

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.02.008

苑升旺, 赵博洋. 内蒙古自治区乡土植被生态系统服务评估及优化策略 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(2): 83-92.

# 内蒙古自治区乡土植被生态系统 服务评估及优化策略

苑升旺, 赵博洋

内蒙古师范大学 设计学院, 呼和浩特 010010

**摘要:** 内蒙古自治区具有独特的草原生态系统, 对维持生物多样性、促进土壤养分循环以及提供畜牧业支持等发挥着重要作用。然而, 近年来随着气候变化和人类活动的影响, 这些生态系统服务面临诸多挑战。选取内蒙古地区的呼伦贝尔草原、希拉穆仁草原、锡林郭勒草原、克什克腾草原及科尔沁草原 5 大代表性草原区作为研究对象, 通过实地调查与数据分析, 评估各草原区的草原供给服务(年产草量)、土壤质量(有机质、全氮、全磷含量)以及生物多样性。对多种建群种植被下的土壤有机质、全氮和全磷含量进行系统分析, 以探讨不同植被类型对土壤质量的影响。研究发现: 呼伦贝尔草原在年产草量和土壤养分含量方面表现最优, 而锡林郭勒草原尽管载畜量最高, 其土壤养分和生物多样性却相对较低。羊草群落下的土壤有机质含量丰富, 百里香和羊草的全氮含量高, 羊草的全磷含量也最高, 显示出建群种对土壤养分的重要影响力。在生物多样性调查中, 呼伦贝尔草原的 Shannon-Wiener 指数和丰富度指数均最高。建议对生物多样性高、土壤质量好的区域实施生态保护措施; 对土壤养分较低、生物多样性差的区域采取恢复措施, 如禁牧、轮牧和人工播种等, 同时加强土壤养分管理和合理放牧, 以提升生态系统服务功能, 保障生态安全和可持续发展。通过长期生态监测和社区参与, 可持续有效地管理内蒙古草原资源。

**关键词:** 乡土植被; 生态系统服务; 评估; 内蒙古

**中图分类号:** Q948.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2025)02-0083-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Assessment and Optimization Strategies of Vegetation Ecosystem Services in Inner Mongolia Region

YUAN Shengwang, ZHAO Boyang

School of Design, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010010, China

**Abstract:** The Inner Mongolia region possesses unique grassland ecosystems that play crucial roles in main-

收稿日期: 2024-08-26

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(2021BS05009); 内蒙古师范大学基本科研业务费项目(2023JBQN051)。

作者简介: 苑升旺, 博士研究生, 讲师, 主要从事民族地区环境设计与理论研究。

通信作者: 赵博洋, 讲师。

taining biodiversity, promoting soil nutrient cycling, and supporting livestock production. However, these ecosystem services have faced numerous challenges in recent years due to climate change and human activities. This study selected the representative grassland areas of Hulunbuir grassland, Xilamuren grassland, Xilingol grassland, Heshigten grassland, and Horqin grassland in Inner Mongolia for investigation. Through field surveys and data analysis, the grass supply services (including annual grass production and carrying capacity), soil quality (organic matter, total nitrogen, total phosphorus content), and biodiversity of each grassland area were assessed. Additionally, a systematic analysis of soil organic matter, total nitrogen, and total phosphorus content under various vegetation types was conducted to explore the impacts of different vegetation types on soil quality. The study found that the Hulunbuir grassland exhibited optimal performance in terms of annual grass production and soil nutrient content, while the Xilingol grassland, despite having the highest carrying capacity, showed relatively lower soil nutrients and biodiversity. The soil organic matter content was high under the sheepgrass community, with high total nitrogen content in thyme and sheepgrass, and the highest total phosphorus content in sheepgrass, indicating the significant influence of vegetation types on soil nutrients. In terms of biodiversity assessment, the Shannon-Wiener index and richness index of Hulunbuir grassland were the highest. Significant regional differences exist in the provision of ecosystem services by rural vegetation in Inner Mongolia, and optimization strategies should be tailored to specific conditions in each region. It is recommended to implement ecological conservation measures in areas with high biodiversity and good soil quality, while restoration measures such as grazing prohibition, rotational grazing, and artificial seeding should be adopted in regions with low soil nutrients and poor biodiversity. Furthermore, improving soil nutrient management and implementing sustainable grazing practices can enhance ecosystem service functions, ensuring ecological security and sustainable development. Long-term ecological monitoring and community engagement are essential for the sustainable management of Inner Mongolia grassland resources.

**Key words:** rural vegetation; ecosystem services; assessment; Inner Mongolia

内蒙古自治区作为中国北部的重要生态屏障,其独特的地理位置和自然环境条件孕育了丰富多样的生态系统,对维护国家生态安全、促进区域经济社会可持续发展具有不可替代的作用<sup>[1-2]</sup>。内蒙古地区拥有广袤的草原、森林、荒漠、湿地以及农田等多种生态系统类型,其中乡土植被作为这些生态系统的基石,不仅承载着生态系统的基本结构与功能,还为人类社会提供了丰富的生态系统服务<sup>[3]</sup>。因此,科学评估内蒙古地区乡土植被的生态系统服务价值,并探索有效的优化策略,对推动区域生态文明建设和可持续发展具有重要意义。

随着全球气候变化和人类活动的加剧,内蒙古地区的生态系统面临着极大的压力,乡土植被生态系统面临着前所未有的挑战<sup>[4-5]</sup>。长期以来,大规模的土地利用变化,如草地开垦、森林砍伐以及不合理的放牧和农业耕作方式,导致了严重的土地退化和生态系统服务功能下降<sup>[6-7]</sup>。过度放牧、非法采伐、开垦等活动破坏了原有的植被生态环境,加速了土壤侵蚀和荒漠化进程<sup>[8-10]</sup>。在这些因素共同作用下,乡土植被的生态服务功能受到抑制,生物多样性锐减,生态系统稳定性降低,进而影响到区域内的社会经济发展和居民生活质量。

生态系统服务评估作为一种有效的生态管理工具,能够量化和评价生态系统为人类社会所提供的各种利益,对于制定科学的生态保护和恢复策略具有重要意义。生态系统服务是指自然生态系统及其物种所提供的能够满足和维持人类生存所需的条件和过程,可划分为 4 大类别:供给服务,如食物和水资源的提供;

调节服务,涉及气候调节与空气净化等功能;支持服务,包括土壤保持与养分循环等关键过程;文化服务,如休闲旅游与精神文化需求的满足<sup>[11-12]</sup>。内蒙古地区的乡土植被作为生态系统的核心组成部分,为当地乃至全国提供了多种生态系统服务。乡土植被是生态系统服务的重要提供者,在维持地球生命支持系统中扮演着关键角色。在内蒙古,乡土植被不仅支撑着当地的畜牧业经济,还是重要的碳汇资源,有助于缓解全球温室效应<sup>[13]</sup>。此外,乡土植被还能改善水质,减少土壤侵蚀,控制病虫害,为人们提供休闲娱乐空间,对促进人与自然和谐共生具有深远意义。

近年来,生态系统服务评估与优化策略的研究在国际学术界获得了广泛关注。国外研究起步较早,已经建立了一套较为成熟的理论和方法体系。前人在生态系统服务评估中引入跨价值域的权衡分析,提出一种基于多元主义价值观的生态系统服务评价新方法<sup>[14]</sup>。Schröter等<sup>[15]</sup>则通过分析葡萄牙、英国、西班牙、挪威、荷兰、芬兰和德国的生态系统评估案例,比较了这些国家在生态系统评估中的目标设定、政治背景、应用方法和操作过程,为了解不同国家在生态系统服务评估方面的差异和特点提供了重要视角。Choi等<sup>[16]</sup>的研究集中在朝鲜文德拉姆萨尔湿地,对该湿地生态系统服务进行了快速评估,并探讨了如何通过保护和规划来提升当地居民的福祉。Mchale等<sup>[17]</sup>针对南非生态系统服务的研究,提出将民主化过程融入生态系统服务评估的新视角,强调在评估过程中应包含广泛的利益相关者价值观,并实现社会和生态过程的实际量化。

在国内,随着生态文明建设的深入推进,生态系统服务评估与优化策略的研究也日益受到重视。谢高地等<sup>[18]</sup>基于中国国情,制定了生态系统服务价值当量因子表,为生态系统服务评估提供了重要的参考标准,该当量因子表通过量化不同生态系统类型提供的各项服务价值,为评估生态系统服务的综合效益提供了便捷途径。在内蒙古地区的具体研究中,黄孟冬等<sup>[19]</sup>系统地分析了1980—2018年间该地区防风固沙服务的时空演变规律及其背后的驱动机制,研究表明经过长达38年的不懈努力,内蒙古地区整体防风固沙能力实现了显著提升,有效缓解了区域风蚀问题的加剧趋势。甘爽等<sup>[20]</sup>对呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设效益进行了评价,指出呼伦贝尔草原草甸生态功能区的生态建设产生了可观的经济效益和社会效益。据统计,该功能区的重点生态建设活动带来了总计4 877.74万元的直接经济效益,并取得了很大的社会效益,体现了生态投资对促进区域经济社会可持续发展的潜力。

面对内蒙古乡土植被生态系统服务功能的退化,科学合理的评估与优化策略显得尤为重要。评估工作能够准确掌握生态系统服务的现状和潜在风险,而优化策略则旨在通过调整管理措施,恢复和增强生态系统的健康状况和生产力。这不仅有利于生态保护,也是实现可持续发展目标的关键步骤。

然而,当前的研究仍存在一些不足之处。一方面,对内蒙古地区乡土植被生态系统服务的全面评估尚显不足,特别是对文化服务价值的评估较为薄弱;另一方面,针对如何优化乡土植被生态系统以提升服务供给能力的策略研究相对较少,缺乏系统性和可操作性。鉴于此,本研究全面评估内蒙古地区乡土植被提供的生态系统服务,并在此基础上提出相应的优化策略,实现内蒙古地区生态系统服务的有效利用和管理,期为区域生态保护和可持续发展提供科学指导。

## 1 研究区概况与分析方法

### 1.1 研究区概况

内蒙古自治区位于中国北部边疆,横跨东北、华北、西北三大地理区域。自治区总面积约118万km<sup>2</sup>,东西跨度约2 400 km,南北宽度约1 700 km,地形地貌多样,包括草原、森林、沙漠、戈壁、山地和平原等多种类型,形成了复杂而独特的生态系统。在生态系统类型方面,内蒙古自治区草原生态系统面积最大,占全区国土总面积的41.12%,占全国草原总面积的22%。内蒙古自治区乡土植被在维护区域生态平衡、

提供生态系统服务等方面发挥着不可替代的作用。这些植被不仅具有防风固沙、水资源保护、气候优化与调适等重要的生态功能，还是当地文化和经济的重要组成部分。然而，长期的过度放牧、不合理开垦等人类活动对内蒙古自治区生态环境造成了严重影响，导致土地退化、植被破坏等问题日益突出。

本研究以呼伦贝尔草原、希拉穆仁草原、锡林郭勒草原、克什克腾草原、科尔沁草原为研究区域(表 1)。呼伦贝尔草原是世界著名的天然牧场，有“牧草王国”的美誉，属于草甸草原和干旱草原的过渡带，具有高度的生物多样性；植被主要是羊草、针茅和冷蒿等。希拉穆仁草原位于低丘陵地带，是典型的高原草场，夏季温暖湿润；以草本植物为主，代表性的有羊草、针茅、黄芪等，乡土植物还有冷蒿、披碱草、野豌豆等。锡林郭勒草原包含草甸草原、典型草原及沙地草原等多种类型；常见的植物有羊草、大针茅等。克什克腾草原主要有羊草、克氏针茅等。科尔沁草原主要乡土植物包括冷蒿、羊草、针茅等。

表 1 乡土植被生态系统服务评估研究区域及主要特征

| 草原名称        | 草原类型           | 乡土植被                           | 特点                               | 主要生态系统服务功能             | 面临挑战                   |
|-------------|----------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| 呼 伦 贝 尔 草 原 | 草甸草原           | 羊草、针茅、碱茅、                      | 生物多样性丰富，含森林、                     | 重要的畜牧业基地，水资源保护，气候优化与调适 | 过度放牧导致草地退化，气候变化引起干旱和洪涝 |
|             |                | 黄芪、锦鸡儿、冷蒿                      | 湿地、河流、湖泊等生态系统，传统游牧文化保存完好         |                        |                        |
| 希 拉 穆 仁 草 原 | 典型高原草场         | 羊草、针茅、黄芪、锦鸡儿、冷蒿、野生花卉(如金莲花、山丹花) | 临近包头，交通便利，旅游热点，蕴含丰富的历史文化遗产，如普会寺  | 畜牧业与旅游业并重，促进地方经济发展     | 游客过多导致环境压力及草地退化风险      |
| 锡 林 郭 勒 草 原 | 草甸草原、典型草原、沙地草原 | 羊草、大针茅、黄芪、锦鸡儿、冷蒿、藜科和莎草科植物      | 草原生态系统保持相对完整，生物多样性丰富，是多种野生动物的栖息地 | 重要的生态安全屏障，防风固沙，保护水源    | 草地退化和沙漠化，牧业压力          |
| 克 什 克 腾 草 原 | 草甸草原、高山草甸、湿地草甸 | 羊草、克氏针茅、黄芪、锦鸡儿、梭梭、沙拐枣          | 地貌多样，包括草原、沙地、火山岩等，拥有独特的地质景观和历史遗迹 | 维护生物多样性，保护湿地生态系统       | 具有沙漠化趋势，生态系统脆弱         |
| 科 尔 沁 草 原   | 典型草原           | 冷蒿、羊草、狼尾草、黄芪、锦鸡儿、梭梭、沙拐枣        | 历史悠久的牧场，曾是水草丰美之地，面临沙漠化和生态环境退化的挑战 | 畜牧业的重要基地，维护生态平衡        | 沙漠化严重，水资源短缺            |

1.2 调查及指标测定

1.2.1 供给服务调查

为了准确评估牧草产量，本研究采用了牧区调查问卷结合实地测量的方法，于 2023 年 7—9 月随机选取具有代表性的牧区作为调查点，确保样本的广泛性和代表性。在每个牧区发放并回收 30 份有效问卷，问卷内容涵盖牧草种类、牧草面积、实际产量等关键信息。

1.2.2 土壤质量分析

本研究选取有机质、全氮、全磷作为关键养分指标进行测定。于 2023 年 7—9 月在每个样地内随机选取 30 个样点，使用土钻采集 0~20 cm 土层的土壤样品带回实验室后，经过风干、研磨、过筛等预处理步骤后进行分析。有机质测定采用重铬酸钾氧化—外加热法，将样品与硫酸和重铬酸钾溶液反应，在加热条件下土壤中的有机碳被氧化成二氧化碳，通过滴定剩余的重铬酸钾来计算消耗量，进而推算出有机碳的含



量。采用凯氏定氮法测定全氮含量, 土壤样本先与浓硫酸和催化剂一起消化, 将有机氮转化为铵离子, 然后通过蒸馏将铵离子转化为氨气, 最后用硼酸溶液吸收并以硫酸滴定, 计算出全氮浓度。全磷含量测定采用钼锑抗比色法, 土壤样本在酸性条件下消化, 释放出磷与钼酸盐和抗坏血酸反应生成蓝色的磷钼酸络合物, 通过紫外—可见光分光光度计测定吸光度, 计算出全磷浓度<sup>[21]</sup>。

1.2.3 生物多样性调查

生物多样性是生态系统服务功能的重要组成部分。采用 5 m×5 m 样方法进行生物多样性调查, 统计样方内所有植物种群的种类、数量、高度、盖度等信息。通过计算 Shannon-Wiener 物种多样性指数和均匀度指数等, 评估乡土植被的生物多样性水平。

1.3 数据处理与统计分析

本研究采用 Microsoft Excel 2021 软件进行实验数据整理, 通过 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 统计软件最小显著差异法 (LSD) 的显著性测试, 成功识别了不同植被配置模式间观测指标的显著性差异。为直观地呈现数据分析结果, 运用了 Origin 绘图软件绘图。

2 结果与分析

2.1 草原供给服务

表 2 为研究区草原供给服务调查结果, 通过对呼伦贝尔草原、希拉穆仁草原、锡林郭勒草原、克什克腾草原及科尔沁草原 5 大代表性草原区的年产草量与载畜量进行实地调查与数据分析, 发现呼伦贝尔草原的年产草量为 1.82 t/hm<sup>2</sup>, 显著高于其他研究区草原, 这可能与其较为优越的气候条件和土壤肥力有关。锡林郭勒草原的年产草量最低, 为 1.32 t/hm<sup>2</sup>, 因其地理环境及生态压力导致牧草生长受限。希拉穆仁草原和克什克腾草原的年产草量分别为 1.50 t/hm<sup>2</sup> 和 1.58 t/hm<sup>2</sup>, 表明这两个区域的牧草生产能力处于中等水平。科尔沁草原的年产草量为 1.42 t/hm<sup>2</sup>, 仅高于锡林郭勒草原。

表 2 研究区草原供给服务调查

| 草原名称   | 年产草量/(t·hm <sup>-2</sup> ) | 建群种         |
|--------|----------------------------|-------------|
| 呼伦贝尔草原 | 1.82±0.21a                 | 羊草、针茅       |
| 希拉穆仁草原 | 1.50±0.31b                 | 针茅、蒿属       |
| 锡林郭勒草原 | 1.32±0.15c                 | 大针茅、羊草      |
| 克什克腾草原 | 1.58±0.25b                 | 兰草、克氏针茅、锦鸡儿 |
| 科尔沁草原  | 1.42±0.24bc                | 羊草、冷蒿       |

注: 表中不同小写字母表示  $p<5\%$  水平差异具有统计学意义。下同。

2.2 土壤质量分析

表 3 为研究区草原土壤质量分析结果。呼伦贝尔草原的有机质含量最高, 达到 27.3 g/kg, 显著优于其他草原, 这与其良好的生态环境和丰富的植被覆盖度密切相关。克什克腾草原和科尔沁草原的有机质含量分别为 24.1 g/kg 和 23.5 g/kg, 表明这两个区域的土壤肥力同样处于较高水平。希拉穆仁草原的有机质含量为 22.7 g/kg。锡林郭勒草原的有机质含量最低, 仅为 20.9 g/kg, 土壤肥力明显低于其他草原, 显示出其土壤肥力有待提升。

全氮是衡量土壤氮素供应能力的重要指标, 对植物生长至关重要。分析发现, 呼伦贝尔草原的全氮含量最高, 为 1.80 g/kg, 表明其土壤氮素丰富, 能够满足植物旺盛生长的需求。克什克腾草原全氮含量为 1.77 g/kg, 也表现出较高的氮素供应能力。希拉穆仁草原、科尔沁草原和锡林郭勒草原的全氮含量分别为 1.62 g/kg、1.65 g/kg 和 1.51 g/kg, 虽然相对较低, 但均处于适宜植物生长的范围内, 不过仍需注意氮素

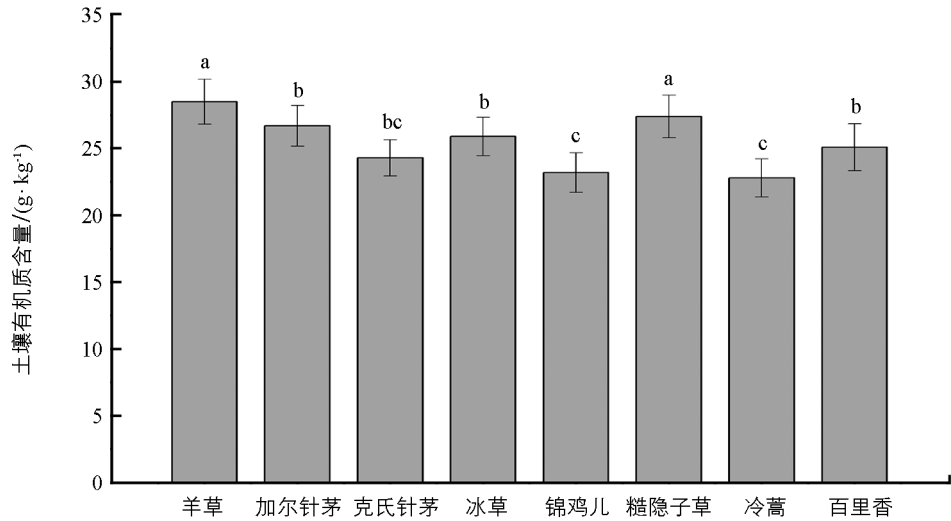
的补充与平衡。

在土壤全磷含量方面，各草原表现出一定的差异。呼伦贝尔草原的全磷含量最高，为 0.50 g/kg，显示出良好的磷素供应能力。克什克腾草原和希拉穆仁草原的全磷含量分别为 0.45 g/kg 和 0.42 g/kg，处于中等水平。科尔沁草原和锡林郭勒草原的全磷含量较低，分别为 0.41 g/kg 和 0.37 g/kg，建议采取人为干预措施，以提高土壤磷素供应能力。

表 3 研究区草原土壤质量分析 g · kg<sup>-1</sup>

| 草原名称   | 有机质         | 全氮         | 全磷          |
|--------|-------------|------------|-------------|
| 呼伦贝尔草原 | 27.3±2.10a  | 1.80±0.21a | 0.50±0.03a  |
| 希拉穆仁草原 | 22.7±1.23a  | 1.62±0.22b | 0.42±0.06ab |
| 锡林郭勒草原 | 20.9±4.12c  | 1.51±0.40b | 0.37±0.05b  |
| 克什克腾草原 | 24.1±4.13ab | 1.77±0.06a | 0.45±0.08ab |
| 科尔沁草原  | 23.5±2.13b  | 1.65±0.16b | 0.41±0.06b  |

对多种建群种植被下的土壤有机质含量进行分析，结果如图 1 所示。分析发现，羊草群落下的土壤有机质含量最为丰富，达到了 28.5 g/kg，显著高于其他类型的建群种植被，表明羊草在促进土壤有机质积累方面具有显著作用。糙隐子草群落土壤有机质含量为 27.4 g/kg，展示了较高的土壤肥力特征，表明糙隐子草也在一定程度上促进了土壤有机质的积累。相比之下，冷蒿群落下的土壤有机质含量最低，仅为 22.8 g/kg。可能归因于冷蒿的生长习性及对土壤养分利用效率的特殊性，需针对其生物学特性制定相应的土壤保育策略。



图中不同小写字母表示  $p<5\%$  水平差异具有统计学意义。下同。

图 1 不同建群种植被下土壤有机质含量

图 2 为不同建群种植被下土壤全氮含量。全氮是评估土壤氮素供应能力的关键指标。分析发现，百里香的全氮含量最高，达到 1.76 g/kg，显示出其土壤具有较强的氮素供应能力，有利于植物的生长和发育。羊草和糙隐子草的全氮含量也较高，分别为 1.68 g/kg 和 1.60 g/kg，表明这两种植物对土壤氮素的固定和转化具有积极作用。克氏针茅的全氮含量最低，为 1.36 g/kg，需要额外的氮素输入以满足其生长需求。

图 3 为不同建群种植被下土壤全磷含量。全磷是植物必需的营养元素之一，对植物的生长和繁殖至关重要。羊草草地下全磷含量最高，为 0.51 g/kg，表明其土壤磷素供应充足，有利于植物的生长和发育。贝

加尔针茅、冰草、糙隐子草和百里香的全磷含量也相对较高, 分别处于 0.44 g/kg 至 0.46 g/kg 之间, 显示出较好的磷素供应能力。然而, 锦鸡儿和冷蒿的全磷含量较低, 尤其是冷蒿仅为 0.36 g/kg, 需要采取磷素补充措施, 以提高土壤磷素供应能力。

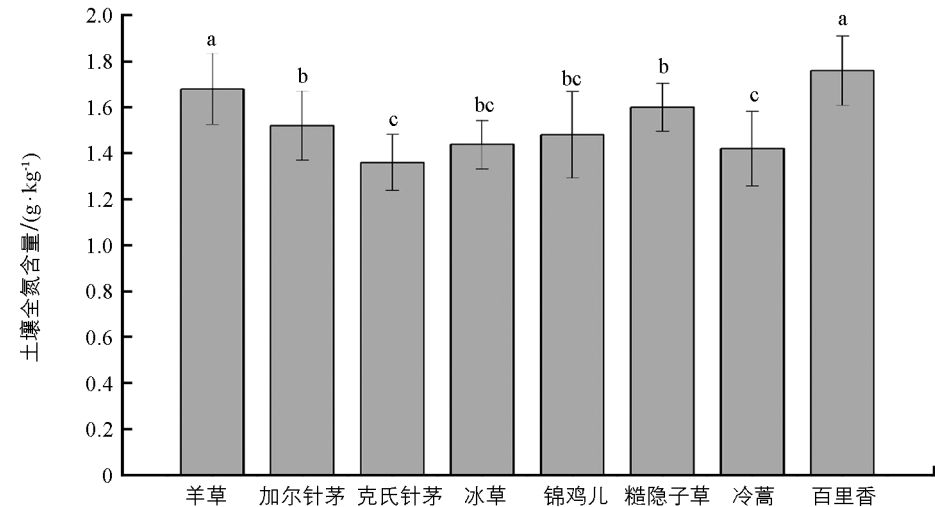


图 2 不同建群种植被下土壤全氮含量

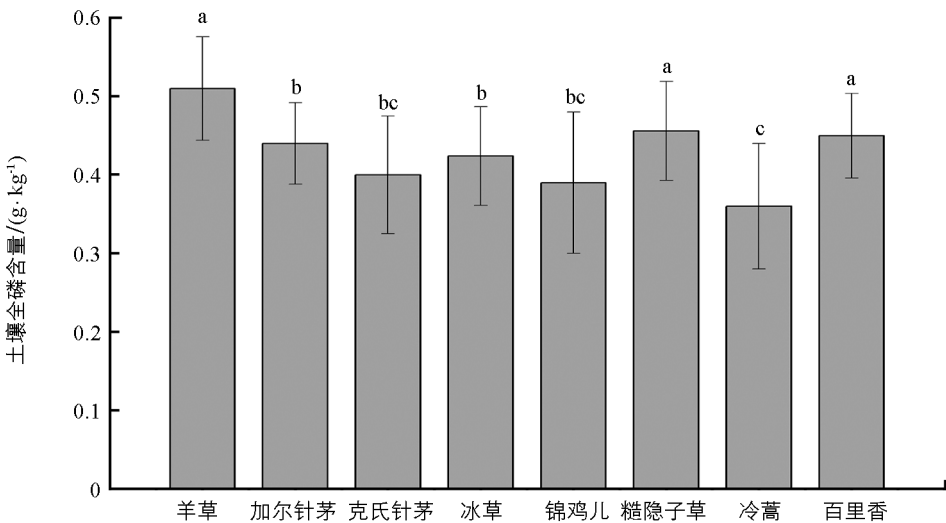


图 3 不同建群种植被下土壤全磷含量

2.3 生物多样性调查

表 4 为研究区草原生物多样性调查结果。呼伦贝尔草原的 Shannon-Wiener 指数最高, 达到 1.87, 显示出该草原区域具有极高的物种多样性水平。克什克腾草原和呼伦贝尔草原相近, 同样表现出较高的物种多样性。相比之下, 锡林郭勒草原和科尔沁草原的 Shannon-Wiener 指数较低, 表明这两个草原区域的物种多样性相对较少。希拉穆仁草原则处于中间水平。5 个草原的均匀度指数均位于 0.70 至 0.80 区间, 表明各草原的物种分布较为均匀, 未出现极度不均的情况。呼伦贝尔和克什克腾草原的均匀度指数分别为 0.80 和 0.78, 表明这两个草原的物种组成较为平衡, 各物种间的竞争压力较小。其余 3 个草原的均匀度指数在 0.72 至 0.75 之间, 显示物种分布的均匀性略有降低, 但仍维持在合理范围内。对丰富度指数分析发现, 呼伦贝尔草原丰富度最高, 达 12.01, 表明其拥有较高的物种数目。克什克腾草原和希拉穆仁草原的丰富度指数分别为 11.23 和 11.24, 与呼伦贝尔草原接近, 显示这 3 个草原在物种丰富度方面具有相似的特征。锡林郭勒和科尔沁草原的丰富度指数分别为 10.41 和 10.47, 略低于前 3 个草原, 但依然反映出较高的生物多样性水平。

表 4 研究区草原生物多样性调查

| 草原名称   | Shannon-Wiener 指数 | 均匀度指数      | 丰富度指数        |
|--------|-------------------|------------|--------------|
| 呼伦贝尔草原 | 1.87±0.42a        | 0.80±0.12a | 12.01±3.16a  |
| 希拉穆仁草原 | 1.72±0.31ab       | 0.75±0.10a | 11.24±2.13ab |
| 锡林郭勒草原 | 1.57±0.16b        | 0.72±0.16a | 10.41±1.62b  |
| 克什克腾草原 | 1.80±0.31a        | 0.78±0.05a | 11.23±1.13ab |
| 科尔沁草原  | 1.65±0.23b        | 0.73±0.16a | 10.47±2.10ab |

注：不同小写字母表示。

3 讨论与结论

3.1 讨论

草原供给服务，主要受到气候、土壤、植被类型及管理措施等多重因素的共同影响<sup>[22]</sup>。从气候角度来看，降水量、温度、光照等气象因子直接决定了牧草的生长速度和生物量积累量。本研究中呼伦贝尔草原的高年产草量揭示了其在供给服务上的领先地位，这一现象与该地区较为湿润的气候和肥沃的土壤条件密切相关，其高产草量得益于适宜的温带大陆性气候，为牧草提供了充足的水分和热量条件。充足的降水和适宜的温度不仅促进了植物生长，也提升了土壤养分循环效率，从而形成了良性生态循环。相比之下，锡林郭勒草原的低产草量和科尔沁草原的不稳定产草量则凸显了干旱和半干旱地区草原生产力的脆弱性。这些差异提示，针对不同草原的自然条件，采取差异化的管理策略至关重要。

土壤质量的变化是多种生物、物理和化学过程综合作用的结果。有机质含量的高低反映了土壤有机碳的积累与分解平衡状态<sup>[23-24]</sup>。高有机质含量不仅提高了土壤的保水保肥能力，还促进了土壤结构改善和微生物多样性增加。全氮和全磷作为土壤肥力的重要指标，其含量受植物吸收、微生物转化、土壤侵蚀等多种因素的影响<sup>[25]</sup>。植物通过根系吸收土壤中的氮、磷养分，同时其残体分解后又将养分归还给土壤，形成养分循环。此外，土壤侵蚀会带走表层富含养分的土壤颗粒，导致土壤肥力下降。因此，保护土壤免受侵蚀、促进植被覆盖、合理施肥等措施对提升土壤质量具有重要意义。本研究中，呼伦贝尔草原的有机质、全氮和全磷含量均最高，分别达到 27.3 g/kg、1.80 g/kg 和 0.50 g/kg，表明其土壤肥力状况良好。克什克腾和科尔沁草原较高的土壤有机质含量，则可能与这些地区植被覆盖度较高，枯落物输入量大有关。锡林郭勒草原的土壤养分含量普遍较低，尤其是有机质含量仅为 20.9 g/kg，显示出其土壤质量有待提升。

不同建群种植物通过改变土壤微环境、影响微生物群落结构、调节养分循环等机制，对土壤质量产生显著影响。羊草等禾本科植物以其茂密的根系和丰富的生物量，能够促进土壤有机质的积累和分解，其根系分泌物还能为土壤微生物提供养分，促进微生物繁殖，从而加速养分矿化和循环。冷蒿等杂草类植物由于其生长速度快、竞争力强，可能会抑制其他物种生长，导致土壤养分被过度消耗而得不到有效补充<sup>[26]</sup>。建群种植被下的土壤养分分析表明，羊草群落下的土壤有机质含量最为丰富，而百里香的全氮含量最高，羊草的全磷含量也最高，这些数据表明不同建群种对土壤养分的积累和供应具有显著影响，选择适宜的建群种是优化草原土壤质量和提升生态系统服务的有效途径。因此，在植被恢复与重建过程中应优先选择具有优良土壤改良效果的植物种类，以实现土壤质量的持续提升。

生物多样性是生态系统稳定性和服务功能的重要基础，高生物多样性的生态系统通常具有更强的抗干扰能力和恢复力。生物多样性的增加可以促进养分循环、提高土壤肥力、增强生态系统的物质和能量流动效率。本研究中呼伦贝尔草原的 Shannon-Wiener 指数和丰富度指数均最高，分别达到 1.87 和 12.01，显示出该草原区域具有较高的物种多样性水平。



### 3.2 结论

本研究针对内蒙古自治区 5 大代表性草原的乡土植被生态系统服务进行了全面评估, 并基于评估结果提出了相应的优化策略。通过实地调查与数据分析, 得出以下主要结论:

1) 草原供给服务差异显著。研究结果表明, 呼伦贝尔草原在年产草量上表现最优, 达到  $1.82 \text{ t/hm}^2$ , 显著高于其他草原, 这主要得益于其优越的气候条件和土壤肥力。锡林郭勒草原因受地理环境和生态压力影响, 年产草量最低, 为  $1.32 \text{ t/hm}^2$ 。这些差异提示, 在制定畜牧业管理策略时, 需充分考虑不同草原的生产潜力和生态条件。

2) 土壤质量对生态系统服务至关重要。土壤质量分析显示, 呼伦贝尔草原的有机质、全氮和全磷含量均显著高于其他草原, 这与其良好的生态环境和植被覆盖度密切相关。土壤肥力差异不仅影响牧草的生长和产量, 还关系到整个生态系统稳定性和服务功能。因此, 加强土壤保育、提高土壤肥力是提升草原生态系统服务的关键措施之一。

3) 建群种植被对土壤质量有显著影响。不同建群种植被下的土壤有机质、全氮和全磷含量存在显著差异。羊草群落下的土壤有机质和全氮含量最高, 表明羊草在促进土壤肥力提升方面具有重要作用。而冷蒿群落下的土壤肥力相对较低, 需针对其生物学特性制定相应的土壤保育策略。这一发现为草原植被恢复与重建提供了科学依据, 强调了选择适宜建群种植被的重要性。

4) 生物多样性是生态系统服务的重要基础。生物多样性调查结果显示, 呼伦贝尔草原和克什克腾草原具有较高的物种多样性水平, 有助于增强生态系统的稳定性和服务功能。相比之下, 锡林郭勒草原和科尔沁草原的生物多样性较低, 需采取措施促进物种多样性的恢复与提升。生物多样性的增加不仅能够提高草原生态系统的抗干扰能力和恢复力, 还能促进养分循环、促进土壤肥力等生态系统服务的提升。

## 4 优化策略及建议

1) 实施差异化畜牧业管理。根据各草原的生产潜力和生态条件, 制定差异化畜牧业管理策略。对于高产草量的草原, 可适当提高载畜量; 对于低产草量或生态脆弱的草原, 则需采取轮牧、休牧等措施减轻草原压力。

2) 加强土壤保育与肥力提升。通过施肥、改良土壤结构、促进植被覆盖等措施提高土壤肥力。针对土壤肥力较低的草原, 加大投入力度, 采用科学的方法改善土壤条件。

3) 优化植被配置与恢复。在草原植被恢复与重建过程中, 优先选择具有优良土壤改良效果和较高生产力的建群种植被种类。同时, 通过合理植被配置和群落结构调整, 促进生物多样性的增加和生态系统的良性循环。

4) 加强生态监测与评估。建立健全的生态监测体系, 定期对草原生态系统服务进行评估和监测, 及时发现和解决生态系统服务下降的问题, 为制定科学的管理策略提供数据支持。

### 参考文献:

- [1] 姜世忠, 侯林秀, 费陶, 等. 内蒙古自治区生态福利绩效评估及其驱动效应分解 [J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(10): 196-211.
- [2] 孙斌, 杜松朴, 薛建春, 等. 黄河流域新型城镇化—生态安全—公共健康协调发展研究——以内蒙古自治区为例 [J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(1): 115-127.
- [3] 刘婧雅, 秦克玉, 董战峰. 内蒙古生态屏障区固碳服务效应分析 [J]. 科技导报, 2024, 42(7): 84-92.
- [4] 超宝, 赵媛媛, 武海岩, 等. 2000-2020 年蒙古高原生态系统服务及其对气候因子的响应 [J]. 干旱区地理, 2024, 47(9): 1577-1586.
- [5] 木其尔, 敖登高娃. 2013-2020 年内蒙古锡林郭勒草地资源承载力变化 [J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 446-454.

[6] 宝秋利,梁显丽,代海燕,等. 全球气候变暖背景下科尔沁沙地冷暖急转气候特征分析 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3): 17-22, 35.

[7] 韩煜,王琦,赵伟,等. 草原区露天煤矿周边植物多样性和土壤养分关系研究 [J]. 东北农业大学学报, 2023, 54(9): 23-33.

[8] 郑婷婷,杨莉,贾卓霏,等. 基于生态系统“受损-恢复力-修复潜力”评价的内蒙古生态空间分区及保护修复策略 [J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(5): 1901-1909.

[9] 冯二朋,张立伟,赖勇,等. 王屋山不同海拔植被—土壤耦合协调度研究 [J]. 河南农业大学学报, 2023, 57(6): 949-957.

[10] 廖远行,舒英格,王昌敏,等. 喀斯特地区不同植被类型土壤微生物量磷、碱性磷酸酶及植酸酶的变化特征 [J]. 南方农业学报, 2023, 54(6): 1762-1770.

[11] 牛忠恩,何洪林,任小丽,等. 基于过程模型的 2000-2018 年中国陆地生态系统服务时空动态及其权衡与协同分析 [J]. 生态学报, 2023, 43(2): 496-509.

[12] 于德永,郝蕊芳. 生态系统服务研究进展与展望 [J]. 地球科学进展, 2020, 35(8): 804-815.

[13] 杨朔,杨禾馨,赵国平. 内蒙古农牧交错带土地利用转型生态环境效应及分异机制——基于三生空间主导功能判别视角 [J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(1): 22-30.

[14] 张洪昌,王启超,龙星宇,等. 山地民族传统村落乡土—生态系统恢复力时空演变及影响因素 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(8): 112-125.

[15] SCHRÖTER M, ALBERT C, MARQUES A, et al. National Ecosystem Assessments in Europe: A Review [J]. BioScience, 2016, 66(10): 813-828.

[16] CHOI H A, SELIGER B, HAN D. Rapid Ecosystem Services Assessment of Mundok Ramsar Wetland in Democratic People's Republic of Korea and Opportunities to Improve Well-Being [J]. Journal of Ecology and Environment, 2023, 47: 3.

[17] MCHALE M R, BECK S M, PICKETT S T A, et al. Democratization of Ecosystem Services—A Radical Approach for Assessing Nature's Benefits in the Face of Urbanization [J]. Ecosystem Health and Sustainability, 2018, 4(5): 115-131.

[18] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.

[19] 黄孟冬,肖玉,秦克玉,等. 1980-2018 年浑善达克地区防风固沙服务时空变化及其驱动因素 [J]. 生态学报, 2022, 42(18): 7612-7629.

[20] 甘爽,肖玉,徐洁,等. 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设效益评价 [J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5874-5884.

[21] 曹开军,李如雪,龙顺发,等. 黄河流域旅游—生态系统脆弱性时空演变特征及影响因素 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(4): 92-103.

[22] 利辉,刘铁军,王少慧,等. 2001-2021 年内蒙古荒漠草原水分利用效率时空变化特征及影响因素研究 [J]. 干旱区地理, 2024, 47(6): 993-1003.

[23] 宋兆斌,岳平,李香云,等. 草原生态系统土壤多功能性及影响机制研究进展 [J]. 中国沙漠, 2023, 43(6): 151-165.

[24] 张桐瑞,金轲,王珍,等. 草地土壤健康的内涵及其评价 [J]. 中国草地学报, 2022, 44(5): 102-113.

[25] 王彦武,孙浩峰,于惠,等. 民勤风沙区不同灌木林土壤质量综合评价 [J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 169-178, 186.

[26] 孔茹洁,卫洁,陈清,等. 土壤水分及其垂直分布对内蒙古草原冰草和冷蒿竞争的影响 [J]. 生态学报, 2024, 44(6): 2495-2503.