

DOI: 10.5846/stxb202003180584

崔宁, 于恩逸, 李爽, 唐明方, 吴钢. 基于生态系统敏感性与生态功能重要性的高原湖泊分区保护研究——以达里湖流域为例. 生态学报, 2021, 41(3): 949-958.

Cui N, Yu E Y, Li S, Tang M F, Wu G. Protection measures of plateau lake based on ecosystem sensitivity and importance of ecosystem function: the case of Lake Dalinor Basin. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(3): 949-958.

基于生态系统敏感性与生态功能重要性的高原湖泊分区保护研究 ——以达里湖流域为例

崔 宁^{1,2}, 于恩逸¹, 李 爽^{1,2}, 唐明方^{1,*}, 吴 钢^{1,2}

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

摘要: 内蒙古高原湖泊流域是我国北方地区重要的涵养水源区域, 发挥着防汛抗旱、气候调节、生物多样性维持等多种生态系统功能。近几十年来, 全球气候变化加之人类活动加剧, 导致内蒙古高原湖泊的数量和面积大幅减少, 流域生态系统的损害日益明显, 严重威胁到了周边地区的生态安全, 保护与治理内蒙古高原湖泊流域已逐渐成为社会各界关注及迫切需要解决的问题。面向内蒙古高原湖泊流域保护和管理需求, 以改善和提升流域生态环境质量和生态系统功能为目的, 以内蒙古高原湖泊达里湖流域为研究对象, 基于流域生态特性和主要生态环境问题, 选取水土流失、土壤侵蚀及土地沙化敏感性 3 个指标评价了流域生态系统敏感性, 从水源涵养、土壤保持和生境质量重要性 3 个方面评价了流域生态系统功能重要性, 并在此基础上, 通过 GIS 空间分析技术将流域分为极重要敏感区, 一般重要敏感区和低重要敏感区。结合流域内达里诺尔国家级自然保护区的生态重要性与 3 个区域评价结果, 从生态保护角度将流域分为禁止开发区、重点保护区、质量提升区与潜在威胁区 4 个区域, 同时提出针对每个区域特点的保护与管理对策。研究结果对提高高原地区湖泊流域生态环境质量以及对流域实施科学有效的管理提供了科学依据, 同时在促进区域乃至全球生态建设和可持续发展方面具有重要的理论与现实意义。

关键词: 保护对策; 生态系统敏感性; 生态系统功能; 高原湖泊; 达里湖流域

Protection measures of plateau lake based on ecosystem sensitivity and importance of ecosystem function: the case of Lake Dalinor Basin

CUI Ning^{1,2}, YU Enyi¹, LI Shuang^{1,2}, TANG Mingfang^{1,*}, WU Gang^{1,2}

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

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

Abstract: The plateau lake basins of Inner Mongolia are important water conservation areas in northern China. They can provide a variety of ecosystem functions such as flood prevention and drought resistance, climate regulation, and biodiversity maintenance. Global climate change and human activities in recent years have led to a significant reduction in the number and area of lakes on the Inner Mongolia Plateau. They are increasingly damaging the ecosystem of plateau lakes and their basins, which has seriously threatened the ecological security of surrounding areas and impeded the ecological construction across the nation. Protection and management of lake basins on the Inner Mongolia Plateau have gradually become a concern and urgent problem to be solved by all sectors of society. With the purpose of improving and enhancing the ecological

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0503603)

收稿日期: 2020-03-18; 修订日期: 2020-12-31

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

environment quality and ecosystem functions of the basin, this paper takes the Lake Dalinor basin on the Inner Mongolia Plateau as the research object. Based on the ecological characteristics of the basin and the main ecological environmental issues, three indicators of soil loss, soil erosion and land desertification sensitivity are chosen to evaluate the ecosystem sensitivity of the basin. The importance of the basin ecosystem function is evaluated from three aspects of water conservation, soil conservation and the importance of habitat quality. On this basis, the basin is divided into extremely important-sensitive areas, general important-sensitive areas, and low important-sensitive areas through GIS. Taking the ecosystem importance of the Dalinor National Nature Reserve in the basin into consideration and the results of three regional evaluations, the basin is divided into four areas, namely prohibited zone, key protection zone, quality improvement zone and potential threat zone. The protection measures of the basin are proposed according to each region's ecological characteristics. This research results provide a scientific basis for improving the ecological environment quality of lake basins in plateau areas and implementing scientific and effective management of the basins. At the same time, it has important theoretical and practical significance in promoting regional and global ecological construction and sustainable development.

Key Words: protection measures; ecosystem sensitivity; ecosystem function; plateau lake; Lake Dalinor Basin

我国地域辽阔,地貌复杂,湖泊分布广泛、类型多样且演变历史复杂^[1-2]。高原湖泊位于高原地带,具有对外无连通性、水体交换率低及自净能力差等特点^[3-4]。由于地理位置特殊,高原湖泊具有极高的生态价值,在维护高原地区生态系统及我国大江大河生态安全稳定中扮演着重要角色。与平原湖泊相比,高原湖泊结构更加复杂,生态功能更为重要,具有一定的特殊性^[5-7]。我国高原湖泊主要分为青藏高原湖区、云贵高原湖区和蒙新高原湖区。在全球气候变暖的大背景下,除青藏高原以外,其他高原湖泊普遍产生了湖泊水位下降、湖面萎缩、湖水污染等问题,并且这些问题所产生的影响已经从局部扩展为流域性乃至区域性^[8-10]。高原湖泊流域是内蒙古地区重要的水源区域,在防汛抗旱、气候调节、生物多样性维持等方面发挥着重要作用^[3]。近几十年,粗放的经济发展模式及人类生产生活的影响给内蒙古高原湖泊带来了巨大的破坏。据内蒙古高原湖泊演变历史的研究表明,近几十年,内蒙古高原湖泊面积减少了 1223 km²,下降约 22%,加之湖水污染及周围生态系统的破坏产生了严重的生态环境问题^[11-12]。一方面,流域内居民生存及产业发展越来越依赖流域生态系统;另一方面,受到破坏的生态系统所能提供的价值却在减少,已经严重威胁到流域可持续发展及资源可持续利用^[13]。目前对于高原湖泊的研究主要针对青藏高原和云贵高原地区^[14-20],对内蒙古高原湖泊流域生态环境变化及生态保护对策仍需进一步深入研究,进而减缓内蒙古高原湖泊流域生态环境退化趋势。

对目前国内外相关文献的梳理可以发现,对湖泊及其流域进行综合治理与保护是未来研究的主要发展方向,然而对自然条件较为复杂、生态环境更为脆弱及生态保护难度较大的内蒙古地区高原湖泊的研究依然不多^[21-25]。作为内蒙古四大湖泊之一,达里湖是北方地区比较典型的高原湖泊,其流域地处干旱/半干旱地区,气候干燥,降雨稀少。近年来,在气候变化及人类活动双重影响下,湖面萎缩、湖泊污染等现象严重,流域草原退化、土地沙化等问题持续发生,严重威胁着内蒙古地区的生态平衡^[26]。目前对达里湖流域的研究多集中在达里湖水域变化、水体污染等方面,鲜有以流域为研究对象进行生态功能分区及保护措施的研究,亟需针对流域特点及问题开展科学有序的保护措施研究^[27-30]。围绕“如何针对地理位置重要、生态环境脆弱的高原湖泊流域进行生态分区并实施有效地保护与管理”这一科学问题,本文选取内蒙古高原湖泊达里湖流域为研究对象,在明晰其生态环境状况及主要问题的基础上,开展生态系统敏感性和生态系统功能重要性评价,找出达里湖流域生态脆弱区域及生态保护重点区域,在此基础上提出具有针对性的分区保护对策,研究结果可以指导流域的综合规划、治理和保护,并为流域的可持续发展提供科学依据,在实现区域人与自然和谐发展具有重要的科学意义。

1 研究区概况及主要环境问题

达里湖是我国北方典型的干旱—半干旱地区草原性湖泊,其流域位于内蒙古自治区赤峰市克什克腾旗西

部,地理坐标为 $116^{\circ}22'—117^{\circ}33'E, 42^{\circ}33'—43^{\circ}45'N$ (图 1)。流域面积约为 4675 km^2 。流域属于温带半干旱大陆性季风气候,多年平均气温约为 $2—4^{\circ}\text{C}$,年降水量大约为 300 mm ,年蒸发量是降水量的 5 倍多,约为 1600 mm 。流域内景观类型多样,动植物资源较为丰富。常住人口约为 1.33 万人,以牧民为主,且多数为少数民族。流域以草原农牧业和旅游业为主要支柱产业,是经济发展欠发达地区^[26,31-32]。流域内于 1987 年建立了达里诺尔自然保护区,并于 1997 年经国务院批准为国家级自然保护区,重点保护珍稀鸟类及其生境,在流域内发挥了重要的生态系统功能^[33]。

长期以来,在气候变化及人类活动的双重影响下,流域的生态系统结构和功能都遭受到严重影响,主要包含以下几个方面:

(1)达里湖水质水量问题。由于入湖河流多次出现断流,使得达里湖湖面面积萎缩明显,从 1980 年的 220 km^2 下降到 2018 年的 197 km^2 ,减少了近 12%;储水量也从 15 亿 m^3 下降到 13 亿 m^3 。达里湖属于封闭湖泊,由于湖水持续浓缩,导致湖中各污染物浓度持续增加,水质为劣 V 类。

(2)草原退化问题。流域内草原生态系统受损明显,退化草场面积达到 1773 km^2 ,占总面积的 38%;盐渍化草原面积达到 200 km^2 ,占总面积的 4%。草地的持续退化使得植物多样性及优质建群植物衰退明显,多年生牧草由 19 种减少到 8 种,一年生牧草由 1 种上升到 7 种,草群高度由 28 cm 减少到 5 cm 。

(3)水土流失问题。流域所在地为北方典型的风蚀水蚀交错区,由于长期的侵蚀,流域内水土流失面积高达 2704 km^2 ,占流域一半的面积,局部地区甚至成为流动沙丘群。

(4)土地沙化问题。流域位于干旱/半干旱生态系统脆弱区域,降水量持续减少、气温持续升高,再加上生态资源使用不合理,使得流域内土地沙化面积多达 1646 km^2 ,严重影响了流域内生态环境的健康持续发展。

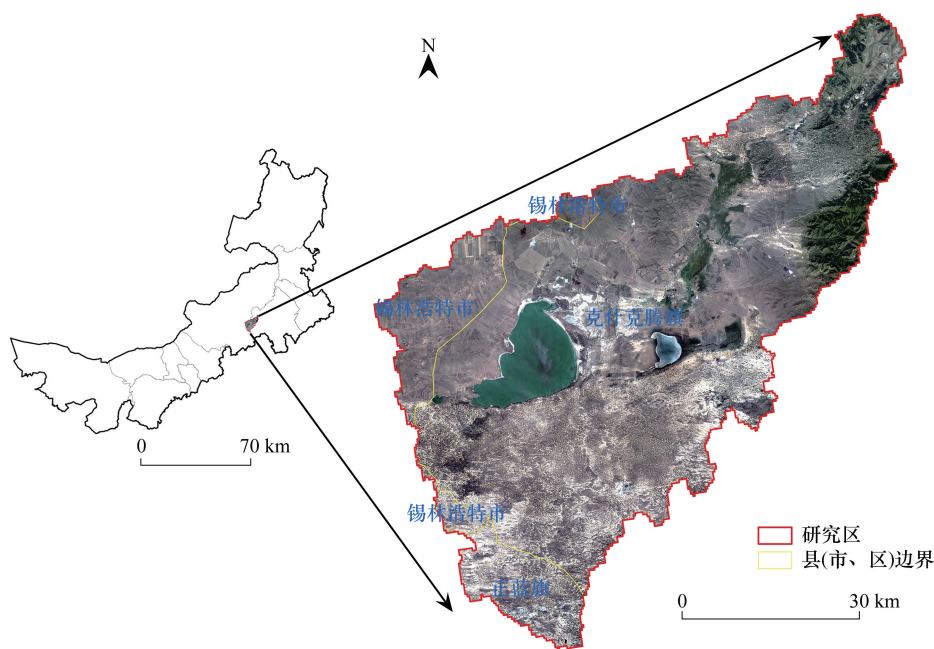


图 1 研究区地理位置图

Fig.1 The location of study area

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

通过前期与地方政府紧密合作,开展了达里湖流域野外调研及数据资料收集工作,获取了流域较为全面

的基本情况信息。本文所选用的数据主要来源于以下途径:

(1) 土地利用/覆盖数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

(2) 流域内降雨等气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)及地方政府。

(3) 流域内土壤数据来源于国家地球系统科学数据共享服务平台土壤科学数据(<http://soil.geodata.cn/>)及地方政府。

(4) 流域内道路数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn/>)及地方政府。

(5) 流域内 DEM (Digital Elevation Model, 数字高程模型) 数据下载于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/search>)上的 ASTER GDEM V2 数据源。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统敏感性评价方法

根据研究区的生态环境特征及状况,并借鉴同类型湖泊流域生态系统敏感性分析已有案例^[34-37],本文选取流域内容易导致生态危机的水土流失敏感性、土地沙化敏感性和土壤侵蚀敏感性三项指标对流域进行整体分析。参考相关文献,3个指标的计算过程如下^[35,38-41]:

(1) 水土流失敏感性:基于 2015 年遥感影像数据,使用 ArcGIS 中的 spatial analyst 中的叠加分析,对流域内沟谷密度、地形坡度、土壤可蚀性和土地利用类型进行加权叠加得到,并将水土流失敏感性分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 个等级。

(2) 土地沙化敏感性。

$$D_i = \sqrt[4]{I_i \times W_i \times K_i \times C_i} \quad (1)$$

式中, D_i 为*i*评价区土壤沙化敏感性指数, I_i 为干燥度指数, W_i 为起沙风天数, K_i 为土壤质地, C_i 为植被覆盖度,同样将结果分为 5 个敏感等级。

(3) 土壤侵蚀敏感性:选取植被覆盖度、地形起伏度、土壤质地和降雨侵蚀力 R 值使用栅格计算器叠加得到。

$$SS_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

式中, SS_j 为*j*空间单位土壤侵蚀敏感性指数, C_i 为因子敏感性等级值, n 为*j*空间单元所包含的敏感性因子指标个数,并将结果分为 5 个敏感等级。

结合以上 3 个指标的评价结果,通过使用 ArcGIS 平台的空间分析叠加模块,对 3 个指标的分布图进行空间叠加,最终得到达里湖流域生态系统敏感性分布图,并将敏感性分为 3 个等级,即一般敏感、敏感和极敏感。

2.2.2 生态系统功能重要性评价

依据研究区主要生态环境状况,并充分参考同类型流域的相关研究文献^[42-46],本文选取达里湖流域能提供的重要生态系统水源涵养、土壤保持和生境质量重要性 3 个指标对流域进行整体评价。根据相关参考文献,3 个指标的计算过程如下^[47-56]:

(1) 水源涵养重要性:在计算出产水量的基础上,依据 Bai 等人提出的公式,即各地类的水源涵养量等于各地类产水量减去各地类的地表径流量。本文选取流域内年均降水量、潜在蒸散量、植被可利用含水量、土壤深度、根系深度等数据,通过公式 3—5 的计算,得到达里湖流域水源涵养重要性,并将结果分为极重要、高度重要、中等重要、较重要及一般重要 5 个等级。

$$WR_{ij} = Y_{ij} - \text{Runoff}_{ij} \quad (3)$$

$$\text{Runoff}_{ij} = P_{ij} \times C_j \quad (4)$$

$$C_j = C_r + C_s + C_t \quad (5)$$

式中, WR_{ij} 是 LUC C_j 上像元*i*的年持水量, Runoff_{ij} 是 LUC C_j 上像元*i*的年地表径流量, P_{ij} 表示 LUC C_j 上像元*i*的年均降水量, C_j 表示第*j*类土地利用类型的地表径流系数。

(2) 土壤保持重要性:选取降雨侵蚀力、土壤可蚀性、地表覆盖管理、土壤保持措施等因子,通过 InVEST 模型中的 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)模型对研究区土壤保持量进行估算得到,并将结果分为 5 个等级。公式如下:

$$A = R_x \times K_x \times L_x \times S_x \times C_x \times P_x \quad (6)$$

$$A_p = R_x \times K_x \times L_x \times S_x \quad (7)$$

$$A_c = A_p - A \quad (8)$$

式中, A 是流域内任意栅格 x 的实际土壤侵蚀量(t), A_p 和 A_c 分别为流域内任意栅格 x 的潜在土壤侵蚀量和土壤保持量。 R_x 、 K_x 、 C_x 、 P_x 分别是栅格的降雨侵蚀力、土壤可蚀性、地表覆盖管理因子和土壤保持管理因子, L_x 、 S_x 为坡长和坡度因子。

(3) 生境质量重要性:选取生境退化度、生境质量指数、生态胁迫源、生境类型对胁迫源的敏感性和生态胁迫源因子图层等数据,运用 InVEST 模型中的生境质量(Habitat quality)模块和 ArcGIS 10.3 软件处理进行分析得到,结果同样分为 5 个等级。

结合以上 3 个指标的评价结果,通过使用 ArcGIS 平台的空间分析叠加模块,对 3 个指标的分布图进行空间叠加,最终得到达里湖流域生态系统功能重要性分布图,将流域按一般重要、重要和极重要等级划分。

2.2.3 分区方法

达里湖流域的分区遵循可持续发展原则、整体性原则、主导性原则与可操作性原则,将生态系统敏感性及生态系统功能重要性的最终评价结果按照表 1 的规则进行叠加分区,将整个流域分为极重要敏感区、一般重要敏感区和低重要敏感区。

表 1 达里湖流域分区规则

Table 1 The rule of zoning

地区 Area	一般重要 General important	重要 Important	极重要 Extremely important
一般敏感 General sensitive	低重要敏感区	低重要敏感区	一般重要敏感区
敏感 Sensitive	低重要敏感区	一般重要敏感区	极重要敏感区
极敏感 Extremely sensitive	一般重要敏感区	极重要敏感区	极重要敏感区

3 研究结果

3.1 生态系统敏感性评价

达里湖流域的 3 个生态系统敏感性指标评价结果如图 2 所示,水土流失、土地沙化和土壤侵蚀敏感性分布有一定差异。水土流失极敏感地及高敏感地区主要分布在流域的南部部分地区,其余大部分地区为水土流失敏感性较低地区;土地沙化极敏感及高度敏感地区主要分布在流域的西北部地区及东北部零星地区;土壤侵蚀极敏感及高度敏感地区主要分布在流域的东部。

从流域生态系统敏感性分布图(图 2)来看,生态极敏感地区主要分布在流域的西北部及东北和南部的零星地区,面积大约为 1577 km²,约占流域总面积的 34%,该区域土地覆盖类型主要为林地、耕地及部分草地。敏感地区主要分布在流域的中部,零星分布在流域东北部及南部,面积大约为 2363 km²,约占流域总面积的 51%。一般敏感区主要分布在流域的中部地区,面积大约为 732 km²,约占流域总面积的 15%。

3.2 生态系统功能重要性评价

水源涵养、土壤保持和生物多样性维持是达里湖流域所能提供的重要生态系统功能,对维持流域内生态环境及经济社会发展起到重要作用。通过图 3 可以看出,水源涵养中等重要区域主要分布在流域的北部,较重要地区主要分布在流域的南部;土壤保持重要地区主要分布在流域的东北林地地区,其余大部分地区为一般重要区域;生境质量极重要地区分布在流域内的湖区及东北地区,中等重要地区分布在流域的北部,较重要

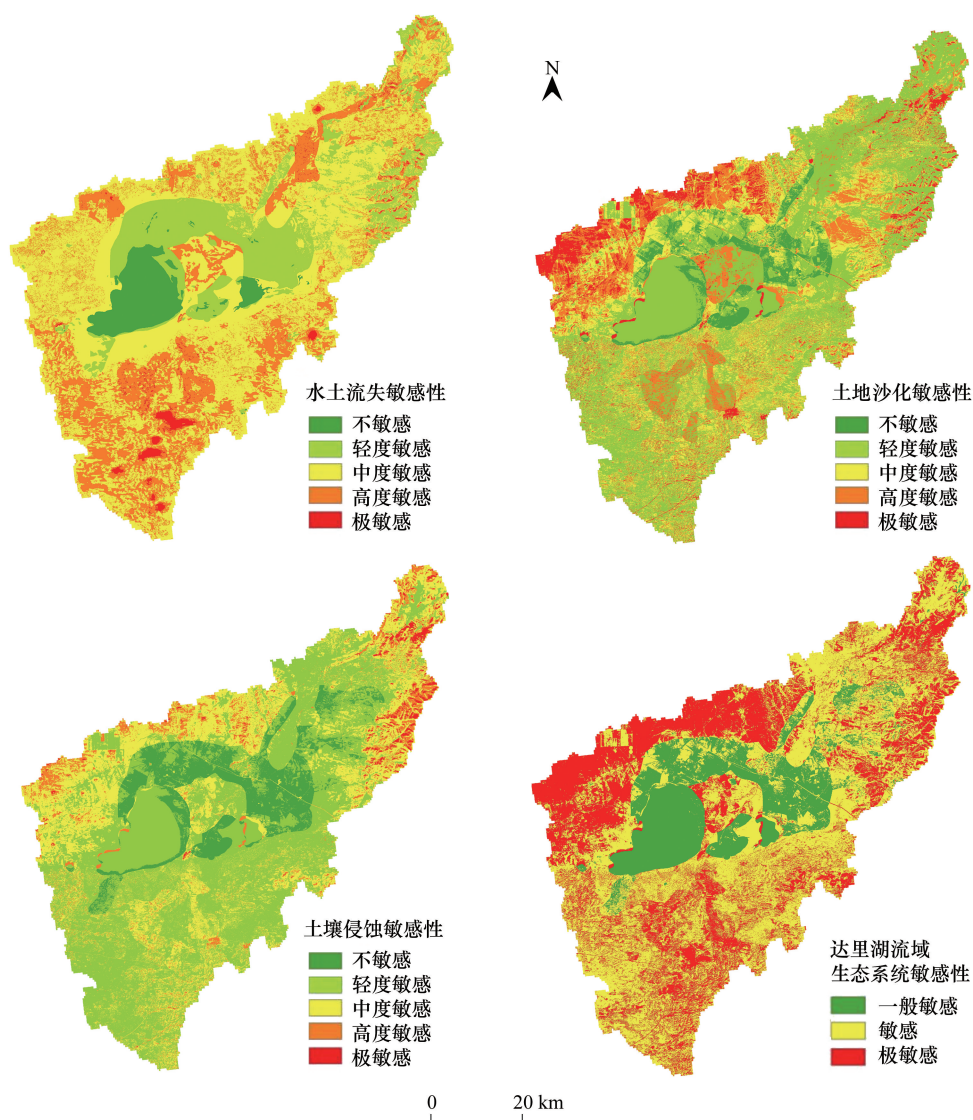


图2 达里湖流域生态系统敏感性分布图

Fig.2 The distribution map of ecosystem sensitivity in Lake Dalinor Basin

地区主要分布在流域的南部。

将水源涵养、土壤保持和生境质量 3 个结果叠加后,可以得到达里湖流域生态系统功能重要性分布图(图 3)。如图 3 所示,达里湖流域生态系统功能极重要区域主要分布在达里湖区及东北部的林地区域,零星分布在部分草地,面积大约为 964 km²,约占整个流域面积的 20%。生态系统功能重要区域主要分布在流域北部的耕地及部分草地,面积约为 2912 km²,约占整个流域面积的 62%。生态系统功能一般重要区域主要分布在流域南部的建设用地、未利用地与部分草地,面积约为 824.65 km²,约占流域总面积的 18%。

3.3 流域分区结果

将生态系统敏感性分布与生态系统功能重要性分布结果进行空间叠加,并按照极重要敏感区、一般重要敏感区及低重要敏感区划分,并依据每个区域的生态环境问题与保护特点,同时考虑到流域内达里诺尔国家级自然保护区的重要性,将流域分为禁止开发区、重点保护区、质量提升区与潜在威胁区,得到达里湖流域的最终分区图,如图 4 所示。

由于流域内达里诺尔国家级自然保护区具有的重要生态意义,将其单独划分为禁止开发区进行保护与管

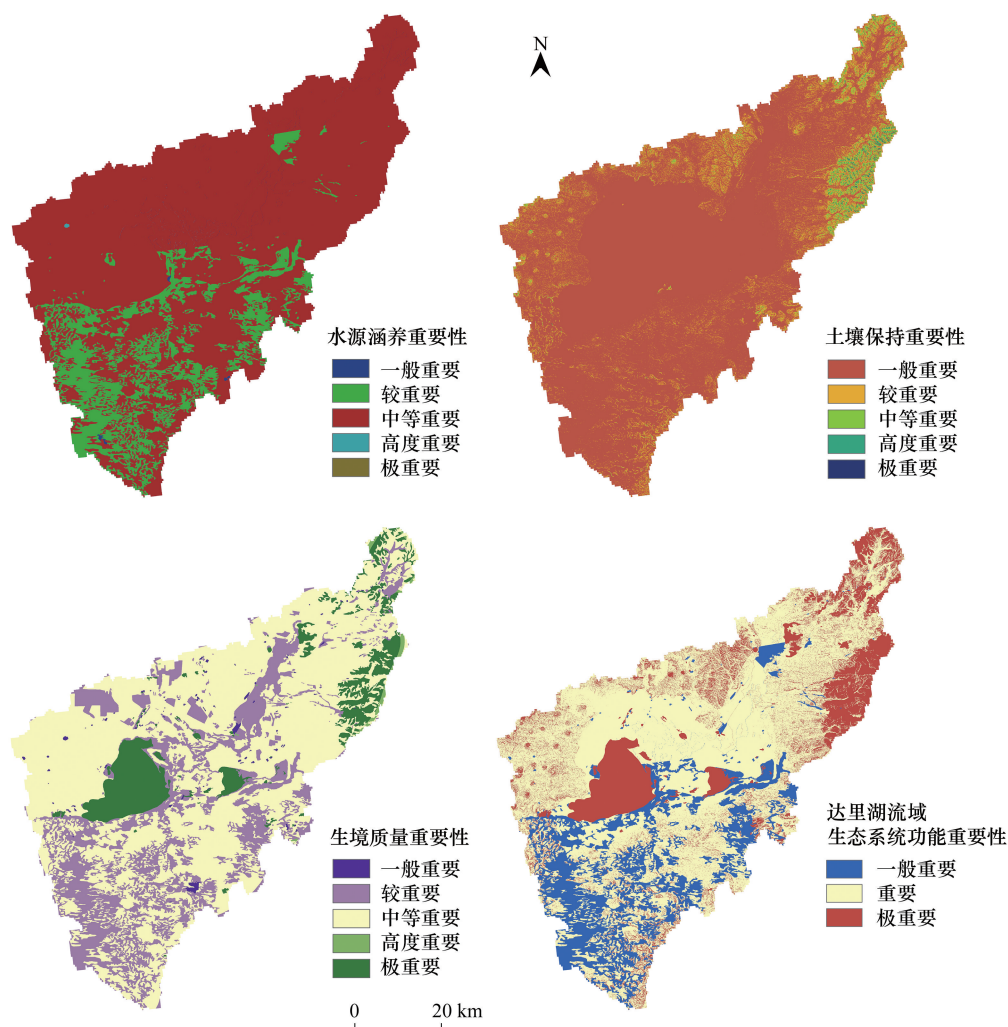


图3 达里湖流域生态系统功能重要性分布图

Fig.3 The distribution map of importance of ecosystem function in Lake Dalinor Basin

理。禁止开发区位于流域中间部位,面积约为 1216 km²,为整个流域面积的 26%。该区域湖水水质水量问题较为严重,盗猎野生动物现象时有发生。重点保护区涵盖流域内生态极重要敏感区,面积约为 762 km²,为流域面积的 16%。重点保护区涵盖了流域东北部的林地、北部部分草地及南部零星草地。该区域内林地资源开发无序,且工作人员保护意识较低,生态保护工作效率不高。质量提升区包括一般重要敏感区,面积约为 1599 km²,为流域面积的 34%。该区域主要涵盖流域东北部草原地带、北部耕地及南部部分草地地区。质量提升区内草地退化现象严重,耕地结构亟需调整,存在农业废水现象。潜在威胁区包括低重要敏感区,面积约为 1099 km²,为流域面积的 24%。该区域主要涵盖南部的建设用地与未利用地,以及周边零星草地。潜在威胁区是流域内人类活动最活跃地区,生态环境受到较大影响,且有逐渐影响其他区域的可能。

3.4 分区保护对策

达里湖流域具有地理位置重要、生态文化浓厚、少数民族聚居等特征,是一个以旅游业和草原农牧业为支柱产业的特殊经济区域。流域所在地是生态脆弱区,也是经济欠发达地区。在对达里湖流域进行生态分区分析后,以保护生态系统和提升生态功能为重点,通过对达里湖流域内 4 个区域的特点及问题分析,提出针对每个区域特色的保护对策,为流域的可持续发展提供科学依据。

禁止开发区涵盖了达里湖自然保护区,应建立生态、环境、资源一体化的管理模式。达里湖保护区内划分

了5个核心区、3个缓冲区和1个实验区,保护对策应在此基础上开展。核心区是保护区内的精华所在,要严格禁止一切人类活动,并采取联合执法严厉打击破坏自然资源、偷猎等现象发生。缓冲区位于核心区周围地带,在核心区保护中起到缓冲作用。要充分利用智能化、现代化技术,对缓冲区内的自然资源及人类活动进行实时监测,实现对缓冲区内珍稀物种和人类活动的实时监管。其他区域为实验区,在该区域内应该依据实际情况,有计划、有目的进行相关基础设施建设以及开展科研、教学、参观、考察等活动^[57]。

重点保护区内的林地、草地具有重要的生态价值,并且是流域内敏感地区,对外界干扰的抵御能力较低,需要加强生态功能重要及敏感地区的生态保护建设,包括加强天然林的保护以及生态林和经济林的建设,以加速被毁林地修复以及林地生态环境的改善。要科学、合理地利用区域内的自然资源,确保生态环境为当地居民提供足够的生存资源,以实现人与自然和谐发展。

质量提升区以重要敏感区的部分草地、耕地为主,该区域内可以在生态环境承载力允许的情况下,适当的进行资源开发利用,同时对有害的生产生活方式要绝对避免。对于该地区的草地资源,要严格实施草畜平衡政策,指导牧民进行蓄群结构调整,要尽可能的防止其退化、沙化及盐碱化,并根据草地的分布特点及生态环境特征,进行因地制宜的分类规划保护。在该区域的耕地布局中,要大力发展节水型农业,积极发展节水技术、更改农作物结构,提高水的利用率和水的生产效率,以保护流域内的水资源,提升流域生态环境质量^[58]。

潜在威胁区以低敏感重要的建设用地与未利用地为主,零星包含周边部分草地。与其他地区相比,潜在威胁区的人类活动相对密集,生态环境较容易遭受破坏,且影响范围有向周边区域扩散的可能。在此区域内,应在生态环境承载力允许的条件下,加强控制和合理规划资源的开发利用,适度进行基础设施建设,并科学、合理的进行农业、工业发展,以减少对生态环境造成的破坏。要鼓励推进矿工企业进行规模化生产,对于效益低下、环境破坏强的小企业进行合并,加强对高污染企业的监督,避免发生环境破坏行为,同时鼓励环境修复及保护的行为^[59]。坚持生态优先、绿色发展理念,推进生态旅游产业的健康发展,打造体现当地少数民族特色文化的旅游业,在不破坏生态环境的前提下,增加当地居民的收入^[60]。

4 结论

高原湖泊是我国极为宝贵的自然资源,是影响高原地区生态环境状况的关键因素之一,具有较高的生态价值。达里湖是内蒙古典型的干旱-半干旱草原性湖泊,其流域是一个以草原农牧业和旅游业为支柱产业的特殊经济区域,具有地广人稀、生态文化浓厚、地理位置重要、少数民族聚居等特征。近十几年来,达里湖流域内生态功能退化严重,使流域内经济、社会和生态系统矛盾进一步恶化,保护与治理内蒙古高原湖泊及其流域已成为社会各界关注的重大问题。为了达到扭转内蒙古高原重要湖泊当前严重而紧迫的萎缩现状、缓解生态系统功能降低等问题、保持流域生态系统健康和完整的目标,本文针对达里湖流域开展了保护对策研究,基于生态系统敏感性及生态系统功能重要性评价结果,将达里湖流域分为禁止开发区、重点保护区、质量提升区与潜在威胁区,并根据每个区域的生态特性,制定合理的保护对策。研究有利于丰富流域生态保护的基礎理论与技术方法,可为研究区及其他同类型湖泊流域的生态保护建设提出具有可操作性的建议及对策,同时为管理者制定生态保护策略提供科学依据,对恢复生态脆弱地区的环境及资源可持续利用具有指导作用。

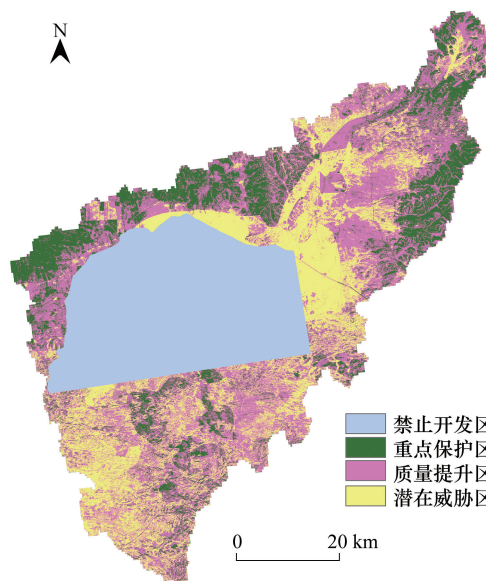


图4 达里湖流域分区图

Fig.4 Zoning result of Lake Dalinor basin

参考文献 (References):

- [1] 杨桂山, 马荣华, 张路, 姜加虎, 姚书春, 张民, 曾海鳌. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略. 湖泊科学, 2010, 22(6): 799-810.
- [2] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 姜加虎, 王苏民, 冯学智, 李爱农, 孔繁翔, 薛滨, 吴敬禄, 李世杰. 中国湖泊的数量、面积与空间分布. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(3): 394-401.
- [3] Jiang L G, Nielsen K, Andersen O B, Bauer-Gottwein P. Monitoring recent lake level variations on the Tibetan Plateau using CryoSat-2 SARIn mode data. Journal of Hydrology, 2017, 544: 109-124.
- [4] 于洋, 张民, 钱善勤, 李大命, 孔繁翔. 云贵高原湖泊水质现状及演变. 湖泊科学, 2010, 22(6): 820-828.
- [5] 姜加虎, 黄群. 青藏高原湖泊分布特征及与全国湖泊比较. 水资源保护, 2004, (6): 24-27.
- [6] 董斯扬, 薛炯, 尤全刚, 彭飞. 近 40 年青藏高原湖泊面积变化遥感分析. 湖泊科学, 2014, 26(4): 535-544.
- [7] 朱立平, 张国庆, 杨瑞敏, 刘翀, 阳坤, 乔宝晋, 韩博平. 青藏高原最近 40 年湖泊变化的主要表现与发展趋势. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1254-1263.
- [8] 李春卉, 张世涛, 叶许春. 云南高原湖泊面临的保护与开发问题. 云南地质, 2005, 24(4): 462-470.
- [9] Tao S L, Fang J Y, Zhao X, Zhao S Q, Shen H H, Hu H F, Tang Z Y, Wang Z H, Guo Q H. Rapid loss of lakes on the Mongolian Plateau. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(7): 2281-2286.
- [10] Wan W, Long D, Hong Y, Ma Y Z, Yuan Y, Xiao P F, Duan H T, Han Z Y, Gu X F. A lake data set for the Tibetan Plateau from the 1960s, 2005, and 2014. Scientific Data, 2016, 3: 160039.
- [11] Zhou Y, Dong J W, Xiao X M, Liu R G, Zou Z H, Zhao G S, Ge Q S. Continuous monitoring of lake dynamics on the Mongolian Plateau using all available Landsat imagery and Google Earth Engine. Science of the Total Environment, 2019, 689: 366-380.
- [12] Zhang G Q, Yao T D, Chen W F, Zheng G X, Shum C K, Yang K, Piao S, Sheng Y W, Yi S, Li J L, O'Reilly C M, Qi S H, Shen S S P, Zhang H B, Jia Y Y. Regional differences of lake evolution across China during 1960s—2015 and its natural and anthropogenic causes. Remote Sensing of Environment, 2019, 221: 386-404.
- [13] 曾海鳌, 吴敬禄. 蒙新高原湖泊水质状况及变化特征. 湖泊科学, 2010, 22(6): 882-887.
- [14] 肖茜, 杨昆, 洪亮. 近 30a 云贵高原湖泊表面水体面积变化遥感监测与时空分析. 湖泊科学, 2018, 30(4): 1083-1096.
- [15] Li Y K, Liao J J, Guo H D, Liu Z W, Shen G Z. Patterns and potential drivers of dramatic changes in Tibetan lakes, 1972-2010. PLoS One, 2014, 9(11): e111890.
- [16] Zhang G Q, Xie H J, Kang S C, Yi D H, Ackley S F. Monitoring lake level changes on the Tibetan Plateau using ICESat altimetry data (2003-2009). Remote Sensing of Environment, 2011, 115(7): 1733-1742.
- [17] 贺克雕, 高伟, 段昌群, 朱远高, 潘瑛, 刘嫦娥, 张唯, 杨桂英. 滇池、抚仙湖、阳宗海长期水位变化(1988-2015 年)及驱动因子. 湖泊科学, 2019, 31(5): 1379-1390.
- [18] 倪兆奎, 王圣瑞, 金相灿, 焦立新, 李跃进. 云贵高原典型湖泊富营养化演变过程及特征研究. 环境科学学报, 2011, 31(12): 2681-2689.
- [19] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [20] 朱军, 李益敏, 余艳红. 基于 GIS 的高原湖泊流域生态安全格局构建及优化研究——以星云湖流域为例. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1237-1250.
- [21] 湖泊及流域学科发展战略研究秘书组. 湖泊及流域科学学科发展历程与展望. 中国科学基金, 2003, 17(1): 8-11.
- [22] Carpenter SR, Benson BJ, Biggs R et al. Understanding regional change: a comparison of two lake districts. Bioscience, 2007, 2007(57): 323-335.
- [23] 唐国华. 鄱阳湖湿地演变、保护及管理研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- [24] Pekel J F, Cottam A, Gorelick N, Belward A S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature, 2016, 540(7633): 418-422.
- [25] Wurtsbaugh W A, Miller C, Null S E, DeRose J, Wilcock P, Hahnenberger M, Howe F, Moore J. Decline of the world's saline lakes. Nature Geoscience, 2017, 10(11): 816-821.
- [26] 于瑞雪. 近两百年来达里诺尔湖区域环境演变及对人类活动的响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [27] 魏学. 近 45a 达里诺尔湖面积演变对气候的响应. 干旱区资源与环境, 2019, 33(2): 110-115.
- [28] 李文宝, 杜蕾, 王旭阳, 杨旭, 史小红. 内蒙古达里诺尔湖水体稳定同位素空间分布特征指示的区域补给差异. 湖泊科学, 2019, 31(5): 1334-1343.

- [29] 刘晶晶, 张生, 李文宝, 史小红, 徐琼, 甄志磊. 近 2400a 以来达里诺尔湖区域环境演变及其气候响应. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1092-1101.
- [30] 杜蕾, 李畅游, 李文宝, 史小红. 达里诺尔湖水中氢、氧稳定同位素组成的空间变化特征及影响因素. 湿地科学, 2019, 17(2): 215-221.
- [31] 甄志磊. 达里诺尔湖记录的全新世 2100cal. a BP 以来流域环境和气候变化[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [32] 甄志磊, 张生, 史小红, 孙标. 基于遥感技术的达里诺尔湖湖面演化研究. 中国农村水利水电, 2013, (7): 6-9.
- [33] 内蒙古达里诺尔国家级自然保护区管理处. 内蒙古达里诺尔国家级自然保护区综合科学考察报告. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [34] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12.
- [35] 尹海伟, 徐建刚, 陈昌勇, 孔繁花. 基于 GIS 的吴江东部地区生态敏感性分析. 地理科学, 2006, 26(1): 64-69.
- [36] 张广创, 王杰, 刘东伟, 吉力力·阿不都外力. 基于 GIS 的锡尔河中游生态敏感性分析与评价. 干旱区研究, 2020, 37(2): 506-513.
- [37] 杨帆, 李纯斌, 吴静, 李怀海. 基于生态系统服务功能重要性及生态敏感性分析的生态空间分布与保护方向研究. 国土与自然资源研究, 2020, (5): 19-25.
- [38] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses-a Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture; Agriculture Handbook, 1978.
- [39] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国气候区划(初稿). 北京: 科学出版社, 1959.
- [40] 邱彭华, 徐颂军, 谢跟踪, 唐本安, 毕华, 余龙师. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析. 生态学报, 2007, 27(4): 1257-1264.
- [41] 杨月圆, 王金亮, 杨丙丰. 云南省土地生态敏感性评价. 生态学报, 2008, 28(5): 2253-2260.
- [42] 朱立晨, 王豪伟, 唐立娜. 闽三角区域生态系统服务重要性评价及其空间分布. 生态学报, 2018, 38(20): 7254-7268.
- [43] 邢莹. 锡林河流域草原生态系统服务供给与需求分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
- [44] 谢余初. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生态系统服务时空变化研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2015.
- [45] 包玉斌, 刘康, 李婷, 胡胜. 基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响——以陕西省黄河湿地自然保护区为例. 干旱区研究, 2015, 32(3): 622-629.
- [46] 王雅, 蒙古军. 黑河中游土地利用变化对生态系统服务的影响. 干旱区研究, 2017, 34(1): 200-207.
- [47] Bai Y, Ochuodho T O, Yang J. Impact of land use and climate change on water-related ecosystem services in Kentucky, USA. Ecological Indicators, 2019, 102: 51-64.
- [48] Hamon W R. Computation of direct runoff amounts from storm rainfall. International Association of Hydrological Sciences Publication, 1963, 63: 52-62.
- [49] 包玉斌, 李婷, 柳辉, 马涛, 王怀香, 刘康, 沈茜, 刘心浩. 基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化. 地理研究, 2016, 35(4): 664-676.
- [50] Zhang L, Hickel K, Dawes W R, Chiew F H S, Western A W, Briggs P R. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. Water Resources Research, 2004, 40(2): W02502.
- [51] Redhead J W, Stratford C, Sharps K, Jones J, Ziv G, Clarke D, Oliver T H, Bullock J M. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. Science of the Total Environment, 2016, 569-570: 1418-1426.
- [52] 蒋欣阳, 贾志斌, 张雪峰, 卓义, 郅迎翔. 内蒙古锡林郭勒盟景观尺度土壤保持功能的时空分布. 地球环境学报, 2018, 9(1): 64-78.
- [53] 张智杰. 基于 InVEST 模型的磴口县生态系统服务评估[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [54] 周佳宁. 内蒙古多伦县土壤侵蚀与 LUCC 的时空耦合关系研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [55] 钟莉娜, 王军. 基于 InVEST 模型评估土地整治对生境质量的影响. 农业工程学报, 2017, 33(1): 250-255.
- [56] Song S X, Liu Z F, He C Y, Lu W L. Evaluating the effects of urban expansion on natural habitat quality by coupling localized shared socioeconomic pathways and the land use scenario dynamics-urban model. Ecological Indicators, 2020, 112: 106071.
- [57] Yu E, Cui N, Quan Y, Wang C, Jia T, Wu D, Wu G. Ecological protection for natural protected areas based on landsenses ecology: a case study of Dalinor National Nature Reserve. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 27(8): 709-717.
- [58] 康绍忠, 胡英涛, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的理论创新及研究重点. 水利学报, 2004, (12): 1-7.
- [59] 傅伯杰, 陈利顶, 于秀波. 中国生态环境的新特点及其对策. 环境科学, 2000, 21(5): 104-106.
- [60] 钟林生, 马向远, 曾瑜哲. 中国生态旅游研究进展与展望. 地理科学进展, 2016, 35(6): 679-690.