



## 区域生态环境评价研究综述

左璐<sup>1,2\*\*</sup>, 孙雷刚<sup>1,2</sup>, 徐全洪<sup>1,2</sup>, 刘剑锋<sup>1,2</sup>, 李晓婧<sup>1,2</sup>, 鲁军景<sup>1,2</sup>  
(1. 河北省科学院地理科学研究所, 河北石家庄 050011; 2. 河北省地理信息开发应用工程技术研究中心, 河北石家庄 050011)

**摘要:**良好的生态环境是人类生存和发展的基本条件,科学准确地对生态环境进行评价是保护环境、促进人类可持续发展的前提。通过总结和梳理当前国内外生态环境评价的研究进展,介绍了遥感在生态环境评价应用方面的发展趋势,比较了当前评价指标体系的构建方法,包括层次分析法、主成分分析法等。分析了不同评价方法模型的优缺点,如指数评价法、模糊判别法等。指出要把握生态环境特点,全面认识本质和各要素之间的内在联系,从而选择合适的评价方法和模型。最后总结分析了目前生态环境评价研究中的主要问题及未来的发展方向。

**关键词:**生态环境质量; 指标体系; 评价方法; 遥感

**中图分类号:**X87 **文献标志码:**A **文章编号:**0258-7971(2021)04-0806-12

20世纪以来,人口激增,社会经济飞速发展,人类活动对全球生态环境产生了极大的影响,植被破坏、水资源短缺、土地退化、生物多样性锐减等生态环境问题,成为制约世界各国发展的重要瓶颈<sup>[1-2]</sup>。1972年联合国人类环境会议在斯德哥尔摩召开,世界各国政府第一次共同探讨生态环境问题。此后,世界各国政府围绕生态环境质量提升,制定和开展了一系列重大生态建设战略和计划,如可持续发展战略、全球气候变化框架条约、新千年生态系统评估、生态优先战略、生态文明建设等。中国是人口大国和资源消耗大国,存在着较为严重的生态环境问题,生态环境保护形势严峻,了解和评价生态环境状况是保护生态环境的重要基础和前提。生态环境评价是制定环境保护政策和资源开发利用计划的重要依据,有利于协调区域经济发展与环境保护之间的相互关系,对于促进人类社会与自然环境和谐共处,实现社会经济可持续发展具有重要意义。

国内外专家学者围绕生态环境评价的内涵理论、指标体系、方法模型等问题进行了大量的研究,各种先进的技术方法被广泛应用于生态环境研究领域<sup>[3-4]</sup>。由于生态系统本身的复杂性、多样性和层

次性,遥感、GIS等新技术的结合应用,以及评价的目的和方法多样,生态环境遥感评价研究还存在着一定的不确定性,其理论方法、应用分析等还需进一步研究完善。本文归纳了生态环境评价的发展历程,讨论了当前生态环境评价的主要方法及遥感生态评价应用,总结了生态环境评价的发展趋势,期望对未来生态环境评价遥感研究工作的开展有所裨益。

### 1 生态环境评价的内涵与发展

**1.1 生态环境评价的内涵** 生态环境是指生物群落及非生物自然因素组成的各种生态系统所构成的整体,其状况与演变与人类的生存和发展息息相关<sup>[5]</sup>。长期以来,学界对于生态环境概念的理解存在争议,一种说法认为生态环境是影响生物生存和发展的一切外界条件的总和,另一种认为生态包括环境,生态环境的说法是不合理的。高宝嘉等<sup>[5]</sup>认为生态环境是可以相加和并列的,指包括生态关系的环境和生态系统。曹杨宇等<sup>[6]</sup>认为生态环境有别于自然环境,是指具有一定生态关系的构成的系统总体,自然环境包括生态环境。生态环境评价通过一定的技术和方法分析区域的生态环境状况,明确

收稿日期:2020-09-05; 接受日期:2021-01-15; 网络出版日期:2021-03-24

基金项目:河北省科技计划(18390318D);河北省科学院科技计划(2019G16, 19104)。

\*\*通信作者:左璐(1991-),女,湖北人,博士,助理研究员,主要研究生态环境遥感。E-mail: zuol.14b@igsnr.ac.cn.

区域生态环境的优劣并揭示其成因, 针对存在的问题提出改进措施. 对于生态环境评价的定义主要有两种, 一是评价与人类有关的自然资源及人类赖以生存的环境的优劣程度, 包括自然资源和整个环境的各种因素; 二是评价特定时空范围内的生态系统整体或部分生态环境因子组合体对人类生存及社会经济持续发展的适宜程度<sup>[7]</sup>. 因此, 生态环境评价的内涵应从 3 个方面来理解, 包括生态系统及其组分的变化规律, 不同生态系统的动态变化及外部特征, 不同生态系统对人类生存的适宜程度<sup>[8]</sup>. 在生态评价过程中, 不仅需要客观评价生态环境状况, 还需要评估生态环境状况对人类社会的影响.

生态环境评价从不同的角度来看, 可划分为不同的类型. 按照评价的区域类型可分为行政区域<sup>[9]</sup>和专题区<sup>[10]</sup>生态环境评价. 行政区域生态环境评价是指从整体上综合评价各种社会经济活动对某一行政区域产生的影响, 以此来制定区域的发展规划和环境保护措施. 专题区生态环境评价针对某一特殊地理区域的生态环境进行评价, 如自然保护区、矿区、流域<sup>[11]</sup>等. 按照评价选取的要素可分为单要素和综合要素评价, 如气候要素评价、土壤要素评价、水文要素评价<sup>[12]</sup>或生态环境综合评价等<sup>[13]</sup>. 按照评价方向及评价侧重点划分, 有关注生态系统稳定性的生态健康评价, 关注生态环境服务功能的生态系统服务功能评价, 关注生态系统敏感性的生态脆弱性评价, 关注生态系统未知风险的生态风险评价, 关注生态环境容量的生态承载力评价等<sup>[14]</sup>.

## 1.2 国内外研究进展

1.2.1 国内外发展历程 国际上对生态环境评价的研究源于 20 世纪 60 年代的环境污染和生态风险评价, 主要经历了 4 个阶段. ① 萌芽阶段(20 世纪 60 年代前), 侧重在单一环境污染因子对环境影响的评价, 美国 1969 年制定“国家环境政策法”, 规定大型工程在修建前必须编写评价报告书, 加拿大、瑞典等国随后也在环境保护法中规定了环境影响评价制度; ② 生态系统服务功能评价阶段(20 世纪 70 年代), 主要关注生态系统的服务功能评价, 如水土保持、气候调节与物质循环功能等, Costanza 等<sup>[15]</sup>对生态系统服务进行分类, 估算了全球生物圈的生态系统服务价值; ③ 生态系统健康评价阶段(20 世纪 80 年代), Rapport 等<sup>[16]</sup>指出生态系统是稳定和可持续性的, 一个健康的生态系统具有维持其组织结构、自我调节和对抗干扰的恢复能力;

④ 生态环境综合评价阶段(20 世纪 90 年代至今), 美国开展了区域和国家尺度的环境监测和评价计划(EMAP), 加拿大等国先后建立了涵盖物种、植被、气象、水文、土壤等几乎所有生态因子的生态研究网络, 并综合分析人类活动、土地利用及管理政策对生态环境的影响. 2001 年, 联合国开展“千年生态系统评估”项目, 对全球生态系统及其服务功能状况与趋势进行科学评估, 生态环境评价和可持续发展研究进入新的发展阶段.

中国于 20 世纪 70 年代开始生态环境评价研究工作, 起步较晚. 早期重点关注城市污染情况评估, 80 年代转向评价工程项目对环境的影响评价, 后逐渐扩展到农业生态系统, 城市生活环境评价, 以及区域综合生态环境、地区环境等的评价<sup>[17-19]</sup>. 在工程制度方面, 中国启动了退耕还林、三北防护林等重大生态保护工程, 颁布实施了以《环境保护法》为代表的一系列法律法规. 进入 21 世纪以后, 中国生态环境评价工作取得较大进展, 生态环境评价的理论方法愈发成熟<sup>[20]</sup>. 2006 年国家环保部发布的《生态环境状况评价技术规范》(试行)(HJ-192-2006), 对国内县级以上区域的生态环境现状及动态趋势进行年度综合评价. 2015 年环保部新颁布了《生态环境状况评价技术规范》(HJ-192-2015), 扩展了评价数据来源, 丰富了指数信息含量, 新增了污染负荷分指数. 根据不同的生态环境管理需求和生态环境特征, 建立了县域、省域、国家和专题生态区的评价指标体系.

### 1.2.2 国内外重点研究领域

(1) 生态环境评价指标体系的建立探讨 指标体系直接影响生态环境评价结果的准确性<sup>[21]</sup>, 不同生态系统所处的自然、社会和经济状况不同, 发展阶段不同, 建立的评价指标体系也有所不同. 目前, 对于不同的评价对象并没有标准统一的指标体系, 常用的指标体系呈现出多样化、差异化的特点. 然而, 对于不同的研究领域已经出现了一些代表性的评价指标体系. 如李海龙等<sup>[22]</sup>从资源节约、环境友好、经济持续、社会和谐、经济持续、社会和谐 5 个目标层建立了城市评价指标体系; 彭涛等<sup>[23]</sup>建立了包括人口密度、水体富营养化程度、生物多样性、湿地保护意识等 17 个具体指标的滨海湿地生态评价体系. 近年来, 国家和地区政府机构也建立了一些生态环境评价指标体系, 如中国环保部 2006 年提出的生态环境状况指数(EI), 欧洲

经济学人智库 2013 年提出的亚洲绿色城市指数<sup>[24]</sup>等。随着生态环境评价理论方法的更新和发展, 指标体系的建立从单纯考虑自然和生态因素, 逐步发展到整合社会和经济因素<sup>[5]</sup>。

(2) 不同方向的生态环境评价探讨 国际上主要关注环境影响评价和生态风险评价, 并发展了生态系统健康评估。Rapport 等<sup>[16]</sup>类比人体健康提出了生态健康理论, 从生态系统的活力、组织结构和恢复力来定义生态系统健康, 衡量生态系统在一定时空尺度内对各种扰动保持稳定和弹性的能力。Karr 等<sup>[25]</sup>提出了生态完整性指标(ABI), 被广泛应用到水生生态系统健康评价中<sup>[26]</sup>, 并逐渐发展到陆生生态系统健康评价。近年来, 专家学者对其理论概念及方法进行了大量研究, 成为了生态环境评价领域的热点方向<sup>[27-28]</sup>。

注重生态系统经济价值与效益的生态系统服务功能评价, 是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[29-30]</sup>, 景观和区域层次上主要表现为水源涵养、水土保持、净化空气、生物多样性保护等<sup>[31]</sup>。早期研究主要集中在生态系统服务功能的内涵、分类及评价方法和理论。近年来, 专家学者更多地集中在生态系统服务功能机制、经济价值和评价方法以及区域评价和应用上<sup>[32]</sup>。

注重生态系统对外界干扰灵敏程度的脆弱性评价, 从暴露、敏感性、适应性 3 方面来分析生态系统对气候变化及人类活动的敏感性<sup>[33-34]</sup>。生态脆弱性评价源于生态脆弱带的划定, 最初主要考虑自然地理条件因素和系统自身恢复力, 后逐渐综合人为活动干扰因素<sup>[35]</sup>。

此外, 还有注重生态环境容量的生态承载力评价, 注重突发性事故的生态风险评价, 注重生态系统完整性和整体健康水平的生态安全评价等。随着理论方法的不断发展, 生态环境评价向着多元化、层次化发展, 评价内容越来越丰富全面, 逐渐由单一的自然环境评价向自然环境与社会经济综合评价发展<sup>[5]</sup>。

(3) “3S”技术在生态环境评价中的应用 遥感技术(RS)、地理信息系统技术(GIS)与全球定位技术(GPS)简称为“3S”技术, RS 能够客观、准确、高效地获取大面积地物特征信息, 为生态环境研究提供了多时相、多光谱、多尺度、多区域的海量数据, GIS 技术具有强大的空间信息分析、查询、处

理能力, GPS 能够快速定位和获取数据, 三者相互结合, 成为生态环境评价研究有力的技术支撑。徐鹏炜等<sup>[36]</sup>利用遥感技术获取了杭州市区的生态环境空间数据, 选取自然环境条件、环境质量、自然景观格局和城市化影响 4 大类 11 个指标构建指标体系, 利用 GIS 空间分析技术同化环境污染监测数据和社会经济统计数据, 对杭州市的生态环境状况进行了综合评价。王伟等<sup>[37]</sup>利用遥感技术和 GIS 技术, 基于 Landsat-TM 影像提取环首都经济圈的生物丰度指数、植被覆盖指数、土壤水分指数和水网密度指数, 构建生态环境质量指数对区域 10 年的生态环境质量变化进行了动态评价。廖柳文等<sup>[38]</sup>基于 Landsat-TM 和 MODIS 影像, 以及人口、经济和气候数据对长株潭城市群 2000—2010 年的湿地生态安全进行了综合评价。

## 2 生态环境评价方法

2.1 不同评价方法的比较 目前, 国内外专家学者已经对生态环境评价方法进行了大量研究, 构建了一些较为成熟的方法, 如指数评价法、模糊判别法、人工神经网络等。指数评价法对每一个参与评价的要素进行单独评价, 在单独评价的基础上结合各评价因子对最终结果的属性权重, 采用加权求和的方法对生态环境进行综合评价。Ma 等<sup>[39]</sup>利用综合指数评价法, 选取植被覆盖指数、裸土指数、坡度等环境影响因子, 对广州市的生态环境总体状况进行了评价, 指出城市绿化建设是提高区域生态环境质量的有效途径。

模糊判别法基于模糊数学理论, 把系统中存在的模糊性因素根据隶属度进行定量化, 对每一个评价因素与系统的关系用 0~1 之间连续值中的某一数值来表示。具体的工作流程包括: 建立评价因素集, 建立隶属函数, 确定模糊关系矩阵, 分组综合评价和总体综合评价。Cheng 等<sup>[40]</sup>基于模糊数学评价法, 从生理因素、生态因素和环境因素 3 个方面着手, 构建了包括生物量、净初级生产力、植被覆盖度、光能利用率和土壤有机质等 11 项指标的沙漠生态系统健康评价指标, 为荒漠区生态系统健康评价及生态保护与恢复提供了技术支持。

人工神经网络是对目标与变量二者之间进行非线性映射的有效工具, 通过大量简单的基础元件按照一定的层次结构相互连接构成的一种处理信息的网络。在连续时间的信息处理中, 人工神经网络



络通过学习已知的样本来获取先验信息, 从而识别和评判新样本<sup>[41]</sup>. 李洪义等<sup>[42]</sup>采用人工神经网络方法, 将从遥感影像、气象及地形数据中提取的生态环境指标作为网络输入, 构建福州市生态环境评价模型, 总体分类精度达到 87.8%.

灰色关联分析法是一种多因子统计分析方法, 利用离散的数据来做数列间距离的量度, 探讨两个数列间的关联度, 根据因素之间变化趋势的相似度(关联度)来衡量因子间的相关性. 胡坤侠等<sup>[43]</sup>运用灰色关联模型对赣州市生态安全状况进行了综合评价, 获取较可靠的评价结果.

聚类分析法按距离的远近将数据分为若干类别, 使得类别内数据的差异尽可能小, 类别间差异尽可能大. 都耀庭等<sup>[44]</sup>利用聚类分析法对青海玉树县的草甸生态系统健康进行评价, 并与主成分分析法结果比较, 发现聚类分析法能较为合理地评价生态系统健康状态.

生态足迹法从需求面计算生态足迹的大小, 从供给面计算生态承载力的大小, 通过对这两者的比较盈亏分析, 评价对象的可持续发展性. 生态足迹法具有较强的可复制性, 在城市生态环境质量评价中应用广泛<sup>[45]</sup>.

综合上述生态环境评价方法, 对各方法的特征总结如表 1. 不同方法各有优缺点, 对不同的生态环境评价问题, 要把握生态环境特点, 全面认识本质和各要素之间的内在联系, 选择合适的评价方法和模型.

**2.2 评价指标的选取** 生态环境评价的关键是构建科学合理的指标体系, 包括指标选取和权重确定两个阶段, 指标选取是生态环境评价的基础<sup>[46]</sup>. 杨雪锋等<sup>[24]</sup>将指标选取的方法分为模型分析法和非模型分析法, 模型分析法利用现有的理论框架模式来反映生态环境评价指标的属性和特征, 包括以压力 (pressure)-状态 (state)-响应 (response) 模型 (PSR) 为代表的一系列发展演化模型. PSR 是联合国经济合作与发展组织于 1990 年提出的一个框架模型, 该模型从生态发展和生态保护方面反映区域社会系统、经济系统、自然生态系统之间的各个因子的相互影响、相互作用. 吕天阳等<sup>[47]</sup>基于遥感和 PSR 模型对许昌市的城市景观生态安全进行了评价. 在 PSR 基础上, 联合国可持续发展委员会又提出了驱动力 (driving forces)-状态 (state)-响应 (response) 模型 (DSR), 之后欧洲环境署结合 PSR 和 DSR 模型的特点, 提出了驱动力 (driving forces)-

表 1 不同生态环境评价方法的汇总与比较

Tab. 1 Summary and comparison of different ecological environment assessment methods

评价方法	描述	适用范围	优点	缺点
指数评价法	加权求和各因子得到综合评价, 包括现状评价、趋势评价及稳定性评价	适用于长时间积累的数据资料	评价全面、宏观, 评价结果具有较强的综合性、逻辑性及系统性	评价指数专一性过强, 需要大量基础研究数据
模糊判别法	计算各因子对各评价指标的隶属度, 分析结果向量, 评价生态环境质量	适用于省、区等大范围及县(市)、乡(镇)等小范围	计算方法简单易行, 对模糊、非确定性问题评价效果较好, 结果清晰, 系统性强	评价指标反映不够灵敏, 损失有用信息
人工神经网络法	模拟人的大脑神经处理信息, 对已知样本进行学习、获得先验知识, 从而对新样本进行评价	适用于难以推理识别的复杂数据	评价结果客观, 剪度高, 减少了算法及数值的不确定性	需要大量样本, 无法阐释推理过程和依据
灰色关联分析法	根据因素发展的异同度来量化各因素间的相关性	对动态历程分析效果较好	考虑整体分析指标间的相关性, 整体性较好	指标最优值主观性强, 难以确定, 且需要以环境质量的评价标准为基础
聚类分析法	将样本按相似度进行分类, 使类别间相似度较低	适用于省域、市域等范围	定量评价生态环境质量, 操作简单, 结果直观	样本较大时, 评价结果较难得出, 误差较大
生态足迹法	以该区域人类活动所使用的生态资源对应的生产性土地面积来表现对资源占有的程度	适用于基础资料较齐全的城市生态环境评价	可复制性强, 通用性好	无法完全描述生态系统提供资源以及消纳废弃物的功能描述完全, 较少考虑污染影响

压力 (pressure)-状态 (state)-影响 (impact)-响应 (response) 模型 (DPSIR), 被广泛应用环境可持续发展研究和生态环境综合评价中<sup>[48]</sup>。DPSIR 模型能够准确描述系统的复杂性和各系统之间的关系, 揭示社会经济及生态环境之间的因果关系。卿青平等<sup>[48]</sup>采用 DPSIR 模型构建指标体系, 实现了全国 30 个省域的生态环境质量动态评价。

专家打分法是较为常见的非模型分析法, 该方法根据专业人士的直接经验, 采用系统程序, 以互不见面和反复进行的方式, 对某一问题进行判断的一种方式。王宗仁等<sup>[49]</sup>采用专家打分法从环境系统、经济系统和社会系统 3 个基本因素层出发, 派生出 24 个相关因子, 对河南省平顶山市的生态环境质量及其变化进行综合评价。该方法主观性较强, 过程较复杂, 花费的时间较长。

结合目前国内外研究情况, 生态环境评价的指标选取主要考虑自然因素和人为因素两个方面, 综合考虑指标的科学性和可操作性。通常自然环境因素和人为作用因素为一级指标, 二级指标则分为地形地貌、气候水文、土壤植被, 人类活动强度、社会经济发展等方面, 三级指标通常为可量化的具体指标, 如高程坡度、年均降水量、森林覆盖率等。陈淑清等<sup>[9]</sup>针对生态环境特征, 从自然环境、自然资源、经济环境、社会环境 4 个方面构建生态环境评价的系统层, 各层再细化为不同的具体指标, 以此实现对滨州市的生态环境评价。卓桂华等<sup>[50]</sup>构建了生态环境保护、资源利用、社会经济发展压力 3 个一级指标及 17 个二级指标对福建省的生态环境进行评价。江宗文等<sup>[21]</sup>总结全球不同国家和地区的生态环境评价指标体系, 指出全球尺度上生态评价指标体系通常是基于联合国可持续发展指标体系, 从经济、社会、环境和制度 4 个方面建立; 地区尺度的指标体系构建, 则充分考虑地域生态环境特征, 将经济、社会、环境等紧密结合起来。不同的生态功能区所发挥的生态功能不同, 不同生态系统的自然、社会和经济状况不同, 侧重监测的指标也不同。在选取指标时, 要注意遵循科学性、综合性、代表性、可操作性、适用性原则, 选取可获取性高, 意义明了, 能真实、客观反应生态环境状况的指标。

**2.3 指标权重的确定** 各生态因子对生态环境质量的贡献率不同, 需要对生态因子的具体指标赋以不同权重。目前的赋权方法主要可分为主观赋权法和客观赋权法两大类。主观赋权法根据专家多年积

累的实践经验来主观确定各指标的权重, 常用的有专家打分法、层次分析法 (AHP) 等。专家打分法又称专家咨询法、Delphi 法, 应用该方法确定权重时, 首先草拟专家打分问卷, 制定打分标准, 提供打分背景资料; 专家独立完成问卷打分后, 对打分结果进行统计分析, 从而确定各评价指标权重<sup>[51]</sup>。由于不同专家学者对同一指标的认识不同, 重视程度不同, 因此主观赋权法存在过分依赖专家意见, 主观性较强的缺点。

层次分析法是一种综合定性定量分析的多目标决策分析方法, 通过将一个复杂的多目标决策问题分解为多个目标或准则, 进而分解为多指标的若干层, 再计算出层次权重。首先对决策问题的影响因素深入分析, 明确各要素之间的层次关系, 并划分目标层、准则层、要素层, 然后对一组事物进行两两比较, 构建判断矩阵, 求解特征值和特征向量, 再通过一致性分析计算各个层次的要素对于评价目标的影响程度<sup>[52]</sup>。He 等<sup>[53]</sup>以沿海矿业城市龙口为例, 运用层次分析法确定评价因子权重, 构建了包括自然地理、地质条件、矿山开采强度、生态环境恢复和矿山地质灾害等的综合评价指标体系。

客观赋权法是指根据各指标之间的相关关系或内部结构信息来确定各指标权重, 常用的客观赋权法有主成分分析法<sup>[10]</sup>、熵值法<sup>[54]</sup>等。主成分分析法是一种将多个变量通过线性变换来选出少数重要变量的方法, 该方法将多维信息集中到少数几个特征分量, 每个特征分量代表一定的特征信息。该方法将复杂数据简单化, 根据各个指标对各主分量的贡献度来自动客观确定权重, 避免主观随意性<sup>[55]</sup>。

熵值法依据评价指标的变化幅度对指标的影响来确定权重, 若一个评价指标值的变化幅度越大, 其熵值就越小, 说明这个指标所提供的信息量就越大, 其权重值就越大, 反之, 则越小。熵值法是一种客观的指标权重确定方法, 操作简单, 精度较高<sup>[56]</sup>。客观赋权法排除了主观因素的影响, 但结果不一定能正确反映指标与评价事物之间的关系, 具体使用过程中的约束条件和适用范围并不明确。

在实际应用中, 较为科学的做法是将主观赋权法和客观赋权法结合起来。例如层次分析法与熵值法、模糊数学法等结合起来, 层次分析法简单明了, 实用性强, 可靠度高, 误差较小, 但无法避免主观因素影响, 与其他方法结合后可有效提高评价结果的

准确性和可信度. Wu 等<sup>[57]</sup> 等将层次分析法与熵值法、模糊数学法相结合, 选取坡度、土地利用、土地压力指数、植被覆盖率、人口密度指数等 15 项评价指标, 构建了基于生态恢复力和生态压力的三峡库区生态承载力评价指标体系.

### 3 遥感在生态环境评价中的应用

随着空间科学和计算机技术的发展, 遥感和 GIS 技术被广泛应用于生态环境评价中. 遥感技术是一种远距离、非接触的观测技术, 具有空间覆盖范围广、多尺度多光谱、全天候实时监测、数据获取方便等特点, 成为区域生态环境评价的有效手段. 遥感技术为生态环境研究提供了多时相、多尺度、多区域的多种形式的数据库, 对目标进行定位定性定量的描述, 快速准确地提供区域内宏观动态的生态环境信息. 梁变等<sup>[58]</sup> 利用遥感技术, 从生态系统的生产力、稳定性和承载力 3 个方面构建评价体系, 对新疆石羊河流域的生态环境质量进行综合评价和时空变化分析. 张沛等<sup>[59]</sup> 以 Landsat-TM、中巴资源卫星遥感数据为基础, 选取生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数等指标构建生态环境状况指数, 发现塔里木河干流综合治理后生态环境状况得到明显改善. 2013 年, 徐涵秋<sup>[60]</sup> 选取绿度、湿度、热度、干度 4 个完全基于遥感的指标, 采用主成分分析法构建了一种新型的遥感生态指数 RSEI, 该指数所需指标均从遥感影像获取, 可视性好, 相较于 EI 指数能较好地反映区域生态环境质量的时空特征, 因此被广泛应用于水土流失区和城市生态环境评价<sup>[61-62]</sup>. Yue 等<sup>[63]</sup> 利用遥感生态指数对中国 35 个主要城市的生态环境质量状况进行了评价, 建立了遥感生态指数与绿度、湿度等分量指标的定量关系, 为区域城市化发展与生态保护政策制定提供了参考.

同时, 随着研究区域和尺度的扩展, 各种不同时空分辨率的遥感数据逐渐应用于生态环境问题研究<sup>[64-65]</sup>, 从较高空间分辨率的 Landsat、SPOT 卫星, 到较高时间分辨率的 MODIS 等. Sun 等<sup>[66]</sup> 基于 Landsat 数据建立了海南岛生态环境质量评价模型, 重点分析土地利用变化对海南岛生态环境质量的影响. 吴宜进等<sup>[67]</sup> 基于 MODIS 遥感产品, 提取了植被覆盖度、叶面积指数、植被总初级生产力、区域热度及湿度 5 项指标, 对西藏地区 2006—2016 年的生态环境质量进行综合评价和时空变化

分析. 研究范围和尺度也逐渐由县、市级向省级、大区域尺度扩展, 柳钦火等<sup>[68]</sup> 基于多尺度、多源遥感数据, 对一带一路区域 2015 年的宏观生态系统结构、植被状况、水资源平衡及主要城市生态环境质量进行了监测和评价. 近年来, 高分遥感数据和国产卫星影像在区域生态环境评价和监测中的应用加强, 如 G-F 卫星、H-J 卫星数据<sup>[69]</sup> 等. 随着多源遥感数据的应用, 遥感解译的手段和精度日渐提升, 面向对象的地表分类方法开始应用<sup>[70-71]</sup>. 更多研究开始关注生态系统参数的遥感反演, 如叶面积指数<sup>[72]</sup>、植被覆盖度<sup>[73]</sup>、净初级生产力<sup>[74]</sup>、土壤湿度等, 这些参数可作为陆地生态系统碳水循环的输入参数, 为生态环境状况评价提供技术支持.

### 4 总结与展望

目前生态环境评价的发展趋势, 从评价内容来看, 生态环境评价问题逐渐多样化, 涉及各类生态系统及社会经济系统; 从评价指标体系来看, 生态环境评价逐渐考虑人作为主要影响因素的复合生态系统环境评价, 综合自然、资源、社会、经济、环境保护举措等方面进行评价; 从评价方法来看, 新型理论和技术不断提出, 如“3S”技术、机器学习、大数据<sup>[53]</sup> 等的应用; 从评价对象来看, 逐渐从省、市、县等城市大尺度宏观生态环境评价, 到关注不同功能区, 不同地理类型区域的生态环境问题. 国外研究主要集中在各专题如水环境、大气环境和土壤环境的定量化分析, 以及解决某些典型区域的环境问题, 中国的生态环境研究问题主要集中在评价指标、评价方法及技术手段等方面.

但总体来看仍存在问题: ① 目前的评价指标及模型缺乏对生态环境影响的机理方面系统定量的研究, 不论自然条件指标还是社会经济指标都没有统一的分析标准, 未形成一套综合、完整, 涉及各种对象和尺度的生态环境评价系统模型, 存在较大不确定性, 不同区域之间的评价结果缺乏可比性. ② 目前对生态环境现状的研究较为成熟, 而缺乏区域生态环境质量的时空动态及未来趋势预测的综合评价, 层次与问题目标定位不明确, 针对性不强. ③ 人为主观因素对生态环境评价结果影响较大, 不同专家学者对生态环境评价的认知不统一, 等级划分标准不一, 评价结果主观性较大.

生态环境研究包含地理学、生态学、社会经济学等多学科, 具有较强的现实意义和应用价值. 针



对现有研究存在的问题,围绕生态环境的评价方法、评价对象,评价内容,评价手段及视角等方面,提出未来的发展方向主要有:①研究方法上强化多学科协同,突出学科融合性.生态环境本身具有系统性、复杂性和区域性,生态环境评价的数据来源于遥感、野外调查、地理国情普查等多源数据,分析方法涉及自然地理学、生态经济学、数理统计学等多学科交叉,3S技术平台及人工智能、时空大数据等多技术手段的应用,充分体现了区域生态环境评价的综合交叉性,融合多源数据,协同多学科知识,运用新兴技术平台,为实现区域大尺度长期的生态环境状况监测提供了保障.②指标体系上充分考虑生态系统内本质及影响因素.不同评价对象的属性及功能不同,评价指标体系应因地制宜,客观反映生态系统的本质特征,综合考虑自然生态因子、人类活动及社会经济因子,明确影响生态环境质量的主要因素,探究各指标因素对生态环境的影响和响应机制,实现区域生态环境与社会经济协调可持续发展.③数据处理上加强生态环境时空动态性评价,目前的研究主要集中在对生态环境现状的评价,对于生态环境的动态变化和未来趋势研究还不足,要充分发挥3S技术在数据获取、模型构建、数据分析、空间分析等方面的重要支撑,将遥感影像与长期观测数据融合,从时间空间上加强生态环境动态评价,进一步分析生态系统的演变,以及社会经济发展对生态环境的作用机理和发展机制,实现科学客观的生态环境时空动态评价.④研究对象上综合研究不同尺度下生态环境质量评价.考虑不同区域生态环境特征的相似性和特征性,建立省、市、县等不同范围的评价体系,加强不同评价模型方法的标准化,实现不同尺度之间的相互转换与统筹协调,增强不同尺度不同区域之间评价结果的可比性.⑤研究成果需进一步拓展应用,生态环境评价为区域生态保护、资源开发利用及社会经济可持续发展提供了基础支撑和科学依据,基于评价结果对研究区域的土地利用和生态管控等进行分区治理,促进国土空间开发格局优化、生态功能区综合整治及主体功能区建设,为区域绿色高质量发展提供有力的技术支持和决策依据.

### 参考文献:

- [1] Hansen M C, Potapov P V, Moore R, et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change[J]. *Science*, 2013, 342(6160): 850-853. DOI: [10.1126/science.1244693](https://doi.org/10.1126/science.1244693).
- [2] McDonnell M J, MacGregor-Fors I. The ecological future of cities[J]. *Science*, 2016, 352(6288): 936-938. DOI: [10.1126/science.aaf3630](https://doi.org/10.1126/science.aaf3630).
- [3] Vannier C, Vasseur C, Hubert-Moy L, et al. Multiscale ecological assessment of remote sensing images[J]. *Landscape Ecology*, 2011, 26(8): 1 053-1 069. DOI: [10.1007/s10980-011-9626-y](https://doi.org/10.1007/s10980-011-9626-y).
- [4] Gan X, Fernandez I C, Guo J, et al. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 81: 491-502. DOI: [10.1016/j.ecolind.2017.05.068](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.068).
- [5] 高宝嘉, 陈明叶. 生态环境质量评价之评价[J]. *林业与生态科学*, 2018, 33(1): 1-6.  
Gao B J, Chen M Y. A review of eco-environmental quality assessment[J]. *Forest and Ecological Sciences*, 2018, 33(1): 1-6.
- [6] 曹杨宇, 刘洁, 陈明叶, 等. 湿地生态环境质量评价的内涵、方法和内容[J]. *河北林果研究*, 2015, 30(3): 248-252.  
Cao Y Y, Liu J, Chen M Y, et al. On the eco-environmental quality evaluation of wetland in connotation, method and content[J]. *Hebei Journal of Forest and Orchard Research*, 2015, 30(3): 248-252.
- [7] 姚尧, 王世新, 周艺, 等. 生态环境状况指数模型在全国生态环境质量评价中的应用[J]. *遥感信息*, 2012, 27(3): 93-98. DOI: [10.3969/j.issn.1000-3177.2012.03.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3177.2012.03.016).  
Yao Y, Wang S X, Zhou Y, et al. The application of ecological environment index model on the national evaluation of ecological environment quality[J]. *Remote Sensing Information*, 2012, 27(3): 93-98.
- [8] 朱丽, 查良松. 城市生态环境质量评价研究进展[J]. *湖北经济学院学报*, 2009, 6(2): 36-38.  
Zhu L, Zha L S. Research progress of urban ecological environment quality assessment[J]. *Journal of Hubei University of Economics*, 2009, 6(2): 36-38.
- [9] 陈淑清, 李吉英, 马雪莹. 滨州市生态环境质量综合评价研究[J]. *环境科学与管理*, 2016, 41(6): 171-174. DOI: [10.3969/j.issn.1673-1212.2016.06.040](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-1212.2016.06.040).  
Chen S Q, Li J Y, Ma X Y. Ecological environmental quality assessment of Binzhou City[J]. *Environmental Science and Management*, 2016, 41(6): 171-174.
- [10] 刘盼, 任春颖, 王宗明, 等. 南瓮河自然保护区生态环境质量遥感评价[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 3 347-3 356.  
Liu P, Ren C Y, Wang Z M, et al. Assessment of the eco-environmental quality in the Nanweng River Nature

- Reserve, Northeast China by remote sensing[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(10): 3 347-3 356.
- [11] Jing Y, Zhang F, He Y, et al. Assessment of spatial and temporal variation of ecological environment quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 110: 105 874. DOI: [10.1016/j.ecolind.2019.105874](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105874).
- [12] 阴琨, 王业耀. 水生态环境质量评价体系研究 [J]. *中国环境监测*, 2018, 34(1): 1-8.
- Yin K, Wang Y Y. Research on assessment system of national river basin water eco-environmental quality[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2018, 34(1): 1-8.
- [13] 束加稳, 杨文培. 杭州市生态环境质量综合评价研究 [J]. *生态经济*, 2019, 35(2): 128-134.
- Shu J W, Yang W P. Study on the comprehensive evaluation of eco-environmental quality in Hangzhou[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(2): 128-134.
- [14] 张晓彤, 谭衢霖, 董晓峰, 等. MODIS 卫星数据中亚地区生态承载力评价应用 [J]. *遥感信息*, 2018, 33(4): 55-63. DOI: [10.3969/j.issn.1000-3177.2018.04.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3177.2018.04.009).
- Zhang X T, Tan Q L, Dong X F, et al. Application of MODIS satellite data in evaluating ecological carrying capacity of central Asia[J]. *Remote Sensing Information*, 2018, 33(4): 55-63.
- [15] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(1): 3-15.
- [16] Rapport D J. What constitutes ecosystem health[J]. *Perspectives in Biology and Medicine*, 1989, 33(1): 120-132. DOI: [10.1353/pbm.1990.0004](https://doi.org/10.1353/pbm.1990.0004).
- [17] 周正柱, 王俊龙. 长江经济带区域生态环境质量综合评价与预测研究 [J]. *山东师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 33(4): 465-473.
- Zhou Z Z, Wang J L. Comprehensive evaluation and forecasting of ecological environmental quality in the Yangtze Economic Zone[J]. *Journal of Shandong Normal University: Natural Science Edition*, 2018, 33(4): 465-473.
- [18] Xu M, Zhu Y, Lü H, et al. Eco-environmental quality evaluation of Huaibei Plain[J]. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2015, 368: 436-441. DOI: [10.5194/piahs-368-436-2015](https://doi.org/10.5194/piahs-368-436-2015).
- [19] Liu Y, Yue W, Fan P, et al. Assessing the urban environmental quality of mountainous cities: A case study in Chongqing, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 81: 132-145. DOI: [10.1016/j.ecolind.2017.05.048](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.048).
- [20] Zhang K M, Wen Z G. Review and challenges of policies of environmental protection and sustainable development in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 1 249-1 261. DOI: [10.1016/j.jenvman.2007.06.019](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.019).
- [21] 江宗文, 张军. 生态城市评价指标体系研究综述 [J]. *山西建筑*, 2016, 42(13): 245-246. DOI: [10.3969/j.issn.1009-6825.2016.13.135](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6825.2016.13.135).
- Jiang Z W, Zhang J. On evaluation indexes system of ecological cities[J]. *Shanxi Architecture*, 2016, 42(13): 245-246.
- [22] 李海龙, 于立. 中国生态城市评价指标体系构建研究 [J]. *城市发展研究*, 2011, 18(7): 81-118. DOI: [10.3969/j.issn.1006-3862.2011.07.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-3862.2011.07.013).
- Li H L, Yu L. Chinese eco-city indicator construction[J]. *Urban Studies*, 2011, 18(7): 81-118.
- [23] 彭涛, 陈晓宏, 王高旭, 等. 基于集对分析与三角模糊数的滨海湿地生态系统健康评价 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(6): 917-922. DOI: [10.3969/j.issn.1674-5906.2014.06.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-5906.2014.06.002).
- Peng T, Chen X H, Wang G X, et al. Assessment of coastal wetland ecosystem health based on set pair analysis and triangular fuzzy numbers[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 23(6): 917-922.
- [24] 杨雪锋, 周懿. 生态城市评价研究进展 [J]. *标准科学*, 2018, 11: 32-38. DOI: [10.3969/j.issn.1674-5698.2018.07.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-5698.2018.07.007).
- Yang X F, Zhou Y. Review on the progress of eco-cities evaluation research[J]. *Standard Science*, 2018, 11: 32-38.
- [25] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. *Fisheries*, 1981, 6(6): 21-27. DOI: [10.1577/1548-8446\(1981\)006<0021:AOBIUF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1981)006<0021:AOBIUF>2.0.CO;2).
- [26] dos Santos F B, Esteves K E. A fish-based index of biotic integrity for the assessment of streams located in a sugarcane-dominated landscape in Southeastern Brazil [J]. *Environmental Management*, 2015, 56(2): 532-548. DOI: [10.1007/s00267-015-0516-y](https://doi.org/10.1007/s00267-015-0516-y).
- [27] Wu N T, Liu A J, Wang Y F, et al. An assessment framework for grassland ecosystem health with consideration of natural succession: A case study in Bayinxile, China[J]. *Sustainability*, 2019, 11(1096): 1-17.
- [28] Li Z, Xu D, Guo X. Remote sensing of ecosystem health: Opportunities, challenges, and future perspectives[J]. *Sensors*, 2014, 14(11): 21 117-21 139. DOI: [10.3390/s141121117](https://doi.org/10.3390/s141121117).
- [29] de Bello F, Lavorel S, Diaz S, et al. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2010, 19(10): 2 873-2 893. DOI: [10.1007/s10531-010-9850-9](https://doi.org/10.1007/s10531-010-9850-9).
- [30] 刘影, 杜小龙, 邹萌萌, 等. 各类生态系统功能与生态



- 服务价值定量评估的理论与方法研究进展 [J]. *天津农业科学*, 2017, 23(11): 106-112. DOI: [10.3969/j.issn.1006-6500.2017.11.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-6500.2017.11.026).
- Liu Y, Du X L, Zou M M, et al. Study on the theories and methods of ecosystem functions and ecological services evaluation[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2017, 23(11): 106-112.
- [31] Yu F, Lu C, Xiao Y, et al. Ecosystem service value assessment for national key eco-function zones for water and soil conservation[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2017, 8(4): 369-377. DOI: [10.5814/j.issn.1674-764x.2017.04.008](https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2017.04.008).
- [32] Mononen L, Auvinen A P, Ahokumpu A L, et al. National ecosystem service indicators: Measures of social-ecological sustainability[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 61: 27-37. DOI: [10.1016/j.ecolind.2015.03.041](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.041).
- [33] Demirkesen A C, Evrendilek F. Compositing climate change vulnerability of a Mediterranean region using spatiotemporally dynamic proxies for ecological and socioeconomic impacts and stabilities[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, 189(1): 29. DOI: [10.1007/s10661-016-5750-0](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5750-0).
- [34] 张学玲, 余文波, 蔡海生, 等. 区域生态环境脆弱性评价方法研究综述 [J]. *生态学报*, 2018, 38(16): 5 970-5 981.
- Zhang X L, Yu W B, Cai H S, et al. Review of the evaluation methods of regional eco-environmental vulnerability[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(16): 5 970-5 981.
- [35] Nguyen K A, Liou Y A. Global mapping of eco-environmental vulnerability from human and nature disturbances[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 664: 995-1 004. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.01.407](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.407).
- [36] 徐鹏炜, 赵多. 基于 RS 和 GIS 的杭州城市生态环境质量综合评价技术 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(6): 1 034-1 038. DOI: [10.3321/j.issn:1001-9332.2006.06.015](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-9332.2006.06.015).
- Xu P W, Zhao D. Ecological environmental quality assessment of Hangzhou urban area based on RS and GIS[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(6): 1 034-1 038.
- [37] 王伟, 王秀兰, 冯仲科, 等. 基于 RS 与 GIS 的环首都经济圈生态环境质量动态评价 [J]. *安徽农业大学学报*, 2015, 42(2): 257-262.
- Wang W, Wang X L, Feng Z K, et al. Dynamic evaluation of eco-environmental quality in the capital economic circle based on RS and GIS[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2015, 42(2): 257-262.
- [38] 廖柳文, 秦建新. 环长株潭城市群湿地生态安全研究 [J]. *地球信息科学*, 2016, 18(9): 1 217-1 226.
- Liao L W, Qin J X. Ecological security of wetland in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration[J]. *Journal of Geo-information Sciences*, 2016, 18(9): 1 217-1 226.
- [39] Ma J, Niu A, Chen Z. Evaluation of natural ecological environment in Guangzhou City based on remote sensing technology and comprehensive index method[J]. *Journal of Landscape Research*, 2016, 8(3): 79-82.
- [40] Cheng W, Xi H, Sindikubwabo C, et al. Ecosystem health assessment of desert nature reserve with entropy weight and fuzzy mathematics methods: A case study of Badain Jaran Desert[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 119: 106 843. DOI: [10.1016/j.ecolind.2020.106843](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106843).
- [41] 刘丽颖, 官冬杰, 杨清伟, 等. 基于人工神经网络的喀斯特地区水资源安全评价 [J]. *水土保持通报*, 2017, 37(2): 207-214.
- Liu L Y, Gaun D J, Yang Q Y, et al. Assessment of water resources security in Karst Area based on artificial neural network[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(2): 207-214.
- [42] 李洪义, 史舟, 沙晋明, 等. 基于人工神经网络的生态环境质量遥感评价 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1 475-1 480. DOI: [10.3321/j.issn:1001-9332.2006.08.023](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-9332.2006.08.023).
- Li H Y, Shi Z, Sha J M, et al. Evaluation of eco-environmental quality based on artificial neural network and remote sensing techniques[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1 475-1 480.
- [43] 胡坤侠, 张立亭. 基于灰色关联模型的区域生态安全综合评价——以赣州市为例 [J]. *广东土地科学*, 2019, 18(3): 15-21.
- Hu K X, Zhang L T. Comprehensive evaluation of regional ecological security based on grey correlation model: Take Cangzhou City as an example[J]. *Guangdong Land Science*, 2019, 18(3): 15-21.
- [44] 都耀庭. 聚类分析法在高寒草甸生态系统健康评价中的应用 [J]. *土壤通报*, 2014, 45(2): 307-313.
- Du Y T. Application of cluster analysis in the health assessment of alpine meadow ecosystem: A case study in Yushu County of Qinghai, China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(2): 307-313.
- [45] Miao C L, Sun L Y, Yang L. The studies of ecological environmental quality assessment in Anhui Province based on ecological footprint[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 879-883. DOI: [10.1016/j.ecolind.2015.08.040](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.040).
- [46] Chang Y, Hou K, Wu Y, et al. A conceptual framework for establishing the index system of ecological environment evaluation: A case study of the upper Hanji-

- ang River, China[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 107: 105-118. DOI: [10.1016/j.ecolind.2019.105568](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105568).
- [47] 吕天阳, 郭岱. 基于遥感和 PSR 模型的城市景观生态安全评价 [J]. *绿色科技*, 2019(6): 144-148.  
Lu T Y, Guo D. Urban landscape ecological security evaluation based on remote sensing and PSR model[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2019(6): 144-148.
- [48] 卿青平, 王瑛. 省域生态环境质量动态评价及差异研究 [J]. *中国环境科学*, 2019, 39(2): 750-756. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6923.2019.02.038](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6923.2019.02.038).  
Qing Q P, Wang Y. Dynamic evaluation and study on difference of eco-environmental quality in the provinces[J]. *China Environment Science*, 2019, 39(2): 750-756.
- [49] 王宗仁, 武子远, 段彩环, 等. 特尔斐—模糊综合比较法评价生态环境质量变化 [J]. *城市环境与城市生态*, 2001, 14(3): 47-49.  
Wang Z R, Wu Z Y, Duan C H, et al. Use Dilphy and fuzzy comprehensive comparison method to evaluate the ecological system's quality change[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2001, 14(3): 47-49.
- [50] 卓桂华, 陈锦, 张玉珍, 等. 县市级生态文明建设评价指标体系建立及应用研究——以福建省为例 [J]. *海峡科学*, 2019(1): 3-13. DOI: [10.3969/j.issn.1673-8683.2019.01.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-8683.2019.01.001).  
Zhuo G H, Chen J, Zhang Y Z, et al. Study on the establishment and application of evaluation index system of ecological civilization construction at county and city level[J]. *Straits Science*, 2019(1): 3-13.
- [51] 王毅, 谢蓉蓉, 王菲凤, 等. 基于 Delphi-PSR 模型的祁连山国家级自然保护区生态安全评价 [J]. *山地学报*, 2019, 37(3): 328-336.  
Wang Y, Xie R R, Wang F F, et al. Valuation on eco-security of Qilian Mountain National Nature Reserve based on Delphi-PSR model[J]. *Mountain Research*, 2019, 37(3): 328-336.
- [52] 黎慧, 赵阳, 祝凤. 基于 GIS 和 AHP 的安庆市 2006—2016 年城市生态环境动态评价研究 [J]. *安庆师范大学学报*, 2019, 25(2): 106-110.  
Li H, Zhao Y, Zhu F. Study on dynamic evaluation of urban ecological environment in Anqing City from 2006 to 2016 based on GIS and AHP[J]. *Journal of Anqing Normal University*, 2019, 25(2): 106-110.
- [53] He F, Gu L, Wang T, et al. The synthetic geo-ecological environmental evaluation of a coastal coal-mining city using spatiotemporal big data: A case study in Longkou, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 854-866. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.07.011](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.011).
- [54] 程鹏, 黄晓霞, 李红春, 等. 基于主客观分析法的城市生态安全格局空间评价 [J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(7): 924-933.  
Cheng P, Huang X X, Li H G, et al. The spatial evaluation of urban ecological security pattern based on subjective and objective analysis[J]. *Journal of Geo-information Sciences*, 2017, 19(7): 924-933.
- [55] Hu X, Xu H. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: A case from Fuzhou City, China[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 89: 11-21. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.02.006](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.006).
- [56] Zhao J, Ji G, Tian Y, et al. Environmental vulnerability assessment for mainland China based on entropy method[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 91: 410-422. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.04.016](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.016).
- [57] Wu X, Hu F. Analysis of ecological carrying capacity using a fuzzy comprehensive evaluation method[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 113: 106-113. DOI: [10.1016/j.ecolind.2020.106243](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106243).
- [58] 梁变变, 石培基, 王伟, 等. 基于 RS 和 GIS 的干旱区内陆河流域生态系统质量综合评价——以石羊河流域为例 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28(1): 199-209.  
Liang B B, Shi P J, Wang W, et al. Integrated assessment of ecosystem quality of arid inland river basin based on RS and GIS: A case study on Shiyang River Basin, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(1): 199-209.
- [59] 张沛, 徐海量, 杜清, 等. 基于 RS 和 GIS 的塔里木河干流生态环境状况评价 [J]. *干旱区研究*, 2017, 34(2): 416-422.  
Zhang P, Xu H L, Du Q, et al. Change of ecological conditions in the mainstream area of the Tarim River based on RS and GIS during the period of 1990-2010[J]. *Arid Zone Research*, 2017, 34(2): 416-422.
- [60] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用 [J]. *生态学报*, 2013, 33(24): 7853-7862.  
Xu H Q. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [61] 杨江燕, 吴田, 潘肖燕, 等. 基于遥感生态指数的雄安新区生态质量评估 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30(1): 277-284.  
Yang J Y, Wu T, Pan X Y, et al. Ecological quality assessment of Xiongan New Area based on remote sensing ecological index[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(1): 277-284.
- [62] Liao W, Jiang W. Evaluation of the spatiotemporal variations in the eco-environmental quality in China based on the remote sensing ecological index[J]. *Remote*

- Sensing, 2020, 12(15): 2 462. DOI: [10.3390/rs12152462](https://doi.org/10.3390/rs12152462).
- [63] Yue H, Liu Y, Li Y, et al. Eco-environmental quality assessment in China's 35 major cities based on remote sensing ecological index[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 51 295-51 311. DOI: [10.1109/ACCESS.2019.2911627](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2911627).
- [64] Ma H, Shi L Y. Assessment of eco-environmental quality of Western Taiwan Straits Economic Zone[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(5): 311. DOI: [10.1007/s10661-016-5312-5](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5312-5).
- [65] 赵恒谦, 贾梁, 尹正然, 等. 基于多源遥感数据的北京市通州区土地利用/覆盖与生态环境变化监测研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2019, 35(1): 38-43. DOI: [10.3969/j.issn.1672-0504.2019.01.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-0504.2019.01.006).  
Zhao H Q, Jia L, Yin Z R, et al. Dynamic monitoring of land use and ecological environment based on multiple remote sensing data: A case study of Tongzhou District, Beijing[J]. *Geography and Geo-information Science*, 2019, 35(1): 38-43.
- [66] Sun R, Wu Z, Chen B, et al. Effects of land-use change on eco-environmental quality in Hainan Island, China[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 109: 105 777. DOI: [10.1016/j.ecolind.2019.105777](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105777).
- [67] 吴宜进, 赵行双, 奚悦, 等. 基于 MODIS 的 2006-2016 年西藏生态质量综合评价及其时空变化 [J]. *地理学报*, 2019, 74(7): 1 438-1 449. DOI: [10.11821/dlxb201907012](https://doi.org/10.11821/dlxb201907012).  
Wu Y J, Zhao X S, Xi Y, et al. Comprehensive evaluation and spatial-temporal changes of eco-environmental quality based on MODIS in Tibet during 2006-2016[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(7): 1 438-1 449.
- [68] 柳钦火, 仲波, 吴俊君, 等. “一带一路”区域可持续发展生态环境遥感监测 [J]. *遥感学报*, 2008, 22(4): 686-708.  
Liu Q H, Zhong B, Wu J J, et al. Ecological environment monitoring for sustainable development goals in the Belt and Road region[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 22(4): 686-708.
- [69] 刘瑞, 王世新, 周艺, 等. 基于遥感技术的县级区域环境质量评价模型研究 [J]. *中国环境科学*, 2012, 32(1): 181-186. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6923.2012.01.029](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6923.2012.01.029).  
Liu R, Wang S X, Zhou Y, et al. Ecological environment condition evaluation mode of county region based on remote sensing techniques[J]. *China Environment Science*, 2012, 32(1): 181-186.
- [70] 刘洋, 吕建树, 吴泉源, 等. 基于面向对象理论的区域生态环境综合评价 [J]. *中国环境科学*, 2012, 32(8): 1 521-1 529. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6923.2012.08.027](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6923.2012.08.027).  
Liu Y, Lu J S, Wu Q Y, et al. Comprehensive assessment of regional ecological environment based on object-orientation theory[J]. *China Environment Science*, 2012, 32(8): 1 521-1 529.
- [71] 屈创, 张春亮, 王丽云, 等. 高分遥感在黄河流域水土流失动态监测中的应用 [J]. *水土保持通报*, 2018, 38(1): 116-121.  
Qu C, Zhang C L, Wang L Y, et al. Application of high resolution remote sensing technology in dynamic monitoring of soil and water loss in Yellow River Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(1): 116-121.
- [72] 徐剑波, 刘振华, 宋立生, 等. 基于遥感的广州市城市绿地生态服务功能评价 [J]. *生态学杂志*, 2012, 31(2): 440-445.  
Xu J B, Liu Z H, Song L S, et al. Evaluation on ecological services of urban green space in Guangzhou City of South China based on remote sensing[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(2): 440-445.
- [73] 苏慧敏, 郭浩, 夏照华, 等. 基于 MODIS 数据的北京市植被覆盖度动态监测 [J]. *中国水土保持*, 2019(2): 41-55. DOI: [10.3969/j.issn.1000-0941.2019.02.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0941.2019.02.018).  
Su H M, Guo H, Xia Z H, et al. Dynamic monitoring of vegetation coverage in Beijing based on MODIS data[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2019(2): 41-55.
- [74] Xu X, Tan Y, Yang G, et al. Impacts of China's Three Gorges Dam Project on net primary productivity in the reservoir area[J]. *Science of the Total Environment*, 2011, 409(22): 4 656-4 662. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2011.08.004](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.004).



## A review of the studies on regional ecological environment evaluation

ZUO Lu<sup>1,2\*\*</sup>, SUN Lei-gang<sup>1,2</sup>, XU Quan-hong<sup>1,2</sup>, LIU Jian-feng<sup>1,2</sup>, LI Xiao-jing<sup>1,2</sup>, LU Jun-jing<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050011, Hebei, China;

2. Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Shijiazhuang 050011, Hebei, China)

**Abstract:** A good ecological environment is the basic condition of human survival and development. A scientific evaluation on ecological environment is the premise to protect the environment and promote the sustainable development of mankind. This paper reviews the advances of ecological environment assessment, introducing the application trend of remote sensing in evaluating ecological environment quality, and comparing the current methods of constructing evaluation index system, including analytic hierarchy process (AHP), principal component analysis (PCA), etc. The advantages and disadvantages of different assessment methods and models were analyzed, such as index evaluation method, fuzzy discrimination method, etc. It is necessary to grasp the characteristics of the ecological environment, and understand the internal relations between the nature and various elements of the ecological environment comprehensively for an appropriate evaluation methods and models. Finally, the main problems and the future direction in the current ecological environment assessment research were summarized and analyzed.

**Key words:** ecological environment quality; index system; assessment methods; remote sensing