

# 乌梁素海流域生态系统服务权衡与协同关系及优化策略研究

## 一、引言

### 1.1 研究背景与意义

#### 1.1.1 研究背景

乌梁素海流域位于黄河“几字弯”顶部，是黄河流域生态保护和高质量发展的重要节点区域。乌梁素海作为黄河流域最大的功能性湿地，被誉为黄河生态安全的“自然之肾”，承担着黄河水量调节、水质净化、防凌防汛等重要功能，是中国北方多个生态功能交汇区和控制京津风沙源的天然屏障。每年，约3亿多立方米的河套灌区农田排水经乌梁素海生物净化后排入黄河，其入黄水质直接影响着黄河中下游的水生态安全。同时，湖区拥有丰富的生物多样性，有各种鸟类265种，鱼类20多种，是黄河生物多样性的重要物种来源，对维护区域生态平衡意义重大。

然而，自20世纪90年代以来，乌梁素海流域面临着严峻的生态挑战。自然补给水量的持续减少，使得湖泊水位下降，水域面积缩减。与此同时，流域内工农业的快速发展，导致大量工业废水、生活污水和农田退水排入湖中，使得湖内生态功能严重退化，水质曾一度恶化为劣五类。2008年5月，乌梁素海爆发了大面积的黄藻，覆盖面积达8万多亩，持续时间超5个月，这一事件为流域生态系统的恶化敲响了警钟。此外，流域周边山脉草原的荒漠化侵蚀加剧，矿山的无序开采也导致水土流失、土壤沙化等问题日益严重，进一步威胁着乌梁素海流域生态系统的稳定。

随着人们对生态环境保护的重视程度不断提高，乌梁素海流域的生态治理成为了黄河流域生态保护和高质量发展战略中的关键任务。近年来，当地政府深入践行“绿水青山就是金山银山”

发展理念，采取多项措施推进综合治理，如实施乌梁素海流域山水林田湖草沙生态修复试点工程，统筹推进全流域全要素一体化保护和系统治理。尽管在生态治理方面取得了一定成效，如水质总体好转，稳定在 V 类，局部区域优于 V 类，水面面积稳定在 293 平方公里，生物多样性持续恢复，但乌梁素海流域生态系统仍然较为脆弱，面临着诸多挑战，如生态系统服务之间的权衡关系复杂，生态保护与经济发展之间的矛盾依然突出。

在这样的背景下，开展乌梁素海流域生态系统服务权衡与管理对策研究具有重要的现实紧迫性。通过深入研究该流域生态系统服务之间的相互关系，揭示其内在的权衡机制，能够为制定科学合理的生态管理策略提供理论依据，从而实现乌梁素海流域生态系统的可持续发展，保障黄河流域的生态安全。

### 1.1.2 研究意义

本研究对乌梁素海流域及类似区域的生态保护和可持续发展具有重要的理论与实践意义，主要体现在以下几个方面：

- **生态意义**：深入了解乌梁素海流域生态系统服务之间的权衡关系，有助于识别关键的生态系统服务及其相互作用机制。这可以为生态保护和修复工作提供科学指导，明确保护重点和优先区域，提高生态保护的针对性和有效性。通过科学合理的生态管理措施，能够促进生态系统的自我修复和恢复，增强生态系统的稳定性和抗干扰能力，维护生物多样性，保障黄河流域的生态安全。
- **经济意义**：乌梁素海流域是河套灌区的重要组成部分，农业生产在当地经济中占据重要地位。研究生态系统服务与经济发展的关系，能够为实现生态保护与农业生产的协调发展提供依据。例如，通过合理利用生态系统的调节服务，如水源涵养、土壤保持等，可以改善农业生产条件，减少农业面源污染，提高农业生产的可持续性。同时，发展生态旅游等绿色产业，充分挖掘生态系统的文化服务价值，能够为当地创造新的经济增长点，促进经济结构的优化升级，实现生态与经济的良性互动。
- **社会意义**：良好的生态环境是人类福祉的基础。乌梁素海流域生态系统的改善，能够为当地居民提供更加优美的生活环境，提高居民的生活质量。通过生态保护和修复工作，可以增加就业机会，促进社区发展，增强居民的生态保护意识和参与度，促进社会的和谐稳定。此外，本研究的成果对于其他类似流域的生态治理和可持续发展具有借鉴意义，能够为全国范围内的生态保护和生态文明建设提供有益的参考。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 生态系统服务研究进展

生态系统服务的研究起源于 20 世纪 60 年代，随着人类对生态环境问题的关注度不断提高，其研究逐渐成为生态学和生态经济学的热点领域。1969 年，Helliwell 首次提出生态系统服务的概念，随后，相关研究不断深入和拓展。在理论方面，Daily 在 1997 年出版的《*Nature's Service Societal Dependence on Natural Ecosystem*》被视为西方生态服务研究领域的标志性著作，她认为生态系统服务是指自然生态系统及其组成物种所形成、维持和实现人类生存的所有环境条件和过程。Costanza 则将生态系统的产品和服务统称为生态系统服务，即由自然生态系统的生境、物种、生物学状态、性质和生态过程所产生的物质和维持的良好生活环境对人类提供的直接福利。MAMillennium Ecosystem Assessment 将生态系统服务概括为人类从生态系统获得的各种惠益，这一概念得到了广泛的认可和应用。

在分类体系上，早期 Daily 将生态系统服务归为 13 类，Costanza 分为 17 类，这些分类为后续研究奠定了基础。目前应用最为广泛的是千年生态系统评估提出的分类，将生态系统服务分为供给、调节、文化和支持服务 4 类。供给服务包括食物、淡水、木材等物质产品的提供；调节服务涵盖气候调节、水文调节、水质净化等功能；文化服务涉及精神、审美、教育等方面的体验；支持服务则是维持其他生态系统服务的基础，如土壤形成、生物多样性维持等。

在价值评估方法上，国内外学者进行了大量探索。常用的方法包括市场价值法、替代市场法和假想市场法。市场价值法通过直接市场交易数据来评估生态系统服务的价值，如农产品的市场价格可用于衡量生态系统的食物供给服务价值。替代市场法适用于没有直接市场交易的生态系统服务，通过寻找替代物的市场价格来估算，如用影子工程法评估水源涵养服务价值，以建造替代水源工程的成本来衡量。假想市场法主要包括条件价值法 (CVM)，通过问卷调查等方式询问人们对生态系统服务的支付意愿或接受补偿意愿，从而评估其价值。

近年来，生态系统服务的研究呈现出多尺度、多学科融合的趋势。在空间尺度上，从局部区域研究向全球尺度拓展，如对全球森林生态系统服务价值的评估；在时间尺度上，更加关注生态系统服务的动态变化，分析其不同历史时期和未来情景下的演变趋势。

。在学科融合方面，生态学、经济学、地理学、社会学等多学科交叉，共同推动生态系统服务研究的深入发展。例如，利用地理信息系统 (GIS) 和遥感 (RS) 技术，结合生态模型，实现对生态系统服务的空间格局分析和模拟预测；从社会学角度，研究人类对生态系统服务的认知、态度和行为，以及生态系统服务与人类福祉的关系。

然而，目前生态系统服务研究仍存在问题。首先，评估结果的准确性有待提高，不同评估方法之间的差异较大，导致评估结果的可比性较差。其次，生态系统服务之间的权衡与协同关系复杂，尚未形成统一的理论和方法体系来深入研究和量化这些关系。此外，生态系统服务的空间异质性和动态变化特征增加了研究的难度，如何准确地刻画和模拟这些特征，仍然是一个挑战。在政策应用方面，虽然生态系统服务的理念逐渐被纳入政策制定，但如何将科研成果有效地转化为实际政策行动，实现生态保护与经济协调发展的协调，还需要进一步探索。

### 1.2.2 乌梁素海流域研究现状

针对乌梁素海流域的研究，主要聚焦于生态环境问题、生态修复与治理等方面，并取得了一定成果。在生态环境问题研究上，众多学者揭示了乌梁素海面临的严峻挑战。自 20 世纪 90 年代起，由于自然补给水量减少，加之工农业排水等因素，湖内生态功能严重退化，水质曾一度恶化为劣五类，湖区面积大幅缩减。2008 年 5 月，乌梁素海爆发大面积黄藻，覆盖面积达 8 万多亩，持续时间超 5 个月，这一事件凸显了其生态系统的脆弱性。研究表明，流域内工业废水、生活污水和农田退水的大量注入，导致水体富营养化，氮、磷等营养物质超标，是引发藻类爆发和水质恶化的主要原因之一。同时，周边山脉草原的荒漠化侵蚀加剧，矿山的无序开采导致水土流失、土壤沙化等问题，进一步威胁着流域生态系统的稳定。

在生态修复与治理研究方面，近年来当地政府和科研人员积极探索有效的治理措施。2018 年起，乌梁素海流域山水林田湖草沙生态修复试点工程全面启动，围绕“修山 - 保水 - 扩林 - 护草 - 调田 - 治湖 - 固沙”的系统路径开展生态修复。通过荒漠化治理稳固沙丘，利用水沉法修路、平整沙丘、压沙，种植梭梭树、肉苁蓉等，并铺设智能灌溉系统，提升沙漠治理效果；采用林草结合的修复模式，结合当地地质土壤条件，种植山桃、山杏、酸枣、苹果等，飞播花棒、杨柴、籽蒿形成生态型防护网，增加区域森林植被面积。同时，应用精准化水肥一体化自动灌溉系统和无人机飞播技术，为山林生态建设提供保障。在湖泊治理方面，对原海堤进行加高培厚、碾压、护坡三步施工综合整治，治理长度达 68.76 公里，有效保障了乌梁素海的水生态安全。

然而，现有研究仍存在一些不足和空白。在生态系统服务方面，虽然对乌梁素海的水质净化、生物多样性维持等服务功能有一定认识，但缺乏系统的生态系统服务分类和评估，尚未全面量化各项生态系统服务的价值及其时空变化规律。对于生态系统服务之间的权衡与协同关系研究较少，在制定生态保护和经济发展政策时，难以充分考虑不同服务之间的相互影响，导致政策的科学性和有效性受到一定限制。此外，在生态治理技术和模式的可持续性评估方面，研究还不够深入，对于治理措施长期效果的跟踪监测和评估体系尚不完善，难以准确判断生态修复工程对乌梁素海流域生态系统的长期影响。在社会经济层面，关于生态系统服务与当地居民生活质量、经济发展之间的关系研究不够全面，如何实现生态保护与民生改善的双赢，还需要进一步深入探讨。本研究将针对这些不足，深入开展乌梁素海流域生态系统服务权衡与管理对策研究，以期为流域的可持续发展提供科学依据。

## 1.3 研究内容与方法

### 1.3.1 研究内容

- **乌梁素海流域生态系统服务类型识别与评估**：基于千年生态系统评估分类体系，结合乌梁素海流域的自然地理特征和生态功能，全面识别该流域的生态系统服务类型，包括供给服务（如农产品、水产品供给等）、调节服务（如水质净化、气候调节、洪水调节等）、文化服务（如生态旅游、休闲娱乐、文化遗产保护等）和支持服务（如生物多样性维持、土壤形成与保持等）。运用市场价值法、替代市场法和条件价值法等多种方法，对各类生态系统服务进行价值评估，量化其对人类福祉的贡献，并分析不同服务类型在空间和时间上的分布特征和变化趋势。
- **乌梁素海流域生态系统服务权衡与协同关系分析**：通过构建生态系统服务权衡分析模型，结合地理信息系统（GIS）和遥感（RS）技术，分析不同生态系统服务之间的相互作用关系。重点研究在土地利用变化、水资源开发利用、气候变化等因素影响下，生态系统服务之间的权衡与协同关系，识别出存在显著权衡关系的服务对，如农业生产与水质净化、生态旅游开发与生物多样性保护等，并探讨其内在的作用机制。运用情景分析方法，设置不同的发展情景，预测未来生态系统服务的变化趋势及其权衡关系的演变，为制定科学合理的生态管理策略提供依据。
- **乌梁素海流域生态系统服务影响因素分析**

：从自然因素和人为因素两个方面，深入分析影响乌梁素海流域生态系统服务的主要因素。自然因素包括气候条件（降水、气温、蒸发等）、地形地貌（山脉、河流、湖泊等）、土壤类型等；人为因素涵盖土地利用变化（农田扩张、城市化进程、森林砍伐等）、水资源管理（灌溉用水、工业用水、生活用水等）、污染排放（工业废水、生活污水、农业面源污染等）、生态保护与修复措施（植树造林、湿地保护、沙漠治理等）以及政策法规的制定与实施等。采用相关性分析、主成分分析等统计方法，定量分析各因素对生态系统服务的影响程度和方向，明确关键影响因素，为针对性地制定生态保护和管理措施提供科学依据。

- **基于生态系统服务权衡的乌梁素海流域管理对策研究**：根据生态系统服务权衡关系和影响因素分析结果，结合乌梁素海流域的发展需求和生态保护目标，提出基于生态系统服务权衡的流域管理对策。在政策层面，完善生态补偿机制，建立生态系统服务价值核算体系，将生态系统服务价值纳入国民经济核算体系，为生态保护和修复提供经济激励；加强跨部门、跨区域的协调合作，打破行政壁垒，实现流域生态保护和经济发展的统筹规划和协同管理。在技术层面，推广生态友好型农业技术，减少农业面源污染，提高农业生产的生态效益；发展节水技术，优化水资源配置，提高水资源利用效率，保障生态用水需求；加强生态监测与评估技术的应用，建立长期稳定的生态系统服务监测网络，实时掌握生态系统服务的动态变化，为科学决策提供数据支持。在社会层面，加强生态环境保护宣传教育，提高公众的生态意识和参与度，鼓励公众积极参与生态保护和修复行动，形成全社会共同参与的良好氛围。

### 1.3.2 研究方法

- **文献研究法**：广泛收集国内外关于生态系统服务、乌梁素海流域生态环境等方面的文献资料，包括学术论文、研究报告、政策文件等。对这些文献进行系统梳理和分析，了解生态系统服务的理论基础、研究方法和发展趋势，掌握乌梁素海流域生态环境现状、存在问题及已有的研究成果，为本文的研究提供理论支撑和研究思路。
- **实地调查法**：深入乌梁素海流域进行实地调研，选取具有代表性的区域设置样地，开展生态系统服务相关指标的实地观测和数据采集工作。通过问卷调查、访谈等方式，了解当地居民对生态系统服务的认知、态度和利用情况，以及他们对生态保护和经济发展的期望和需求。实地调查获取的数据将为生态系统服务评估和影响因素分析提供第一手资料，增强研究结果的真实性和可靠性。

- 模型分析法：运用 InVEST、ARIES

等生态系统服务评估模型，对乌梁素海流域的各类生态系统服务进行量化评估，模拟不同情景下生态系统服务的变化趋势。利用相关性分析、主成分分析等统计模型，分析生态系统服务之间的权衡与协同关系，以及影响生态系统服务的主要因素。通过构建系统动力学模型，综合考虑自然因素和人为因素的相互作用，预测未来乌梁素海流域生态系统服务的演变趋势，为制定科学合理的管理对策提供决策支持。

- **地理信息系统 (GIS) 和遥感 (RS) 技术**：利用 RS 技术获取乌梁素海流域的土地利用、植被覆盖、水体分布等遥感影像数据，通过图像处理和分类解译，提取生态系统服务相关的空间信息。借助 GIS 技术强大的空间分析功能，对生态系统服务数据进行空间可视化表达和分析，如制作生态系统服务空间分布图、分析生态系统服务的空间格局变化等。同时，将生态系统服务数据与地形、气候等环境数据进行叠加分析，深入探讨生态系统服务与自然环境因素之间的关系，为研究生态系统服务的形成机制和空间异质性提供有力工具。

## 1.4 研究技术路线

本研究的技术路线如图 1 所示，首先通过文献研究法收集整理国内外相关资料，了解生态系统服务研究进展以及乌梁素海流域的研究现状，明确研究的重点和方向。在此基础上，运用实地调查法，深入乌梁素海流域，获取土地利用、植被覆盖、水质、生物多样性等生态系统服务相关的第一手数据，同时通过问卷调查和访谈了解当地居民对生态系统服务的认知和利用情况。

利用 RS 技术获取乌梁素海流域的多源遥感影像数据，经过预处理和分类解译，提取土地利用类型、植被覆盖度、水体面积等信息。借助 GIS 技术强大的空间分析功能，对生态系统服务数据进行空间分析和可视化表达，制作各类生态系统服务的空间分布图。

运用 InVEST、ARIES 等生态系统服务评估模型，结合实地调查和遥感解译数据，对乌梁素海流域的供给、调节、文化和支持服务进行价值评估。通过相关性分析、主成分分析等统计方法，分析生态系统服务之间的权衡与协同关系，以及自然因素和人为因素对生态系统服务的影响。运用情景分析方法，设置不同的发展情景，利用系统动力学模型预测未来生态系统服务的变化趋势。

最后，根据生态系统服务权衡关系和影响因素分析结果，结合乌梁素海流域的发展需求和生态保护目标，从政策、技术和社会等层面提出基于生态系统服务权衡的流域管理对策，为乌梁素海流域的可持续发展提供科学依据。

图 1 研究技术路线图

## 二、乌梁素海流域生态系统概况

### 2.1 地理位置与自然环境

乌梁素海流域位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特前旗境内，地处黄河“几字弯”顶部，地理坐标约为东经 108°43'—108°57'，北纬 40°47'—40°03'之间。该流域北依白云查汗山，东北靠明安川，东南邻乌拉山，南端与黄河相连，西边是河套平原，是一个山水林田湖草沙共融共生的生命共同体。乌梁素海作为流域的核心水体，是黄河改道形成的河迹湖，也是黄河流域最大的淡水湖，水域面积达 293 平方公里，保护区面积为 372 平方公里，平均库容为 4 亿立方米，其湖面呈“半月形”，南北长 40 公里，东西宽 5—10 公里。

在地形地貌方面，乌梁素海流域呈现出多样化的特征。流域西部是广袤无垠的乌兰布和沙漠，面积约 1500 万亩，沙漠地势平坦，沙丘连绵起伏，以流动沙丘和半固定沙丘为主，沙漠的存在不仅影响着区域的生态环境，还对乌梁素海的水源构成潜在威胁，如风沙侵蚀可能导致水体泥沙含量增加，影响水质。东部是内蒙古西部最大的乌拉山国家森林公园，山脉呈东西走向，地势起伏较大，最高峰大桦背海拔 2322 米，山区植被丰富，以针叶林和阔叶林为主，是重要的水源涵养区和生态屏障。北部是辽阔的乌拉特草原，地势较为平坦，草原面积广阔，是天然的牧场，为畜牧业发展提供了良好的条件。中部则是沃野千里的河套平原，地势平坦开阔，土壤肥沃，是我国重要的商品粮基地之一，河套平原的灌溉农业发达，其灌溉用水主要来自黄河，通过发达的灌渠系统将黄河水引入农田，灌溉余水则排入乌梁素海。

乌梁素海流域属于中温带亚干旱西部季风区，大陆性季风气候显著，冬长夏短、四季分明。年平均气温约为 7℃，1 月平均气温在 -10℃左右，7 月平均气温约为 23℃。年降水量较少，一般在 150 - 200 毫米之间，且降水主要集中在夏季，约占全年降水量的 60% - 70%，降水的年际变化较大，容易出现干旱或洪涝灾害。年蒸发量却高达 2000 - 2500 毫米，远大于降水量，这使得流域内水资源相对匮乏，生态环境较为脆弱。冬季受蒙古冷高压影响，盛行西北风，风力较大，常伴有寒潮、大风等灾害性天气；夏季受东南季风影响，带来一定的降水，但由于季风的不稳定性，降水分布不均。

乌梁素海流域的水文特征主要受黄河和灌溉退水的影响。黄河是流域的主要水源，每年为流域提供大量的水资源，黄河水通过河套灌区的灌渠引入农田，灌溉后的余水通过总排干渠排入乌梁素海，每年约有 3 亿多立方米的河套灌区农田排水经乌梁素海生物净化后排入黄河。乌梁

素海的湖水深度较浅，平均水深约 1.5 米，最深处可达 2.5 米，湖底基本平坦，高差较小

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/048052030077007040>