

DOI: 10.5846/stxb202101150161

陈新闻, 李小倩, 吕一河, 郭建英, 谷德海, 吴颜岐. 生态空间区划体系的理论内涵及关键技术研究. 生态学报, 2022, 42(3): 843-850.

Chen X C, Li X Q, Lü Y H, Guo J Y, Gu D H, Wu Y Q. Theoretical and technical discussion on the system of ecological space zoning. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(3): 843-850.

# 生态空间区划体系的理论内涵及关键技术研究

陈新闻<sup>1,2</sup>, 李小倩<sup>1,2</sup>, 吕一河<sup>1,2,\*</sup>, 郭建英<sup>3</sup>, 谷德海<sup>1,2</sup>, 吴颜岐<sup>1,2</sup>

1 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

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020

**摘要:** 生态空间是维护区域可持续发展的重要组成部分, 是国土空间规划体系的核心领域。生态空间区划是国土空间管控的重要内容, 是解决区域供需矛盾, 维护国土安全的重要手段。研究在系统总结现有生态区划理论、技术和方法的基础上, 探讨了目前生态区划存在的不足, 进一步提出新时代生态空间区划的理论、内涵和国土空间规划背景下生态空间区划技术要点。生态空间区划是以生态空间提供生态系统服务, 维系生态安全为基础, 从区域尺度以山水林田湖草生命共同体理念综合辨识分类生态空间。评价指标体系应基于生态功能区划和环境功能区划, 结合政策目标、居民需求并参考区域城镇化特征及未来发展定位, 以生态系统服务、生态敏感性、生态质量、生态健康等多因子评价为主。生态空间区划的目的是对生态空间开展保护、修复、和高质量开发建设, 因此生态空间区划阈值的选取要立足于政策目标、居民需求和可持续发展, 按照生态系统服务供需耦合机制划定生态空间分区, 并及时调整。研究还基于现阶段区域尺度下生态空间区划的难点, 从加强生态空间区划体系的应用、加强生态空间基础数据库的构建、加强命名规范等方面进行了工作展望。

**关键词:** 生态空间; 生态评价; 生态区划; 国土空间规划

## Theoretical and technical discussion on the system of ecological space zoning

CHEN Xinchuang<sup>1,2</sup>, LI Xiaoqian<sup>1,2</sup>, LÜ Yihe<sup>1,2,\*</sup>, GUO Jianying<sup>3</sup>, GU Dehai<sup>1,2</sup>, WU Yanqi<sup>1,2</sup>

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China

**Abstract:** Ecological space, the core area of land planning, is an important part of maintaining regional sustainable development. Ecological space zoning is a key content of land management. It is also an important means to solve the imbalance between regional supply and demand of ecosystem services and to maintain land security. This paper systematically summarized the existing methods of ecological zoning, discussed the shortcomings of the current ecological zoning, further put forward the theory and connotation of ecological zoning and the technical points of ecological space zoning under the land planning. Ecological space zoning is based on ecological space providing ecosystem services and maintaining ecological security. At the regional scale, it comprehensively identified and classified ecological space with mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, and grasslands as a life living community. We put forward ecological space zoning based on the ecological function zoning and environmental function zoning, combined with policy goals, the needs of residents, the characteristics of regional urbanization, and future development. Multi-factor evaluation of the ecosystem

**基金项目:** 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23070201); 内蒙古自治区科技重大专项(2020ZD0009)

**收稿日期:** 2021-01-15; **网络出版日期:** 2021-10-11

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

services, ecological sensitivity, ecological quality, and ecological health should be taken into account. The purpose of ecological zoning is to protect, restore, and high-quality develop ecological space. Therefore, the threshold of ecological zoning should be based on the policy goals, the needs of residents, and sustainable development, according to the coupling mechanism of supply and demand of ecosystem services, and be adjusted in time. Based on the difficulties of ecological zoning at the present stage, this paper also put forward the future work of ecological zoning from the aspects of strengthening the application of ecological zoning system, strengthening the construction of ecological space basic database, and strengthening the naming standard.

**Key Words:** ecological space; ecological evaluation; ecological zoning; national territory spatial planning

生态空间是具有生态系统服务价值和对于城乡生境保护具有重要作用的空间集合体,是社会生存发展的物质基础和能量来源<sup>[1-3]</sup>。生态空间管控对于提升区域生态系统服务,构建生态安全格局进而促进区域可持续发展具有重要意义<sup>[3-5]</sup>。尤其城镇化正快速改变区域城乡空间格局,以中心城市引领城市群发展、城市群带动区域发展的区域一体化格局正在形成和发展之中。然而,城镇发展与生态空间耦合过程中存在的矛盾与问题进一步的加大<sup>[6-8]</sup>,不合理城镇化对于生态空间的侵占和胁迫逐渐加强,城镇、农业、自然生态结构性矛盾凸显,降低了区域生态系统服务供需平衡,导致人居环境质量的降低和生态风险的增加<sup>[9-12]</sup>。国土空间治理,尤其针对生态空间的有效管控迫切而重要。

随着中国生态文明理念的贯彻和执行,对于生态空间的管控日趋成熟,中国相继出台了生态空间管控的政策和意见,如:《全国主体功能区规划》在全国尺度将中国国土空间分为优先开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域;《全国国土规划纲要(2016—2030)》进一步要求明确保护主题,实行分类分级保护,切实加强环境分区管治,促进形成国土全域分类分级保护格局;《国家重点生态功能保护区规划纲要》在区域尺度提出有选择地划定一定面积予以重点保护和限制开发建设。其中,生态区划是国土空间保护、修复、高质量开发的重要手段,是优化国土空间开发格局和维护国土安全的具体研究实践,是保障区域协调发展,促进人类福祉提升的迫切需求<sup>[13-14]</sup>。

实施区域协调发展是新时代国家重大战略之一,亟待从区域角度开展生态空间区划,以便加强生态空间管控的实效性,解决区域生态产品和服务的供需矛盾。现阶段中国已全面建立和完善生态保护红线制度,同时对环境各要素(大气、水、海洋、水土流失等)实行分区管控,为环境保护与生态建设提供科学依据<sup>[15-17]</sup>。但目前生态区划尤其针对生态空间区划的理论研究、区划方法及管控研究都相对薄弱,且不同生态区划因用途的不同,方法差别很大。如:针对单一生态要素的生态管理区划<sup>[18-21]</sup>,针对不同空间尺度的综合生态区划<sup>[22-24]</sup>,针对单一用途管制的区划<sup>[25-27]</sup>。生态空间区划的复杂性和多样性造成生态管控政策和目标的不一致性,使生态管理不严谨、技术方法不规范<sup>[16]</sup>。因此,构建科学合理的生态空间区划体系,对区域生态空间实施分类分级保护、修复和高质量开发,可充分提升有限的国土开发空间的利用效率,腾出更多空间,实现更大范围、更高水平的生态空间保护,为区域生态安全格局的构建提供决策依据,健全国土空间用途管制制度,是新时代生态文明建设的重要内容。

## 1 生态空间区划内涵

目前国土空间规划将国土空间划分为城镇空间、农业空间和生态空间。生态空间单指自然生态空间,指以提供生态系统服务或生态产品为主导功能,为生态、经济和社会长远发展提供重要支撑作用的空间范围,包括森林、草原、湿地、河流、湖泊、滩涂、荒地、荒漠等。在“多规合一”背景下目前只针对自然生态空间的规划与区划具有一定局限性。城镇空间、农业空间也包含有一定面积的绿地、湿地、草地等自然或人工生态用地,对维护区域环境和人类健康具有重要意义<sup>[28-30]</sup>,该区域也应该属于生态空间。高质量农田同样发挥着重要的生态系统服务价值,与森林和草地相比,农田的直接服务价值所占比重远远高于森林和草地,且农田的娱乐

休闲价值逐渐得到认可<sup>[31-32]</sup>。区域尺度生态空间区划应是独立于城镇建成区外,对自然、人工、半人工生态空间统一评价分类。在以往区划框架中较多考虑自然指标,忽视生态系统的整体性和山水林田湖草的共生关系,造成区划结果较低的应用性。区域尺度生态空间区划要以山水林田湖草生命共同体的理念进行综合评估,统筹考虑生态综合体的结构、过程,生态质量以及生态系统服务供需关系。随着城镇化的发展,人口、经济与生态建设、保护和修复的关系逐渐改变<sup>[33-34]</sup>,因此现阶段生态空间区划在强调生态空间的特性和服务的基础上,还应注重决策者、一般民众及其他利益相关者对于生态空间的要求和生态空间与城镇发展关系的看法。

本研究界定生态空间区划是以生态空间提供生态系统服务,维系生态安全为基础,依据社会-经济-自然复合生态系统理论,统筹社会生态、经济生态、自然生态,从区域尺度以山水林田湖草生命共同体理念综合辨识分类生态空间。综合考虑现有生态区划评价标准和分类标准,基于政策目标和居民需求,识别现阶段生态空间需要提升及完善的方面,按照生态空间的生态过程和生态功能将各类生态空间聚类整合,形成生态综合体,将具有生态空间保护、修复和高质量开发建设价值的区域或类型进行划分研究。生态空间区划的目的是满足人类所期望的生态系统状态,支撑区域可持续发展和生态文明建设。城镇发展与生态保护一直是国土空间管控的难点,生态空间区划通过统筹区域生态资源,科学辨识需要保护和修复的重要生态空间,对于一般性生态空间可在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的基础上适度发展城镇建设。生态空间区划应与生态保护红线和自然保护地的划定区分,生态空间区划具有一定的时效性,随着生态修复、城镇开发建设,在保障区域可持续发展的前提下,生态空间各分区可根据城镇发展、居民需求,生态系统服务供需变化进行动态调整(图1)。

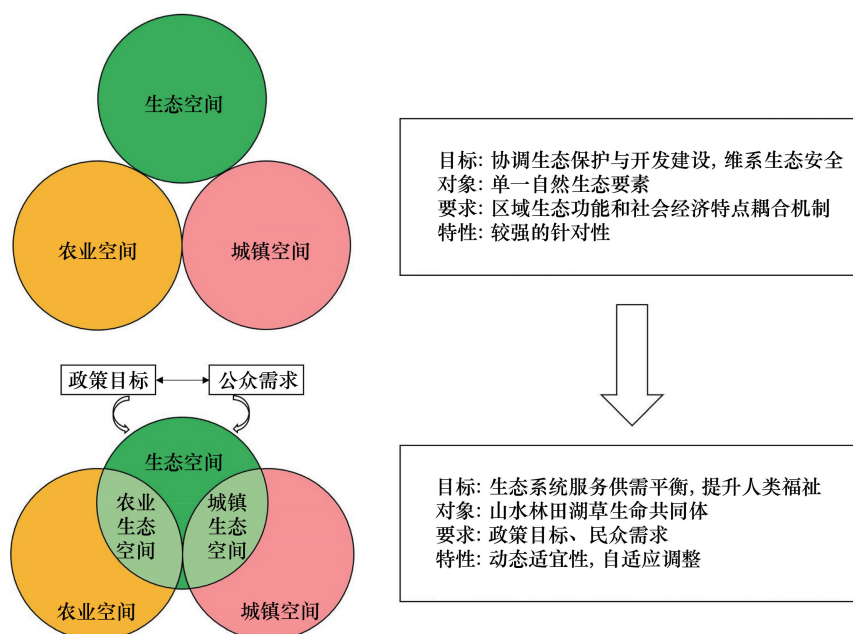


图1 生态空间区划内涵的转变

Fig.1 Transformation of connotation of ecological space zoning

## 2 中国生态空间区划的研究进展

### 2.1 基于生态功能的生态区划——以生态空间生态压力及服务功能为主导

生态功能是评价生态空间的重要基础,不仅表征维持人类生存的一切物质和能量,还对人居环境质量、区域生态空间格局、城镇可持续发展具有重要意义<sup>[35-37]</sup>。从单一的生态功能引入社会学、经济学的理念,考虑区域生态功能和社会经济特点,傅伯杰等<sup>[38]</sup>以可持续发展为目标,以社会-经济-自然复合生态系统理论为基



础,对地域进行逐级的划分或合并,编制了中国生态区划方案。刘国华等<sup>[39]</sup>进一步考虑各生态系统的形成、结构和功能及其与气候等因素的关系,揭示其空间分异规律。在此基础上,基于不同研究尺度的生态功能区划逐渐成为研究热点,研究涉及景观尺度、市县尺度、城市群尺度、流域尺度<sup>[9, 40—43]</sup>。评价指标也由单一生态要素综合为生态敏感性、生态重要性、生态系统服务等表征生态功能的指标体系<sup>[44—49]</sup>。《全国生态功能区划》根据区域生态系统格局、生态环境敏感性与生态系统服务功能空间分异规律,以区域生态空间的服务特征和风险特征差异将区域划分成不同生态功能的地区。虽然在分区中体现人居保障功能,但由于对生态空间服务过程和传输机制的考虑不足,忽视区域时空尺度生态系统服务的权衡与协同关系的变化,对不同生态系统服务间的具体相互作用关系缺少统一的评判,区域尺度忽视服务的流通性造成部分区域供需与实际差异较大,使得区域生态空间的评估具有较大不确定性<sup>[3, 50]</sup>。近年来,以生态系统服务供需关系为主线研究生态功能区划、探索区域生态安全格局构建已成为热点<sup>[51—54]</sup>。生态系统服务权衡理论立足于居民需求,为生态空间区划的政策应用性和实际指导性提供了条件。但这需要考虑生态系统服务的耦合关系以及传输机制,有效识别和分类对维持区域可持续发展不同用途的生态空间,并构建能以最小的面积最大限度地规避生态供需矛盾、保障区域生态安全的空间格局。

## 2.2 基于环境功能的生态区划——以生态空间生态质量及外在环境特征为主导

环境功能指国土空间内生态空间所提供服务的在外表现形式,提供人类生存,满足社会发展的能力,主要指与城乡物质代谢密切相关的水环境、土环境和气环境等<sup>[15]</sup>。环境功能区划是按照国家主体功能定位,科学评估区域生态环境的外在特征,服务功能的分异规律和演化特征,筛选并确定区域的主体环境功能,对国土空间进行分类管控<sup>[55—57]</sup>。首先构建了基于单一要素环境功能区划的研究<sup>[18, 58—61]</sup>,继而《声环境功能区划分技术规范》、《环境空气质量功能区划分原则与技术方法》等国家环境功能区划标准发布,并在各省市国土空间规划和生态环境保护专项规划中得到了实践性的应用。但随着城镇化发展和城市群的成熟,单一环境要素难以满足区域尺度区划需求,尤其缺少对区域社会经济发展与环境保护的综合考虑,导致环境功能区划的衔接性、可接受性较差,难以满足国土空间规划的需要<sup>[17, 62—64]</sup>。王金南等<sup>[15]</sup>从社会-经济-自然复合生态系统的角度,基于环境功能评价和主导因素法,综合自然生态安全、人群健康维护、区域环境支撑,构建了环境功能区划技术体系。随着国土空间规划的发展,生态环境部进一步提出“三线一单”空间区划形式,以生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线为基础,匹配行政边界,划定环境管控单元,编制环境准入负面清单,构建环境分区管控体系,如:《四川省生态环境分区管控方案》明确提出在总体生态环境管控要求的基础上,根据区域特征、发展定位和突出生态环境问题,明确各区域差别化的总体生态环境管控要求,划定优先保护单元、重点管控单元、一般管控单元。“三线一单”空间区划统筹区域生态、环境、资源,建立了全域覆盖的生态环境分区体系<sup>[65]</sup>,但由于数据的不完备性和评价主体的差异,造成评价单元具有差异性,以行政单元为基本单元的分区虽然方便环境管理政策的实施,但忽视区域生态系统的连续性和连通性,造成其他生态风险的增加,且评价指标体系是否适合区域生态环境特征,是否满足居民的需求还需进一步研究。

## 2.3 生态空间区划技术要点

生态空间区划是多重权衡的结果,应综合生态功能和环境功能进行生态区划,评估指标的选择应基于不同的知识体系,如政策目标、公众偏好、专家知识等。生态空间区划指标体系应结合生态质量、生态健康和生态系统服务综合表征生态功能和环境功能。生态质量和生态系统服务是生态系统的外部状态,是居民直接感知生活环境质量的指标,也是政策目标的主要体现。生态健康表征生态系统的完整性,反映了生态系统在外界压力下的稳定性,是识别生态受损的关键指标<sup>[2]</sup>。具体指标体系可根据区域特点、政策背景及居民问卷调查,筛选决策者、民众普遍关心的指标。生态空间区划从区域角度出发,以“山水林田湖草是一个生命共同体”的理念,以单元网格整合地理单元,对其生态格局、生态过程、生态功能进行综合评估,识别区域生态特性,并结合区域内部生态现状及生态系统受损类型,识别区域内需要保护或修复的生态空间。本文建议采用阈值方法合理确定各分区标准。对于生态空间区划指标阈值的选取,很大程度上决定于政策目标、居民需求,

各地区可根据实地调研及国土规划要求合理确定阈值范围。

### 3 国土空间规划背景下生态空间区划需改进的要点

#### 3.1 以满足政策目标、居民需求和可持续发展为导向,构建生态空间区划指标体系

目前虽然对生态空间区划的研究取得较大的进展并应用到国土空间规划,但由于对生态空间理解的差异,目前区划方案存在多头设计、重复构架和认知困难等问题<sup>[13]</sup>,主要的原因是对生态空间区划的内涵和目标理解不足。生态空间区划应明确并聚焦于区划的目的和各分区的管控目标。区域尺度生态空间区划应统筹山水林田湖草等生态要素,实现区域生态综合管理的目标,而不是单独的生态要素实现多种生态目标。例如:生态修复空间以实现生态品质提升为主要目的,应明确生态空间存在的突出问题,统筹考虑区域生态空间退化过程 and 方向以及未来区域生态修复所面临的形势与挑战。通过空间格局分布,以及不同尺度之间的相互转换途径与方法,制定自上而下的综合修复政策及措施。基于此,生态空间区划应参考政策目标,居民需求,基于生态功能区划和环境功能区划,以生态系统服务功能、生态敏感性、生态质量、生态健康等多因子评价,结合区域城镇化特征及未来发展定位,体现区域生态系统与社会系统、经济系统的协调发展,实施自适应管理体系。

#### 3.2 生态空间区划立足于现有国土空间管控体系

生态空间区划的基本目的是综合识别区域生态空间现阶段及未来需要提升及完善的管理措施。生态空间区划是在主体功能区划的基础上,立足于区域角度的细化和深化,构造适宜区域特点,维护区域可持续发展的分区指标体系,同时也涵盖了生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线的评价体系(图2)。生态空间区划是基础性区划方法,可进一步针对各类生态分区内的生态特点,整合区域内对生态功能极重要,生态环境极敏感的区域确定阈值划定生态保护红线;区域内整合生态承载力、耕地生态系统服务、生态质量等划定永久基本农田。立足于政策目标、居民需求,选取生态质量、生态系统服务供需评价指标,构建适宜区域城镇化特点的环境质量底线和资源利用上线。通过区域一体化的生态分区,整合各类分区内生态质量、生态系统服务、生态健康评价,可识别国土空间生态修复重点区。通过生态空间区划整合目前存在的分区体系,建立一套相对统一的分区指标体系,既可避免评价的重复,又方便决策者实施生态管理,提升居民的认可度和实操性。

#### 3.3 按照生态系统服务供需耦合机制调整生态空间区划

生态空间的核心功能是提供生态系统服务和保障区域生态安全,而生态空间区划是区域尺度以构建恢复生态完整性和可持续性生态系统服务为目标,从格局-过程-服务-可持续性的综合角度寻求具有空间差异化和功能协同性的解决方案。生态系统服务在生态空间区划体系中具有重要的指示作用,但由于区域生态系统

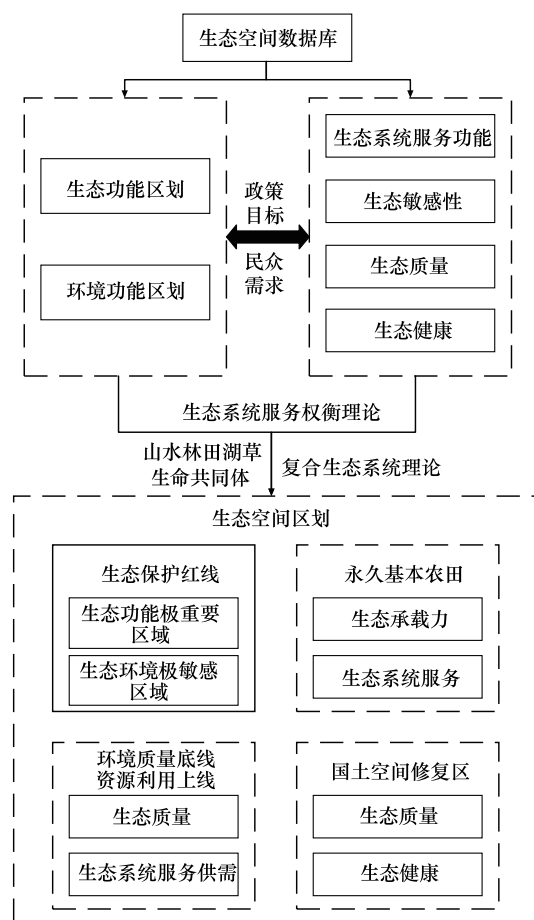


图2 区域生态空间区划体系框架图

Fig.2 Framework diagram of regional ecological space regionalization system

虚线边框表示包含内容不局限于图中所示内容

服务的多样性、空间尺度的流通性及居民需求的时效性,不同类型生态系统服务相互影响,且权重不同。随着城镇化的发展,区域生态空间格局动态变化和居民生产生活方式的改变,造成生态系统服务供需变化。因此生态空间区划中要重视生态系统服务的供需机制及其与城镇化的耦合机制,杜绝以简单线性关系将多种生态系统服务进行叠加,应探究服务间的权衡与协调关系,将情景分析整合到生态系统服务的权衡中,建立适合区域特点的一套多方权衡的综合生态系统服务评估模型,且注重生态系统服务供需和流动机制,空间尺度辨识供给方和需求方及其传输机制,可有效识别对维持区域可持续发展具有重要作用的生态空间和对于区域生态安全起到关键作用的生态廊道、生态节点等,实施精准管控。

### 3.4 生态空间区划的困难和展望

虽然生态保护和生态建设的理念、生态评价技术取得了较大的发展,但应用到实际中的生态空间区划目前只有生态保护红线,保护了区域极重要和极敏感性的空间单元,但忽视了其余生态空间的管控,可能造成区域整体生态质量和服务的降低<sup>[12]</sup>。未来应该加强生态空间区划体系的构建和应用,以可持续发展、生态文明建设和人类福祉提升为核心,树立以生态空间区划为依据,实施生态空间分区管控,支撑国土空间规划的理念。现阶段,由于生态基础数据薄弱,空间地理数据的全面性和准确性保障不足,且在评价过程中数据的坐标系、分辨率的不匹配,制约着生态空间区划的应用性。国家尺度应建立统一的生态空间数据库和数据平台,依托现有监测技术构建天地一体化生态空间数据监测评估体系,加强生态空间评价体系和评价标准的集成构建,建立起一套从生态空间区划评价指标选取、数据处理、模型构建、结果制图和空间匹配标准和规划的技术体系。由于缺乏统一的命名标准,生态空间区划命名较混乱,较多依据评价指标、评价目标等命名<sup>[66, 67]</sup>。“三线一单”中采用优先保护区、重点管控区、一般管控区命名,具有高度的概括性。本文建议在此基础上,针对生态空间各类分区的特点,尤其地理位置、生态质量、生态系统服务、生态压力、生态管控目标及城镇化对生态空间的影响综合命名,如:区域高质量水资源优先保护区、区域水土流失重点管控区、城镇休闲重点管控区、城郊农业一般管控区等。

生态评价中对于生态综合体的研究应该加强,不同生态空间组合的生态质量和生态健康要高于单一生态空间。然而现有研究较多针对单一生态空间,这主要由于生态综合体的尺度问题仍不明确,不同尺度下生态综合体的组成、面积、效益差异较大。通过空间格局分布,探究各尺度下生态综合体的内部联系,确定最优化的评价单元,是当前研究及应用生态空间区划的核心和关键。城市生态系统中,生态空间区划中应注意生态空间与城镇空间的耦合机制。对城镇内的生态空间以资源环境承载力和生态系统服务为基础,开展适宜性评价,强调生态保护、人居环境调节和社会文化价值。充分考虑生态保护的必要性与社会经济发展的协调性,对于城镇内的重要生态空间也可适当扩大其空间范围。在生态空间区划中没有必要强行把非生态用地划出去,而是要统筹考虑非生态用地对区域生态空间的影响。如何统筹生态空间的跨区域生态环境的影响机制及生态空间与社会经济发展的耦合关系,针对性地解决区域生态环境问题,供需矛盾,形成科学合理的生态空间管控方法与策略是未来研究的重点。

### 参考文献 (References):

- [1] 王如松, 李锋, 韩宝龙, 黄和平, 尹科. 城市复合生态及生态空间管理. 生态学报, 2014, 34(1): 1-11.
- [2] 陈新闯, 李小倩, 吕一河, 刘红晓, 郭建英. 区域尺度生态修复空间辨识研究进展. 生态学报, 2019, 39(23): 8717-8724.
- [3] 高吉喜, 徐德琳, 乔青, 邹长新, 王燕, 田美荣, 王玥. 自然生态空间格局构建与规划理论研究. 生态学报, 2020, 40(3): 749-755.
- [4] 王甫园, 王开泳, 陈田, 李萍. 城市生态空间研究进展与展望. 地理科学进展, 2017, 36(2): 207-218.
- [5] 张琨, 吕一河, 傅伯杰. 生态恢复中生态系统服务的演变: 趋势、过程与评估. 生态学报, 2016, 36(20): 6337-6344.
- [6] Zhou R, Zhang H, Ye X Y, Wang X J, Su H L. The delimitation of urban growth boundaries using the CLUE-S land-use change model: study on Xinzhuang Town, Changshu City, China. Sustainability, 2016, 8(11): 1182.
- [7] Zhang Z M, Gao J F, Fan X Y, Lan Y, Zhao M S. Response of ecosystem services to socioeconomic development in the Yangtze River Basin, China. Ecological Indicators, 2017, 72: 481-493.
- [8] Zhang Y, Liu Y F, Zhang Y, Liu Y, Zhang G X, Chen Y Y. On the spatial relationship between ecosystem services and urbanization: a case study



- in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 2018, 637-638: 780-790.
- [9] Kang P, Chen W P, Hou Y, Li Y Z. Linking ecosystem services and ecosystem health to ecological risk assessment: a case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 1442-1454.
- [10] 刘春艳, 张科, 刘吉平. 1976—2013 年三江平原景观生态风险变化及驱动力. *生态学报*, 2018, 38(11): 3729-3740.
- [11] Hu M M, Li Z T, Wang Y F, Jiao M Y, Li M, Xia B C. Spatio-temporal changes in ecosystem service value in response to land-use/cover changes in the Pearl River Delta. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 149: 106-114.
- [12] Chen X C, Li F, Li X Q, Hu Y H, Wang Y. Mapping ecological space quality changes for ecological management: a case study in the Pearl River Delta urban agglomeration, China. *Journal of Environmental Management*, 2020, 267: 110658.
- [13] 许开鹏, 迟妍妍, 陆军, 王金南. 环境功能区划进展与展望. *环境保护*, 2017, 45(1): 53-57.
- [14] Fu B J, Liu G H, Lü Y H, Chen L D, Ma K M. Ecoregions and ecosystem management in China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2004, 11(4): 397-409.
- [15] 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 王晶晶, 张箫, 陆军, 王夏晖. 我国环境功能评价与区划方案. *生态学报*, 2014, 34(1): 129-135.
- [16] 蒋洪强, 刘年磊, 胡溪, 许开鹏. 我国生态环境空间管控制度研究与实践进展. *环境保护*, 2019, 47(13): 32-36.
- [17] 王成新, 于雷, 吕红迪. 城市环境空间管控体系探索与思考. *环境科学与管理*, 2019, 44(6): 184-189.
- [18] 周丰, 刘永, 黄凯, 郭怀成, 阳平坚. 流域水环境功能区划及其关键问题. *水科学进展*, 2007, 18(2): 216-222.
- [19] 马安青, 刘道彬, 安兴琴. 基于 GIS 的多因子分析法对兰州市大气环境功能区划的研究. *干旱区地理*, 2007, 30(2): 262-267.
- [20] 彭建, 杨旸, 谢盼, 刘焱序. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. *生态学报*, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [21] Pukkala T. Effect of species composition on ecosystem services in European boreal forest. *Journal of Forestry Research*, 2018, 29(2): 261-272.
- [22] 梁宇哲, 谢晓瑜, 郭泰圣, 吴茗华, 王璐. 基于资源环境承载力的国土空间管制分区研究. *农业资源与环境学报*, 2019, 36(4): 412-418.
- [23] 赵万奎, 张晓庆, 陈智平, 程小云, 雒剑波. 基于 GIS 的金昌市生态功能区划分及发展对策. *草业科学*, 2019, 36(11): 2989-2996.
- [24] 成超男, 胡杨, 冯尧, 赵鸣. 基于 CA-Markov 模型的城市生态分区构建研究——以晋中主城区为例. *生态学报*, 2020, 40(4): 1455-1462.
- [25] 丹宇卓, 彭建, 张子墨, 徐子涵, 毛祺, 董建权. 基于“退化压力-供给状态-修复潜力”框架的国土空间生态修复分区——以珠江三角洲为例. *生态学报*, 2020, 40(23): 8451-8460.
- [26] 刘春芳, 李鹏杰, 刘立程, 王韦婷. 西北生态脆弱区省域国土空间生态修复分区. *农业工程学报*, 2020, 36(17): 254-263.
- [27] 梁鑫源, 金晓斌, 朱凤武, 何杰, 张晓琳, 张孟真, 樊应凭, 胡静, 周寅康. 长江中下游平原区生态保护红线的划定——以江苏省为例. *生态学报*, 2020, 40(17): 5968-5979.
- [28] Liu H X, Li F, Xu L F, Han B L. The impact of socio-demographic, environmental, and individual factors on urban park visitation in Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163 Suppl: S181-S188.
- [29] Markevych I, Schoierer J, Hartig T, Chudnovsky A, Hystad P, Dzhambov A M, de Vries S, Triguero-Mas M, Brauer M, Nieuwenhuijsen M J, Lupp G, Richardson E A, Astell-Burt T, Dimitrova D, Feng X Q, Sadeh M, Standl M, Heinrich J, Fuertes E. Exploring pathways linking greenspace to health: theoretical and methodological guidance. *Environmental Research*, 2017, 158: 301-317.
- [30] Belmeziti A, Cherqui F, Kaufmann B. Improving the multi-functionality of urban green spaces: relations between components of green spaces and urban services. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 43: 1-10.
- [31] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [32] 孙新章, 周海林, 谢高地. 中国农田生态系统的服务功能及其经济价值. *中国人口·资源与环境*, 2007, 17(4): 55-60.
- [33] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 2003, 423(6939): 528-531.
- [34] Defries R, Nagendra H. Ecosystem management as a wicked problem. *Science*, 2017, 356(6335): 265-270.
- [35] 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.
- [36] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 区域生态安全格局构建研究进展与展望. *地理研究*, 2017, 36(3): 407-419.
- [37] 景永才, 陈利顶, 孙然好. 基于生态系统服务供需的城市群生态安全格局构建框架. *生态学报*, 2018, 38(12): 4121-4131.
- [38] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001, 21(1): 1-6.
- [39] 刘国华, 傅伯杰, 陈利顶, 郭旭东. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. *生态学报*, 2000, 20(1): 13-19.
- [40] 马冰然, 曾维华, 解钰茜. 自然公园功能分区方法研究——以黄山风景名胜区为例. *生态学报*, 2019, 39(22): 8286-8298.
- [41] 王丽霞, 张茗爽, 隋立春, 张双成, 杨耘. 渭河流域生态功能区划. *干旱区研究*, 2020, 37(1): 236-243.
- [42] 祁琼, 赖云, 钟艾妮, 喻芬芬. 襄阳市国土空间格局的功能分区及评价研究. *地理空间信息*, 2020, 18(4): 11-16.
- [43] 贾良清, 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 肖焱, 肖荣波, 郑华. 安徽省生态功能区划研究. *生态学报*, 2005, 25(2): 254-260.
- [44] 曹小娟, 曾光明, 张硕辅, 周建飞, 朱华, 石林. 基于 RS 和 GIS 的长沙市生态功能分区. *应用生态学报*, 2006, 17(7): 1269-1273.

- [45] 赵其国, 高俊峰. 中国湿地资源的生态功能及其分区. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 1-4.
- [46] 张晶, 董哲仁, 孙东亚, 王俊娜. 基于主导生态功能分区的河流健康评价全指标体系. 水利学报, 2010, 41(8): 883-892.
- [47] 李东梅, 高正文, 付晓, 吴晓青, 吴钢. 云南省生态功能类型区的生态敏感性. 生态学报, 2010, 30(1): 138-145.
- [48] 李慧蕾, 彭建, 胡熠娜, 武文欢. 基于生态系统服务簇的内蒙古自治区生态功能分区. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2657-2666.
- [49] Liu Y X, Fu B J, Wang S, Zhao W W. Global ecological regionalization: from biogeography to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, 33: 1-8.
- [50] 孙然好, 李卓, 陈利顶. 中国生态区划研究进展: 从格局、功能到服务. 生态学报, 2018, 38(15): 5271-5278.
- [51] 管青春, 郝晋珉, 许月卿, 任国平, 康蕾. 基于生态系统服务供需关系的农业生态管理分区. 资源科学, 2019, 41(7): 1359-1373.
- [52] 贺祥, 姚尧. 基于生态系统服务供需对喀斯特山区生态风险分析. 水土保持研究, 2020, 27(5): 202-212, 220-220.
- [53] 荣月静, 严岩, 王辰星, 章文, 朱婕缘, 卢慧婷, 郑天晨. 基于生态系统服务供需的雄安新区生态网络构建与优化. 生态学报, 2020, 40(20): 7197-7206.
- [54] 吴平, 林浩曦, 田璐. 基于生态系统服务供需的雄安新区生态安全格局构建. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(9): 5-11.
- [55] 阳平坚, 吴为中, 孟伟, 周丰, 刘永, 张远, 郑丙辉, 胡成, 李璇. 基于生态管理的流域水环境功能区划——以浑河流域为例. 环境科学学报, 2007, 27(6): 944-952.
- [56] 张惠远. 我国环境功能区划框架体系的初步构想. 环境保护, 2009, 412(2): 7-10.
- [57] 王金南, 许开鹏, 陆军, 张惠远, 王夏晖. 国家环境功能区划制度的战略定位与体系框架. 环境保护, 2013, 41(22): 35-37.
- [58] 张丽君, 白占雄, 王志琳. 基于 ArcGIS 的台州市环境功能区划研究——以声环境功能区划为例. 华北农学报, 2005, 20(S1): 73-76.
- [59] 陈亢利, 王琦, 王葳. 光环境功能区区域划分及管理初探. 环境与可持续发展, 2006, (4): 8-9.
- [60] 黄艺, 蔡佳亮, 郑维爽, 周丰, 郭怀成. 流域水生态功能分区以及区划方法的研究进展. 生态学杂志, 2009, 28(3): 542-548.
- [61] 贾琳, 杨飞, 张胜田, 林玉锁, 王金超. 土壤环境功能区划研究进展浅析. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 107-114.
- [62] 陆海, 杨逢乐, 唐芬. 云南省生态环境分区管治实践进展与制度研究. 环境科学导刊, 2020, 39(3): 27-30.
- [63] Fang Q H, Zhang L P, Hong H S, Zhang L Y, Bristow F. Ecological function zoning for environmental planning at different levels. *Environment, Development and Sustainability*, 2008, 10(1): 41-49.
- [64] Xu K P, Wang J N, Wang J J, Wang X H, Chi Y Y, Zhang X. Environmental function zoning for spatially differentiated environmental policies in China. *Journal of Environmental Management*, 2020, 255: 109485.
- [65] 王晓, 胡秋红, 杨芳. 我国生态环境分区制度建设与实施机制分析. 环境保护, 2020, 48(21): 14-19.
- [66] 迟妍妍, 许开鹏, 王晶晶, 张丽苹. 京津冀地区生态空间识别研究. 生态学报, 2018, 38(23): 8555-8563.
- [67] 魏子谦, 徐增让, 毛世平. 西藏自治区生态空间的分类与范围及人类活动影响. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2163-2174.