	99.35	0.15	1.44	0.05	0.08	196.39	35.80	9.21
大连市	15.32	127.45	286.47	0.26	4.79	0.17	0.31	620.25	154.93	43.76
鞍山市	16.87	135.72	301.14	0.21	4.11	0.19	0.33	503.19	161.41	46.98
抚顺市	31.13	291.04	692.34	0.543	12.24	0.26	0.54	1 716.13	420.83	115.93
本溪市	26.43	243.27	579.60	0.41	8.73	0.27	0.45	1 154.56	310.37	90.36
丹东市	38.49	336.85	784.77	0.538	10.79	0.42	0.69	1 363.16	405.91	120.66
锦州市	4.85	44.31	97.70	0.12	1.81	0.05	0.10	258.63	46.36	12.15
营口市	8.76	70.57	157.93	0.108	2.00	0.11	0.17	234.76	78.35	23.82
阜新市	9.89	103.89	241.65	0.34	4.38	0.10	0.20	621.82	82.87	20.87
辽阳市	7.37	65.09	151.60	0.107	2.14	0.08	0.13	274.61	74.71	22.44
盘锦市	0.24	2.75	6.59	0.01	0.07	0.00	0.00	8.11	0.97	0.26
铁岭市	15.36	138.79	318.59	0.29	5.70	0.14	0.29	796.91	178.31	48.30
朝阳市	14.30	214.61	454.86	0.52	10.02	0.18	0.41	1 682.55	71.21	19.24
葫芦岛市	13.93	121.86	268.20	0.28	4.96	0.15	0.27	722.60	142.37	39.14
合计	208.20	1 938.55	4 440.79	3.89	73.18	2.17	3.97	10 153.67	2 164.40	613.12

注: $G_{\text{水}}$ 为调节水量( $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ); $G_{\text{碳}}$ 为固碳物质质量( $10^4 \text{ t/a}$ ); $G_{\text{氧}}$ 为释氧物质质量( $10^4 \text{ t/a}$ ); $G_{\text{负离子}}$ 为提供负离子量( $10^{25}$ 个/a); $G_{\text{SO}_2}$ 为吸收二氧化硫物质质量( $10^4 \text{ t/a}$ ); $G_{\text{HF}}$ 为吸收氟化物物质质量( $10^4 \text{ t/a}$ ); $G_{\text{NO}_x}$ 为吸收氮氧化物物质质量( $10^4 \text{ t/a}$ ); $G_{\text{TSP}}$ 为滞纳 TSP 物质质量( $10^4 \text{ t/a}$ ); $G_{\text{PM}_{10}}$ 为滞纳 PM<sub>10</sub> 物质质量( $10^4 \text{ kg/a}$ ); $G_{\text{PM}_{2.5}}$ 为滞纳 PM<sub>2.5</sub> 物质质量( $10^4 \text{ kg/a}$ )。

### 2.2 价值量评估结果

物质质量评价能够比较客观反应生态系统的过程,进而反应生态系统服务功能的可持续性,而价值量评估可以反映生态系统服务的总体稀缺性<sup>[22]</sup>。生态系统服务价值量评价方法主要依据等效替代原则、权重当量平衡原则等<sup>[23]</sup>。辽宁省森林生态系统“四库”分布见图 1。森林生态系统作为一种“绿色、安全、永久”水利设施,对于改善区域水资源状况具有相当重要的作用。辽宁省森林生态系统绿色水库功能价值量为  $1.71 \times 10^{11}$  元/a,价值量最高的 3 个地级市为丹东市、抚顺市和本溪市,占全省涵养水源总价值量的 46.14%,建设水利设施可以实现蓄水、引水、跨流域调水从而达到调节水资源时空分布的目的,辽宁省 2017 年用于建设水利、环境和公共设施的费用为  $4.50 \times 10^{10}$  元<sup>[24]</sup>,该 3 个地级市森林生态系统涵养水源价值相当于建设水利、环境和公共设施费用的 1.75 倍。

森林生态系统具有强大的碳汇能力,在地区节能减排,缓解全球气候变化方面发挥重要的“绿色碳库”功能。2017 年辽宁省森林生态系统绿色碳库功能价值量为  $8.24 \times 10^{10}$  元/a,价值量最高的 3 个地级市为丹东市、抚顺市和本溪市,分别为  $1.45 \times 10^{10}$ ,  $1.27 \times 10^{10}$ ,  $1.07 \times 10^{10}$  元/a,占全省固碳释氧总价值量的 46.02%;最低的 3 个地级市为沈阳市、锦州市和盘锦市。辽宁省中部城市森林生态系统的“绿色碳库”功能较弱,而该地区又是辽宁省经济发展的命脉,能源消耗大,二氧化碳排放量高,今后的经营中应增加森林面积,提高森林质量,充分发挥“绿色碳库”功能。

森林生态系统一方面可以滞纳空气中的颗粒物并吸收污染气体,提升空气质量,另一方面可以产生大量的负离子供人类享用,是一座巨大的“净化环境氧吧库”。全省森林生态系统每年发挥净化大气环境功能价值量为  $3.40 \times 10^{10}$  元,价值量最高的 3 个地级

市为抚顺市、朝阳市和丹东市, 占全省净化大气环境总价值量的 46.91%; 最低的 3 个地级市为营口市、沈阳市和盘锦市, 仅占全省净化大气环境总价值量的 4.35%。其中, 沈阳市、大连市和盘锦市森林生态系统提供的净化大气环境价值小于其节能环保支出, 而丹东市森林生态系统提供的净化大气环境价值量为

该市节能环保支出的 23.06 倍<sup>[24]</sup>, 辽宁为中国重要的老工业基地, 每年的工业生产活动会产生大量的废气和粉尘, 辽宁省政府每年都投入大量资金进行节能环保的工作, 而森林生态系统具有强大的治污减霾功能, 充分发挥其净化环境氧吧库功能对辽宁全省生态社会经济协调发展具有重大意义。

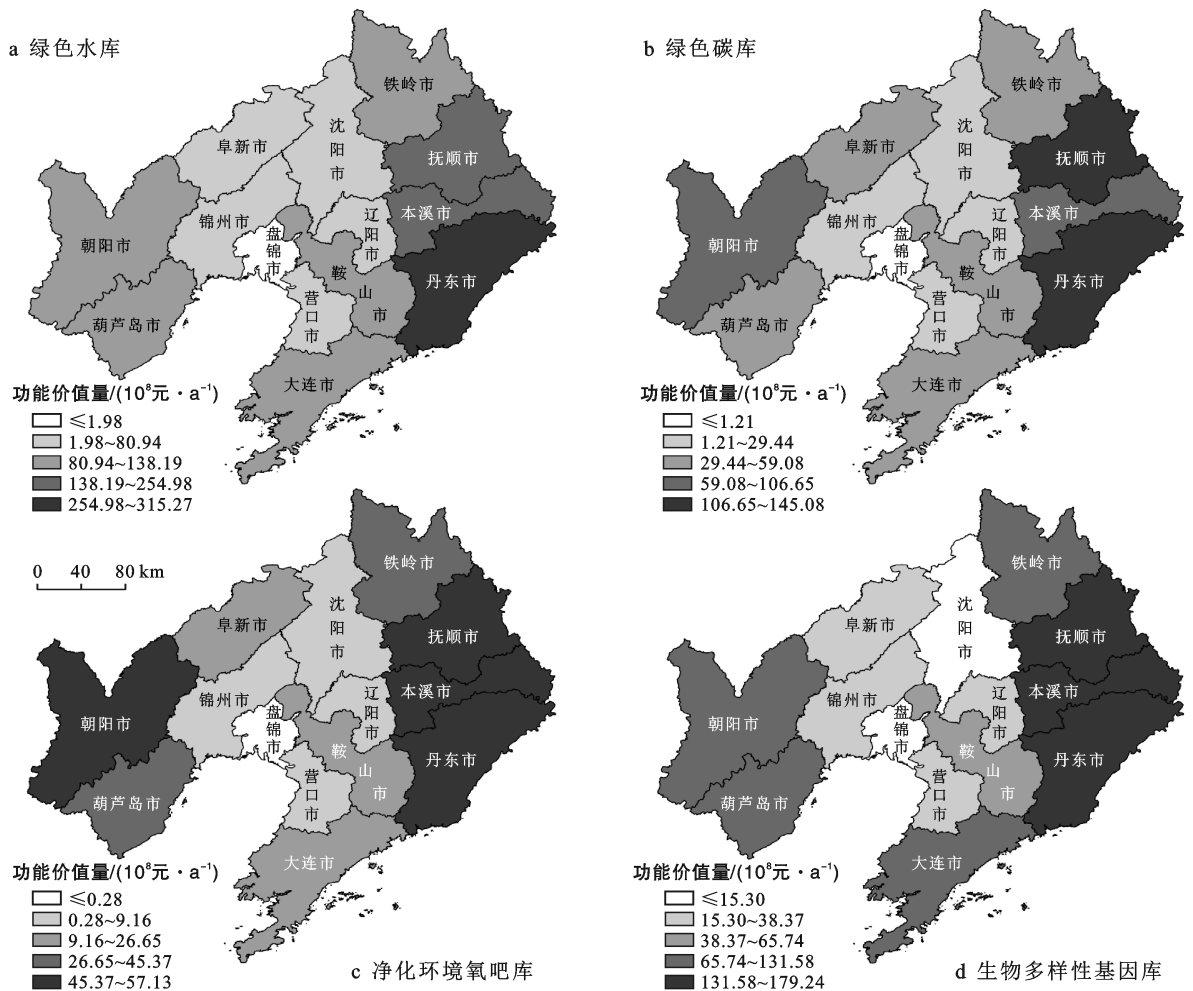


图 1 2006—2017 年辽宁省森林生态系统“四库”空间分布

森林生物多样性是生态环境的重要组成部分, 在人类的生存、经济社会的可持续发展和维持陆地生态平衡中占有重要的地位<sup>[18]</sup>。广阔的森林不仅为各类生物提供繁衍生息的场所, 而且还为生物进化以及生物多样性的产生与形成提供了条件, 是珍贵的“生物多样性基因库”。辽宁省生物多样性基因库功能价值量为  $9.69 \times 10^{10}$  元/a, 价值量最高的 3 个地级市为丹东市、抚顺市和本溪市, 都属于辽东山区。辽宁省位于长白、华北、蒙古 3 个植物区系交汇地带, 植物区系具有过渡性。现有各种植物 161 科 2 200 余种<sup>[25]</sup>。有 7 个植被区, 各植被区系的代表树种相互渗透, 交错分布, 植物资源丰富, 具有高度的异质性。辽东山区是辽宁省中部城市群和辽河平原的绿色屏障, 以天

然林为主, 属于辽宁省生物多样性最丰富的地区, 其庞大的“生物多样性基因库功能”对于维持生态系统的稳定具有重要意义。

### 3 讨论

NbS 作为一种解决问题的方式, 具有基于自然的特点, 服务于经济、社会、生态的多重目标。传统解决水资源问题、工业污染排放等问题往往通过政府干预或工程措施, 效果不仅不显著而且增加了成本, 而 NbS 带来的多重视角跨学科的解决问题方式以及其综合价值评估为解决社会、生态等问题提供了一种新的发展思路。NbS 的全球标准中体现出的景观尺度及系统性、协同权衡与综合性、管理的适应性和动态性, 以及

以人为本的特征,与中国政府部门现阶段倡导的生态文明思想高度契合。在“人与自然和谐共生”“绿水青山就是金山银山”等原则的指导下,进行国土空间规划、山水林田湖草系统治理、全域土地综合整治和耕地保护等工作,无疑也是 NbS 在中国的生动实践。

辽宁省森林生态系统提供的四大主导功能,在应对气候变暖、环境变化、生物多样性保护等重大环境问题中发挥着重要作用。辽宁省森林生态系统发挥的“四库”功能总价值为  $3.84 \times 10^{11}$  元/a,相当于当年辽宁省 GDP 的 16.39%<sup>[24]</sup>。此前王兵等<sup>[26]</sup>、高香玲等<sup>[27]</sup>、刘润等<sup>[28]</sup>对辽宁省 2006—2014 年森林生态系统服务功能进行评价,对比本次评价结果发现森林生态系统 4 大主导显著提升(表 4),主要是因为辽宁省积极开展各项林业生态工程的建设与实施。辽宁省

是开展退耕还林工程的较早的省份之一,根据辽宁省林业和草原局提供的数据,截至 2017 年,辽宁省累计完成国家退耕还林任务  $1.14 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,覆盖了辽宁省的 833 个乡镇,7 430 个自然村<sup>[29]</sup>;辽宁省目前已经完成 4 期三北防护林工程,累计造林  $2.39 \times 10^6$  hm<sup>2</sup><sup>[30]</sup>,第 5 期工程也在稳步推进过程中;此外辽宁省各地区结合实际情况,采用工程带动的方法,先后启动朝阳市、阜新市启动荒山绿化工程、青山工程等省级重点生态工程,并且根据各工程区的生态状况,即东部山区植被茂密,气候湿润,生态良好、中部平原区人为活动强烈,是粮食主产区、西部低山丘陵区干旱少雨,风沙危害严重的特点及时调整各工程区的建设目标和林业发展方向,将森林生态功能和经济功能有机结合起来,推动区域的可持续发展。

表 4 辽宁省森林生态系统 2006—2017 年“四库”功能评估结果

项目	生态服务价值/(10 <sup>8</sup> 元·a <sup>-1</sup> )				
	2006 年	2008 年	2010 年	2014 年	2017 年
绿色水库	897.69	1 162.71	1 625.23	1 725.37	1 705.19
绿色碳库	409.58	422.19	585.28	668.79	823.85
净化环境氧吧库	145.72	151.11	155.57	485.01	340.21
生物多样性基因库	742.53	808.44	786.18	949.07	968.91
合计	2 195.52	2 544.45	3 152.26	3 828.24	3 838.16

林业生态工程不仅可以改善生态环境,而且通过合理的引导和正确的实施,可以达到提高人民收入的效果,达到生态效益和民生工程互利双赢,这也是 NbS 追求的一次性解决多个社会挑战的内涵所在。将辽宁省实施的各项林业生态工程规划与国民经济和社会发展规划、农村经济发展总体规划、土地利用总体规划相衔接,在改善生态环境的同时促进土地利用结构、就业结构和产业结构的调整,探索森林生态产品的价值实现路径,将生态系统服务价值转变成经济效益和社会效益,不断提高林区的经济实力以及林农户的人均收入和生活质量,在解决环境问题的基础上进一步解决经济问题,从而实现社会、经济、生态的共同发展。

## 4 结论

本文通过评估辽宁省森林生态系统 4 大主导功能:涵养水源功能(绿色水库)、固碳释氧功能(绿色碳库)、净化大气环境功能(净化环境氧吧库)和生物多样性功能(生物多样性基因库),得到其物质和价值量评估结果,并分析其作为 NbS 在应对社会挑战中发挥的作用,得到结论如下:

(1) 辽宁省森林生态系统在保障生态安全方面

发挥了重要作用,各地市由于森林资源面积和森林质量的不同发挥的服务功能有一定的差异,丹东市、抚顺市和本溪市各项服务功能物质质量均较高,且 3 市各项森林生态系统服务功能之和占到全省各项服务功能总物质质量的 40%以上,而营口、沈阳、锦州、盘锦市各项服务功能占比较低。

(2) 辽宁省森林生态系统“四库”功能占比排序为:绿色水库功能(44.43%)>生物多样性基因库功能(25.24%)>绿色碳库功能(21.46%)>净化环境氧吧库功能(8.86%),各项功能的空间格局总体上呈现辽东山区>辽西北地区>辽中南平原沿海地区的分布格局。

(3) 辽宁省森林生态系统发挥的“四库”功能总价值为  $3.84 \times 10^{11}$  元/a,相当于当年辽宁省 GDP 的 16.39%,远高于水利设施、环境保护投资,保障生态系统服务的充分发挥,对于应对气候变化背景下人类面临的诸多挑战具有重要意义。

### [参 考 文 献]

- [1] 康蓉,李楠,史贝贝.生态经济学视角下“基于自然的解决方案”的欧盟经验[J].西北大学学报(哲学社会科学版),2020,50(6):135-146.
- [2] Tarrasón D, Ravera F, Reed M S, et al.Land degrada-

- tion assessment through an ecosystem services lens: Integrating knowledge and methods in pastoral semi-arid systems [J]. *Journal of Arid Environments*, 2016, 124: 205-213.
- [3] Vu Q M, Le Q B, Frossard E, et al. Socio-economic and biophysical determinants of land degradation in Vietnam: An integrated causal analysis at the national level [J]. *Land Use Policy*, 2014, 36: 605-617.
- [4] Keesstra S D, Bouma J, Wallinga J, et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations sustainable development goals [J]. *SOIL*, 2016, 2(2): 111-128.
- [5] Favretto N, Stringer L C, Dougill A J, et al. Multi-criteria decision analysis to identify dryland ecosystem service trade-offs under different rangeland land uses [J]. *Ecosystem Services*, 2016, 17: 142-151.
- [6] Turner K G, Anderson S, Gonzales-Chang M, et al. A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration [J]. *Ecological Modelling*, 2016, 319: 190-207.
- [7] World Bank. Biodiversity, Climate change, and adaptation: Nature-based solutions from the world bank portfolio [R]. Washington DC: World Bank, 2008.
- [8] Nuno A, Bunnefeld N, Milner-Gulland E J. Managing social-ecological systems under uncertainty: Implementation in the real world [J]. *Ecology & Society*, 2014, 19(2): 52.
- [9] European Commission. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities [R]. Brussels: Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-naturing Cities, 2015.
- [10] Maes J, Jacobs S. Nature-based solutions for Europe's sustainable development [J]. *Conservation Letters*, 2017, 10(1): 121-124.
- [11] Song Yanan, Kirkwood N, Maksimovic C, et al. Nature based solutions for contaminated land remediation and brownfield redevelopment in cities: A review [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 663: 568-579.
- [12] Kabisch N, Frantzeskaki N, Pauleit S, et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action [J]. *Ecology & Society*, 2016, 21(2): 39.
- [13] Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges [M]. Switzerland: IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016: 2-4.
- [14] IUCN. Global Standard for Nature-based Solutions: A User-friendly Framework for the Verification, Design and Scaling up of NbS: First edition [M]. IUCN, International Union for Conservation of Nature, 2020: 1-7.
- [15] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis [M]. Washington: Island Press, 2005: 49-64.
- [16] 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.
- [17] Davies L, Kwiatkowski L, Gaston K J, et al. UK National Ecosystem Assessment: Technical Report [M]. UNEP-WCMC, Cambridge, 2011: 566-571.
- [18] 罗明,应凌霄,周妍.基于自然的解决方案的全球标准之准则透析与启示[J].*中国土地*, 2020, 411(4): 9-13.
- [19] Hobbie S E, Grimm N B. Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society (B: Biological Sciences)*, 2020, 375(1794): 20190124.
- [20] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T 38582—2020 森林生态系统服务功能评估规范[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [21] 辽宁省 2020 年气候公报[N].*辽宁日报*, 2021-03-23.
- [22] 赵景柱,肖寒,吴刚.生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J].*应用生态学报*, 2000, 11(2): 290-292.
- [23] United Nations Statistics Division. System of Environmental-Economic Accounting 2012 [R]. World Bank Publications, 2017: 85-87.
- [24] 辽宁省统计局.辽宁统计年鉴 2018[M].北京:中国统计出版社,2018: 83-135.
- [25] 郑晓非,张志全,胡远满,等.辽宁省土地利用与生态环境协调发展研究[J].*水土保持研究*, 2008, 15(4): 212-215.
- [26] 王兵,鲁绍伟,尤文忠,等.辽宁省森林生态系统服务价值评估[J].*应用生态学报*, 2010, 21(7): 1792-1798.
- [27] 高香玲,初艳波,张士利.辽宁省森林生态系统服务功能动态变化分析[J].*辽宁林业科技*, 2012(1): 30-32.
- [28] 刘润,王兵,牛香,等.2006—2014 年辽宁省森林生态系统服务功能价值评估[J].*温带林业研究*, 2019, 2(2): 1-6.
- [29] 王玲.辽宁省退耕还林建设管理突出矛盾剖析[J].*绿色科技*, 2019(5): 129-130, 133.
- [30] 赵实.辽宁省三北防护林体系建设成效及展望[J].*绿色科技*, 2018(5): 195-196.