

DOI: 10.20103/j.stxb.202505051078

赵春黎, 翟俊, 刘晓曼, 高海峰, 孙旭伟, 侯鹏, 严岩, 陈妍, 金点点, 夏浩南, 侯静. 生态安全内涵及其在流域尺度的解析. 生态学报, 2025, 45(24): 12501-12509.

Zhao C L, Zhai J, Liu X M, Gao H F, Sun X W, Hou P, Yan Y, Chen Y, Jin D D, Xia H N, Hou J. The connotation of ecological security and its interpretation at the Watershed scale. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(24): 12501-12509.

## 生态安全内涵及其在流域尺度的解析

赵春黎<sup>1</sup>, 翟俊<sup>1</sup>, 刘晓曼<sup>1</sup>, 高海峰<sup>1</sup>, 孙旭伟<sup>2</sup>, 侯鹏<sup>1,\*</sup>, 严岩<sup>3</sup>, 陈妍<sup>1</sup>, 金点点<sup>1</sup>, 夏浩南<sup>1</sup>, 侯静<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100092

<sup>2</sup> 甘肃省生态环境科学设计研究院, 兰州 730020

<sup>3</sup> 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:** 生态安全是国家安全体系的重要组成部分, 直接关系到资源安全、粮食安全、气候安全等核心领域。生态安全作为连接生态系统与人类可持续发展的关键概念, 其内涵正从静态结构表征向多尺度耦合的空间过程转变。研究系统梳理了生态安全的概念内涵及其在我国的发展演进过程, 分别从外部性与生态系统服务两个视角解析生态安全理论的空间外溢特征, 指出生态安全问题本质上是生态影响在不同空间尺度错配并传导的过程。基于生态安全的多尺度特征, 以流域空间和尺度为分析对象, 探讨水源涵养与水土保持等关键生态系统服务在流域尺度下的空间关联与外溢特征, 并以鄱阳湖流域为例揭示生态安全需求的多层级耦合特性。并进一步提出生态安全治理需突破单一尺度思维, 构建跨尺度协同治理框架, 强调以流域为单元重构生态安全管理体系, 以期对生态安全的系统治理与政策管理提供理论支撑与路径参考。

**关键词:** 生态系统服务; 外部性; 尺度特征; 流域

## The connotation of ecological security and its interpretation at the Watershed scale

ZHAO Chunli<sup>1</sup>, ZHAI Jun<sup>1</sup>, LIU Xiaoman<sup>1</sup>, GAO Haifeng<sup>1</sup>, SUN Xuwei<sup>2</sup>, HOU Peng<sup>1,\*</sup>, YAN Yan<sup>3</sup>, CHEN Yan<sup>1</sup>, JIN Diandian<sup>1</sup>, XIA Haonan<sup>1</sup>, HOU Jing<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Satellite Application Center for Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Beijing 100092, China

<sup>2</sup> Gansu Academy of Eco-environmental Sciences, Lanzhou 730020, China

<sup>3</sup> State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Ecological security is a crucial component of the national security system, directly influencing resource security, food security, and climate security. As a key concept linking ecosystem stability with human sustainable development, its connotation has evolved from static structural representation to dynamic spatial processes characterized by multi-scale coupling. This study systematically reviews the conceptual connotation and developmental trajectory of ecological security in China. From the perspectives of externalities and ecosystem services, the study analyzes the spatial spillover effects and transmission mechanisms of ecological security, emphasizing that ecological security issues are essentially the cross-scale mismatch and transfer of ecological impacts. Based on these multi-scale characteristics, this paper adopts the watershed as the spatial analysis unit to investigate the spatial associations and spillover effects of key ecosystem services, including water retention and soil conservation, under watershed-scale analysis. Using the Poyang Lake Basin as a case study, the paper

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2024YFF1306100); 甘肃省省级生态文明建设重点研发专项(24YFFA051)

**收稿日期:** 2025-05-05; **网络出版日期:** 2025-09-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: houpey@163.com

reveals the multi-level coupling characteristics of ecological security needs, demonstrating how lakes, watersheds, and river-lake systems interact to maintain regional ecological security while supporting biodiversity conservation. The study further emphasizes that effective ecological security governance must transcend single-scale thinking to develop a cross-scale collaborative governance framework. By coordinating ecological function zones, watershed units, and administrative boundaries, and utilizing tools such as ecological compensation and policy integration, it is possible to enhance the systemic and adaptive capacity of ecological security governance. Additionally, it argues that watershed-based governance is becoming an effective approach for ecological security management due to its natural boundaries, systematic structure, and the capacity to reflect interactions between ecological processes and human activities. This research provides theoretical support and practical guidance for advancing systematic ecological security governance and policy management in China and offers insights for global regions facing similar cross-scale ecological security challenges.

**Key Words:** ecosystem services; externality; scale characteristics; watershed systems

1 生态安全的概念及发展

1.1 生态安全的概念内涵

生态安全作为一个动态发展的跨学科概念,其内涵经历了从单一维度向系统综合的范式跃迁。早期研究聚焦于“土地健康”<sup>[1]</sup>和“生态系统健康”<sup>[2]</sup>,着重评估生态系统的结构完整性及抗干扰能力;随着环境风险研究的兴起,学者开始关注生态环境风险阈值<sup>[3-4]</sup>,强调系统稳定性的量化表征;进入 21 世纪后,研究范式逐步转向“生态系统服务与人类社会可持续发展”的协同框架<sup>[5-6]</sup>,在确保生态系统健康的基础上,更强调其对社会经济系统的支撑效能。

当前学界对生态安全的界定呈现狭义与广义分类(图 1)。狭义生态安全着眼于生态系统本体的健康表征,重点关注系统结构稳定性、功能完整性及风险可控性<sup>[7-8]</sup>,其本质是生态系统自我维持能力的表征。广义生态安全则构建起“自然-社会”复合系统观,在狭义内涵基础上延伸出三重维度:(1)生态系统服务持续供给能力;(2)社会经济系统对生态风险的适应性;(3)代际公平与区域协同发展需求<sup>[9-11]</sup>。这种演进标志着研究视角从“生态中心主义”向“人地协同共生”转变;前者聚焦生态系统的内生稳定性,后者则强调生态系统服务流与人类社会需求端的动态匹配,更突显了对可持续发展目标的支撑和保障,其中生态系统服务的可持续供给,是推动社会系统可持续发展的重要内容<sup>[12]</sup>。



图 1 生态安全内涵框架示意图

Fig.1 Conceptual framework of ecological security

## 1.2 我国生态安全理念的发展历程

我国生态安全理念的发展分为侧重环境保护的初期阶段;在总体国家安全观指导下的提升和深化阶段;生态文明建设时期的生态安全理念等三个阶段(图2)。

侧重环境保护的初期阶段,治理模式呈现“末端管控”特征,以污染治理和局部生态修复为主,生态安全概念尚未系统化,初步建立环境保护法规体系(《环境保护法》颁布);总体国家安全观指导下的提升阶段,生态安全被纳入国家安全体系(2014年首次明确),强调山水林田湖草系统治理,推动生态保护红线制度,特征表现为实现了从单一环境治理向系统性安全维护的跨越;新时期生态文明建设深化阶段,以“绿水青山就是金山银山”为核心理念,生态安全与高质量发展深度融合,通过国土空间规划、碳达峰碳中和等战略,构建全域性、制度化的生态安全保障体系<sup>[13]</sup>。



图2 我国生态安全理念发展历程图示

Fig.2 The evolution diagram of china's ecological security concept

## 2 不同视角下的生态安全内涵

### 2.1 外部性视角下的生态安全

外部性是经济学核心概念,指经济主体的行为对他人或社会产生的非市场化影响——即未通过价格机制补偿的额外收益或成本<sup>[14]</sup>,如工厂排放污染物损害公众健康却无需全额赔偿(负外部性),湿地保护惠及全域却难获对应回报(正外部性),呈现成本与收益的错配。

生态安全问题的本质,正是人类活动外部性在自然系统中的累积与扩散,如过度开发将生态成本转嫁给社会,生态修复的效益却难以被市场充分捕获<sup>[15-16]</sup>。生态安全效应的空间外溢性,是通过物质流动、能量交换过程实现对相邻区域生态安全的影响<sup>[17]</sup>。图3从负外部性与生态安全威胁、正外部性与生态安全效益,外部性内部化的路径三个方面解析了生态安全的空间传导与内部化调控路径。

负外部性是生态安全威胁的核心驱动力,但其影响并未完全反映在市场成本中。工业污染、森林砍伐、过度捕捞等行为通过成本转嫁机制,将生态系统服务功能退化、生态破坏的代价转移至社会公共领域。如,化石



能源导致的碳排放通过气候系统扩散,其引发的极端天气和海平面上升影响由全球共同承担<sup>[18]</sup>。负外部性行为因缺乏市场定价机制,往往被过度供给,最终突破生态系统的弹性阈值,形成不可逆的生态风险。

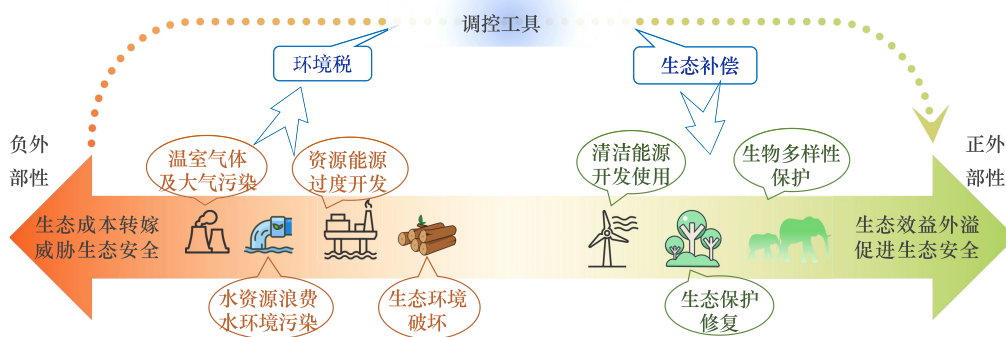


图3 外部性视角下生态安全的传导与内部化路径示意图

Fig.3 Diagram of externality transmission and internalization pathways of ecological security

生态保护修复的实践通常有显著的正外部性效益<sup>[19]</sup>。湿地保护、植树造林等活动通过水质净化、碳汇增储、生物多样性保育等途径,产生超越项目边界的生态增益<sup>[20]</sup>。正外部性行为的供给不足,将导致生态安全领域的“公地悲剧”<sup>[21-22]</sup>,即,社会整体缺乏对生态系统服务保护/供给地区的有效激励。

破解这一困境需探索外部性内部化的路径。通过提高负外部性行为的经济成本,抑制生态破坏的过度供给<sup>[23]</sup>,主要方式有环境税、排污权交易等;通过货币化正外部性价值,激励保护行为的可持续实施,主要方式有生态补偿、绿色金融等机制。如流域尺度的生态补偿,通过量化上游水源涵养对下游的效益,建立跨行政区财政转移支付,实现流域尺度成本共担与收益共享<sup>[24]</sup>,碳交易市场等方式也正推动外部性内部化从局地向全球尺度拓展。外部性视角下,负外部性是生态安全威胁的主要来源,正外部性则为生态安全提供了潜在的解决方案。通过市场机制、政策工具、生态补偿等路径,实现外部性的内部化,有效应对生态安全问题。

## 2.2 生态系统服务视角下的生态安全

生态系统服务作为连接自然生态系统与人类社会的纽带,其可持续供给是生态安全的核心内涵<sup>[8, 25-26]</sup>。生态安全不仅要求生态系统维持自身的结构和功能稳定,还需保障关键服务(如水资源、气候调节)对人类社会的长期供给<sup>[27]</sup>。近年来,耦合生态系统服务与生态安全逐渐成为区域生态安全研究的重要议题<sup>[27-29]</sup>。

在生态系统服务视角下,当前主流的生态安全研究范式<sup>[30]</sup>包括:生态系统服务权衡与协同关系下的“格局-过程-服务-可持续性”的研究,其侧重辨析生态系统服务权衡协同机制及其与景观格局的互馈关系<sup>[31-32]</sup>;生态系统服务供需视角下的“供给-流动-需求”的级联结构与过程研究<sup>[33]</sup>;以及“源地识别-阻力面构建—廊道提取”生态安全格局研究<sup>[30]</sup>(图4)。此外,传统生态安全评估方法还有“压力-状态-响应”框架(PSR)及生态安全多维度评价指标体系方法<sup>[34]</sup>,以及生态足迹模型、景观联通度、生态敏感性等模型分别与生态系统服务结合构建的生态安全评估方法<sup>[30]</sup>。

生态系统服务权衡与协同的研究,通过量化服务间非线性关系,平衡生态保护与人类福祉的综合效益最大化<sup>[35]</sup>,以协调各类生态服务,构建均衡提升区域内综合生态系统服务水平的生态安全格局<sup>[36-38]</sup>。生态系统服务之间的权衡关系会随着时空尺度的推移而变化,具备空间上的异质性和时间上的动态性特征<sup>[39]</sup>。不同尺度对生态系统服务的需求侧重不同,通过量化服务

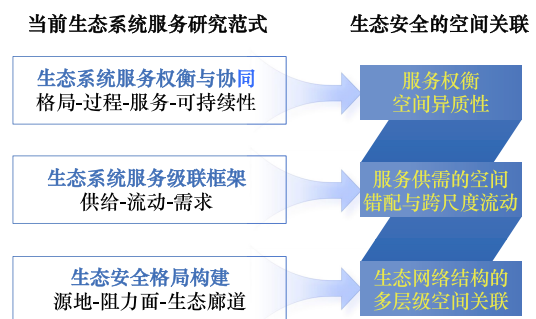


图4 生态系统服务视角下的生态安全研究及其空间关联

Fig.4 Ecological security research from the perspective of ecosystem services and its spatial linkages

间此消彼长的空间格局,精准识别高权衡敏感区,考虑不同尺度的需求,权衡服务之间的侧重和优先级,在生态安全格局优化过程中追求系统整体生态效益最大化。

生态系统服务供需关系研究中,“生态系统服务流”概念有效表征了生态系统服务“供给-流动-需求”的级联结构与过程<sup>[33]</sup>,有利于从不同组分结构研究生态安全及其风险<sup>[33,40—41]</sup>。潜在服务量化了生态系统的本底供给能力,反映自然系统的“原始资本”;生态系统服务流强调服务从供给区到需求区的空间传输过程<sup>[42—45]</sup>,其畅通性决定了生态安全的跨区域依赖性<sup>[46—48]</sup>;供需匹配通过量化服务供给量与人类需求量的差值,直接表征生态安全水平。优化服务流网络已成为生态安全空间治理的重要方向<sup>[8]</sup>。

生态安全格局构建的“源地确定-阻力面构建-廊道提取”范式下<sup>[30,49—50]</sup>,生态源地是维持区域生态完整性的核心斑块,是驱动生态过程、保障生态系统服务供给的空间载体,对区域生态安全有重要的辐射功能<sup>[51]</sup>,主要通过形态空间格局分析等方法来提取<sup>[52]</sup>,一般也可以将生态保护管控区域(国家公园,生态保护红线,自然保护区)直接划为生态源地。生态阻力面通过量化景观基质对物种迁移的阻碍效应构建,以土地利用类型的生态阻抗值为依据,可进一步结合地形梯度<sup>[53]</sup>、人类活动强度(如夜间灯光指数)<sup>[54]</sup>等空间因子进行动态校准。生态廊道是维系源地间物质能量交换的空间纽带,是生态安全格局构建的核心空间组分<sup>[55]</sup>,包括陆地生态廊道和河流生态廊道<sup>[56]</sup>,廊道的识别方法主要有最小累积阻力模型-和电路理论,前者以最小路径成本距离模拟物种扩散轨迹<sup>[57—59]</sup>,后者基于电荷随机游走原理生成具有概率特征的生物扩散路径<sup>[60—61]</sup>,更契合生物迁移的空间不确定性特征<sup>[58]</sup>,体现出生态安全格局研究从静态结构分析向动态过程模拟的转变。

综上所述,外部性视角和生态系统服务视角下,生态安全问题都体现出多尺度关联特征。外部性视角下,生态安全风险的形成与扩散具有跨尺度空间外溢特征,需通过外部性内部化的经济调控手段来解决生态影响与治理效益在空间上的错配。生态系统服务视角强调服务供给、流动与需求之间的空间关联,表现为服务流动性、级联效应与生态网络结构等在多尺度的交互和耦合。

可以看出,生态系统服务与外部性本质上可以理解为同一过程的两种表征。引入外部性来描述生态影响所产生的外部经济效益或损失的经济学问题,而生态系统服务聚焦于生态过程所驱动的福祉变化,反映的是跨区域生态价值外溢效应。呈现出外部性与生态系统服务在生态安全问题上一体两面的关系,其在刻画生态影响的空间外溢、识别生态安全风险的跨尺影响和传递,及生态治理方面,都具有互补性与融合潜力。

### 3 生态安全内涵的流域尺度解析与案例

流域尺度作为一个相对完整的自然地理单元,是物质循环与能量流动的重要功能单元,涵盖了包括水循环在内的多种生态要素和过程,也是生态影响及其治理效应外溢传播的关键空间路径,也更能反映自然过程与人类活动交互作用的整体性、复合性,因而成为生态安全研究的重要尺度。在外部性与生态系统服务视角下解析了生态安全概念后,这一部分将其融入流域尺度下的生态安全解析,重点关注生态过程与服务的跨区域传导与多尺度联动,进一步深化对生态安全内涵的空间尺度理解。

#### 3.1 流域尺度下生态安全的空间效应解析

本节以流域生态系统为例,选取具有显著空间外溢特征的生态系统服务-水源涵养与水土保持服务进行重点解析,探讨生态安全格局在流域尺度下的多尺度耦合(图5)。

从水源涵养服务来看,通过径流调节、洪水调蓄过程保障全流域水安全,具有显著的空间外溢效应。流域上游地区一般是重要的水源涵养区,以黄河流域为例,近年来在气候变化和人类活动双重扰动下,上游地区在冰川消退、冻土消融及植被退化作用下水源涵养能力呈下降态势,不仅影响了上游地区的生态安全,对下游的作用更是表现为:在空间维度上,通过径流作用直接影响中下游水资源供给;时间维度上,水源涵养服务通过多类型水源介质的蓄存过程(冰川、冻土、地表湿地、土壤水分以及地下水等环节),对径流过程进行时序性调控,如在汛期通过延迟地表径流形成、削弱洪峰强度,实现对极端水文事件的生态调节;在枯水期则通过释放地下水和土壤水分支撑稳定径流,以增强旱季水资源的保障能力,整体形成“削峰填谷”的调节作用<sup>[62]</sup>。

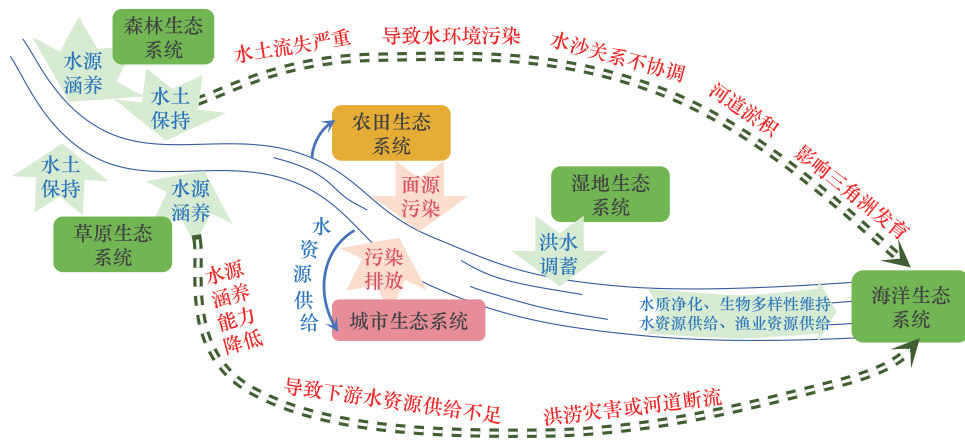


图5 以典型流域为例的生态安全多尺度关联示意

Fig.5 Illustration of multi-scale linkages of ecological security: a case study of a typical river basin

水土保持服务也具有明显的多尺度耦合特征。水土保持服务本质上是地表物质循环的调控过程,在自然阈值内泥沙输移通过输送矿物养分促进中下游水生生物繁育,河口区适量泥沙输入可使浮游生物生物量提升。但当水土流失强度突破生态阈值后,在水蚀区本地,土壤有机质的流失可能导致耕地生产力的下降,且入河冲积物也增加了面源污染;在下游沉积区,会造成水库或河道淤积,河口地区可能还会影响三角洲发育,并进一步影响河口湿地的生物多样性<sup>[63]</sup>。

### 3.2 鄱阳湖流域尺度的生态安全案例分析

本节选取鄱阳湖流域作为案例,探讨其不同空间尺度的生态安全需求特征。作为我国最大的淡水湖流域,鄱阳湖流域及其江湖关系研究在生态系统服务的多尺度特征里有较好的典型性。在鄱阳湖尺度、流域尺度和江湖尺度三个层次,表现出了生态安全与生态系统服务的多尺度特征(图6)。

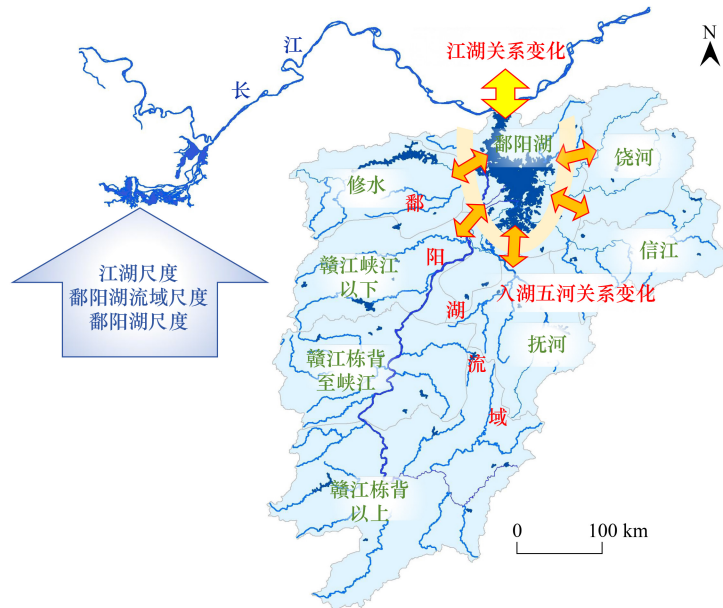


图6 以鄱阳湖流域为例的生态安全多尺度特征示意

Fig.6 Illustration of multi-scale characteristics of ecological security: a case study of the poyang lake basin

鄱阳湖与长江的相互作用对区域生态安全具有重要影响,鄱阳湖占长江流域面积的9%,是流域重要的调蓄湖泊。江湖尺度上,鄱阳湖通过顶托和倒灌作用,对入湖及长江中下游洪水起着很大的调蓄作用<sup>[64]</sup>;鄱



鄱阳湖水量和水质也直接关系到鄱阳湖流域乃至长江中下游地区的用水安全<sup>[65]</sup>。近年来,三峡等大型水利工程改变了长江干流的水文情势和水沙条件,明显减弱顶托和倒灌作用,表现为鄱阳湖出流加快,枯水期提前、延长,以及枯水位降低<sup>[66]</sup>。

鄱阳湖流域主要包括鄱阳湖及入湖五河子流域(赣江、抚河、信江、饶河、修河),其中五河年均入湖输沙量占到总入湖输沙量的 73%;鄱阳湖流域的人类生产生活活动也对湖泊水生态环境产生了压力,采砂、垦殖、污染排放等进一步导致湖泊生态功能退化等<sup>[64-66]</sup>。同时,鄱阳湖对“五河”洪水的调蓄作用显著。总体表现为,在鄱阳湖流域尺度,五河对鄱阳湖的水环境安全,湖库稳定性有影响较大,反之,鄱阳湖对五河的防洪安全也起到调蓄作用。

鄱阳湖本身是吞吐型、季节性湖泊,高水湖相,低水河相,在洪、枯水期的湖泊面积、容积相差极大,其水域变化是“五河”与江湖共同调蓄的结果<sup>[64]</sup>。作为全球重要的候鸟栖息和迁徙通道,在鄱阳湖的白鹤越冬群数占全球 95% 以上,湖泊丰枯水的周期及水位变化影响湿地植被,进一步关系到鸟类等动物的栖息环境,和水生动物生境质量<sup>[66]</sup>,是湖泊动态健康对全球及区域尺度生物多样性影响的典型案例。

综上所述,流域尺度作为生态系统服务承载与外溢的重要空间单元,揭示了生态安全问题的多尺度耦合特征。生态安全的尺度特征不仅体现为生态系统服务供需空间错配和异质性,更表现为,局地生态安全格局与状况难以直接表达出更宏观尺度的生态安全需求,而宏尺度的安全需求也会忽略局部生态风险<sup>[28]</sup>。生态系统过程和服务效应只有在特定时空尺度下才能充分发挥其主导作用。基于对生态系统服务空间外溢性与负外部性本质的系统认知,才能为不同尺度下的生态安全提升提供理论支撑。

## 4 生态安全管理的理论启示与展望

### 4.1 突破单一尺度构建跨尺度生态安全治理框架

生态安全问题的应对,不仅需立足于具体区域本身,还应从更大的空间尺度统筹考虑其生态定位与空间关联。基于生态系统服务的跨区域流动和上下游传导(包括水域、风域等)特征,生态风险的形成与影响也往往呈现出多尺度叠加的状态。因此,生态安全的认知和治理不能局限于单一区域和尺度,应构建跨尺度、跨区域协同的治理逻辑。例如,在流域尺度,上游地区作为典型的水源涵养区,如果只关注其自身的生态质量和局部风险,则难以认识到其生态服务对中下游地区的水资源供给安全、粮食安全和生态稳定的支撑和保障。又如,在京津冀区域,冀北山区作为生态涵养区,除了自身生态退化和水土流失等局地风险和问题外,还承担着为京津提供水源涵养、防风固沙等重要生态服务功能,在京津冀尺度中承担着的生态屏障功能定位。基于跨尺度理论和上述案例,可以看出,局地尺度开展生态安全的管理,往往会忽略其在更大范围内的生态效益和潜在风险。

因此,生态安全需破解单一尺度治理的思维局限,形成从统筹区域所处的生态定位、生态系统服务的空间关联等多尺度治理框架。在识别生态系统服务流动、服务权衡关系的基础上,统筹生态功能区、流域单元和行政区划等不同层级的目标,通过政策协同,提升生态安全治理的整体适应性与系统性。

### 4.2 流域治理正日益成为生态安全治理的重要抓手

流域作为自然生态系统最具完整性和封闭性的自然地理单元,内部涵盖山水林田湖草沙等多类生态要素,生态系统之间相互作用、耦合紧密,具有天然的生态系统边界属性。以流域为单元推进生态安全治理,能够更好地体现生态过程的整体性与空间联系,避免行政区划分割下生态治理碎片化的问题。近年来,我国生态安全相关立法也呈现出向流域系统聚焦的趋势,《黄河保护法》《长江保护法》《青藏高原生态保护法》等相继出台,从法律层面奠定了流域生态系统保护与治理的制度基础。这一治理逻辑不仅契合生态系统的自然边界,也体现了治理理念从“区块管理”向“系统统筹”的升级。相较于传统以行政区为单位的生态治理方式,流域尺度上的生态安全治理更能兼顾上下游、左右岸之间的服务流动与风险传播,更科学、更系统,也将成为推动生态安全治理的重要路径。

## 参考文献 (References):

- [1] Rogers K S. Ecological security and multinational corporations. Environmental Change and security project report, 1997.
- [2] 孔红梅, 赵景柱, 马克明, 张萍, 姬兰柱, 邓红兵, 陆兆华. 生态系统健康评价方法初探. 应用生态学报, 2002, 13(4): 486-490.
- [3] Riehl-Herwisch G, St P, Hackenberg M. A new technology for old waste treatment diagenetic inertization-ecological security for geological times. Contaminated Soil. 2000, 2: 1117-1118.
- [4] 刘红, 王慧, 刘康. 我国生态安全评价方法研究述评. 环境保护, 2005, 33(8): 34-37.
- [5] Janssen K, Wit P. The ecosystem approach in military operations: no security without ecological security, no stability without sustainability. Forestry Studies, 2011, 54(1): 48-53.
- [6] Fu X X, Wang X F, Zhou J T, Ma J H. Optimizing the production-living-ecological space for reducing the ecosystem services deficit. Land, 2021, 10(10): 1001.
- [7] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.
- [8] 张琨, 林乃峰, 徐德琳, 于丹丹, 邹长新. 中国生态安全研究进展: 评估模型与管理措施. 生态与农村环境学报, 2018, 34(12): 1057-1063.
- [9] 马维野. 全球化时代的国家安全. 武汉: 湖北教育出版社, 2003.
- [10] 王如松. 生态安全·生态经济·生态城市. 学术月刊, 2007, 39(7): 5-11.
- [11] 樊斐斐, 郑华. 面向生态安全与可持续发展目标的社会-生态弹性提升策略. 科学与社会, 2024, 14(4): 43-56.
- [12] De Neve J E, Sachs J D. The SDGs and human well-being: a global analysis of synergies, trade-offs, and regional differences. Scientific Reports, 2020, 10: 15113.
- [13] 侯鹏, 高吉喜, 陈妍, 翟俊, 肖如林, 张文国, 孙晨曦, 王永财, 侯静. 中国生态保护政策发展历程及其演进特征. 生态学报, 2021, 41(4): 1656-1667.
- [14] 保罗·萨缪尔森, 威廉·诺德豪斯. 经济学(上册). 萧琛, 等译. 北京: 商务印书馆, 2011.
- [15] Hanley N, Wright R E, Adamowicz V. Using choice experiments to value the environment. Environmental and Resource Economics, 1998, 11(3): 413-428.
- [16] 李国平, 李潇, 萧代基. 生态补偿的理论标准与测算方法探讨. 经济学家, 2013(2): 42-49.
- [17] 刘丽梅, 吕君. 生态安全的内涵及其研究意义. 内蒙古师范大学学报: 哲学社会科学版, 2007, 36(3): 36-42.
- [18] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. 2021.
- [19] 王奇, 姜明栋, 黄雨萌. 生态正外部性内部化的实现途径与机制创新. 中国环境管理, 2020, 12(6): 21-28.
- [20] Zhang W M, Xu D. Benefits evaluation of ecological restoration projects based on value realization of ecological products. Journal of Environmental Management, 2024, 352: 120139.
- [21] Heller M A. The tragedy of the anticommons: property in the transition from Marx to markets. Harvard Law Review, 1998, 111(3): 621.
- [22] 阳晓伟, 杨春学. “公地悲剧”与“反公地悲剧”的比较研究. 浙江社会科学, 2019, (3): 4-13, 38, 155.
- [23] 陈红枫, 李丽平, 王金南. 环境税对工业企业污染减排的激励效应研究. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(7): 89-97.
- [24] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. 2005
- [25] 王正伟, 王宏卫, 杨胜天, 刘勤, 高一薄, 衡嘉尧, 张惠婷. 基于生态系统服务功能的新疆绿洲生态安全格局识别及优化策略——以拜城县为例. 生态学报, 2022, 42(1): 91-104.
- [26] 彭保发, 郑俞, 刘宇. 耦合生态服务的区域生态安全格局研究框架. 地理科学, 2018, 38(3): 361-367.
- [27] 王晓峰, 吕一河, 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. 自然杂志, 2012, 34(5): 273-276, 298.
- [28] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 宋长春, 刘纪远, 张惠远, 吕一河, 郑华, 谢高地. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576.
- [29] 傅伯杰, 吕一河, 高光耀. 中国主要陆地生态系统服务与生态安全研究的重要进展. 自然杂志, 2012, 34(5): 261-272.
- [30] 王悦露, 董威, 张云龙, 傅伯杰, 赵正嫒, 吕一河, 张建军, 伍星. 基于生态系统服务的生态安全研究进展. 生态学报, 2023, 43(19): 7821-7829.
- [31] 赵文武, 王亚萍. 1981—2015 年我国大陆地区景观生态学研究文献分析. 生态学报, 2016, 36(23): 7886-7896.
- [32] 赵文武, 刘月, 冯强, 王亚萍, 杨思琪. 人地系统耦合框架下的生态系统服务. 地理科学进展, 2018, 37(1): 139-151.
- [33] 肖华斌, 郭妍馨, 王玥, 吴扬睿. 从效用评估到过程测度: 生态系统服务流研究进展. 风景园林, 2022, 29(10): 32-37.
- [34] 王耕, 王利, 王伟. 区域生态安全概念及评价体系的再认识. 生态学报, 2007, 27(4): 1627-1637.
- [35] 陈田田, 彭立, 王强. 基于生态系统服务权衡的生态安全多情景决策. 中国环境科学, 2021, 41(8): 3965-3968.



- [36] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 朱文博, 马程, 王珏. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题. 地理研究, 2013, 32(8): 1379-1390.
- [37] Uhde B, Hahn W A, Griess V C, Knoke T. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. Environmental Management, 2015, 56(2): 373-388.
- [38] 赵文祯, 韩增林, 闫晓露, 钟敬秋. 基于生态系统服务多情景权衡的生态安全格局构建——以大连市瓦房店为例. 自然资源学报, 2020, 35(3): 546-562.
- [39] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 刘焱序, 田璐. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973.
- [40] Czúcz B, Haines-Young R, Kiss M, Bereczki K, Kertész M, Vári Á, Potschin-Young M, Arany I. Ecosystem service indicators along the cascade: how do assessment and mapping studies position their indicators. Ecological Indicators, 2020, 118: 106729.
- [41] Boerema A, Rebelo A J, Bodi M B, Esler K J, Meire P. Are ecosystem services adequately quantified. Journal of Applied Ecology, 2017, 54(2): 358-370.
- [42] Semmens D J, Diffendorfer J E, López-Hoffman L, Shapiro C D. Accounting for the ecosystem services of migratory species: Quantifying migration support and spatial subsidies. Ecological Economics, 2011, 70(12): 2236-2242.
- [43] 马琳, 刘浩, 彭建, 等. 生态系统服务供给和需求研究进展. 地理学报, 2017, 72(7): 1277-1289.
- [44] 王嘉丽, 周伟奇. 生态系统服务流研究进展. 生态学报, 2019, 39(12): 4213-4222.
- [45] Wang L J, Zheng H, Chen Y Z, Ouyang Z Y, Hu X F. Systematic review of ecosystem services flow measurement: Main concepts, methods, applications and future directions. Ecosystem Services, 2022, 58: 101479.
- [46] 姚婧, 何兴元, 陈玮. 生态系统服务流研究方法最新进展. 应用生态学报, 2018, 29(1): 335-342.
- [47] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 徐洁. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): 3096-3102.
- [48] 夏沛, 彭建, 徐子涵, 顾恬玮, 王佳斌. 生态系统服务流概念内涵与量化方法. 地理学报, 2024, 79(3): 584-599.
- [49] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [50] 王晓峰, 朱梦娜, 张欣蓉, 马嘉豪, 周继涛, 程通, 郑媛元, 涂又, 尧文洁, 马娟. 基于“源地-阻力-廊道”的三江源区生态安全格局构建. 生态学报, 2024, 44(11): 4609-4623.
- [51] 毛诚瑞, 代力民, 齐麟, 王炎, 周旺明, 周莉, 于大炮, 赵福强. 基于生态系统服务的流域生态安全格局构建——以辽宁省辽河流域为例. 生态学报, 2020, 40(18): 6486-6494.
- [52] Li S C, Xiao W, Zhao Y L, Lv X J. Incorporating ecological risk index in the multi-process MCRE model to optimize the ecological security pattern in a semi-arid area with intensive coal mining: a case study in northern China. Journal of Cleaner Production, 2020, 247: 119143.
- [53] Ran Y J, Lei D M, Li J, Gao L P, Mo J X, Liu X. Identification of crucial areas of territorial ecological restoration based on ecological security pattern: a case study of the central Yunnan urban agglomeration, China. Ecological Indicators, 2022, 143: 109318.
- [54] Li Y M, Zhao J Z, Yuan J, Ji P K, Deng X L, Yang Y M. Constructing the ecological security pattern of Nujiang prefecture based on the framework of “importance-sensitivity-connectivity”. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(17): 10869.
- [55] 彭建, 李慧蕾, 刘焱序, 胡熠娜, 杨旸. 雄安新区生态安全格局识别与优化策略. 地理学报, 2018, 73(4): 701-710.
- [56] 杨凯, 曹银贵, 冯喆, 耿冰瑾, 冯漪, 王舒菲. 基于最小累积阻力模型的生态安全格局构建研究进展. 生态与农村环境学报, 2021, 37(5): 555-565.
- [57] Kang J M, Zhang X, Zhu X W, Zhang B L. Ecological security pattern: a new idea for balancing regional development and ecological protection. A case study of the Jiadong Peninsula, China. Global Ecology and Conservation, 2021, 26: e01472.
- [58] 宋利利, 秦明周. 整合电路理论的生态廊道及其重要性识别. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3344-3352.
- [59] 安睿, 窦超, 陆砚池, 仝照民, 王楠楠, 刘艳芳, 庞惠心, 刘耀林. 耦合 SOM-MCR 模型的多特征生态安全格局构建——以武汉城市圈为例. 生态学报, 2023, 43(22): 9486-9499.
- [60] Wu Y D, Han Z Y, Meng J J, Zhu L K. Circuit theory-based ecological security pattern could promote ecological protection in the Heihe River Basin of China. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(10): 27340-27356.
- [61] 潘竞虎, 王云. 基于 CVOR 和电路理论的讨赖河流域生态安全评价及生态格局优化. 生态学报, 2021, 41(7): 2582-2595.
- [62] 孙阁, 张槽, 王彦辉. 准确理解和量化森林水源涵养功能. 生态学报, 2023, 43(1): 9-25.
- [63] 胡春宏, 张晓明. 我国江河演变新格局与系统保护治理. 中国水利, 2024, (7): 1-8.
- [64] 方春明, 曹文洪, 毛继新, 黎海军. 鄱阳湖与长江关系及三峡蓄水的影响. 水利学报, 2012, 43(2): 175-181.
- [65] 金斌松, 聂明, 李琴, 陈家宽, 周文斌. 鄱阳湖流域基本特征、面临挑战和关键科学问题. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 268-275.
- [66] 刘志刚, 倪兆奎. 鄱阳湖发展演变及江湖关系变化影响. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1265-1273.