

# 基于MCR模型的内蒙古鄂托克旗生态廊道构建

景艳宾, 孙旭, 刘军, 孙冬杰

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010010)

**摘要:** [目的] 构建内蒙古鄂托克旗的生态廊道, 提升生态系统质量和稳定性, 提供生物迁徙的路径, 促进不同栖息地之间的物种交流, 为鄂托克旗生态廊道建设工程的科学实施和保护生物多样性提供理论依据。[方法] 以鄂托克旗作为研究区, 利用生态敏感性评价和生态系统服务价值分析的综合结果确定生态源地, 采用最小累积阻力模型(MCR)和最小成本路径的方法, 对生态廊道进行构建研究。[结果] ①鄂托克旗生态敏感性程度较强, 极度、高度敏感区面积占全旗 41.31%, 主要分布于西北部蒙西镇和棋盘井镇交界区; ②生态系统服务价值总体状况较差, 绝大部分地区处于中低值区, 低、中值区面积占全旗 95.37%; ③构建了鄂托克旗生态廊道体系, 生态廊道与生态源地大致构成了一个环形闭合区域, 重要廊道总长 721 km, 一般廊道总长 803 km。[结论] 整体来看, 鄂托克旗生态源地分散于东西两侧, 布隆嘎查和察汗淖尔嘎查源地起到了沟通东西物质能量交流的桥梁作用, 为保证研究区整体连通性, 加强这些源地的保护显得特别重要。

**关键词:** 生态廊道; 生态敏感性; 生态系统服务价值; MCR模型; 重力模型

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2021)02-0170-08

**中图分类号:** X826

**文献参数:** 景艳宾, 孙旭, 刘军, 等. 基于 MCR 模型的内蒙古鄂托克旗生态廊道构建[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 170-177. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.023; Jing Yanbin, Sun Xu, Liu Jun, et al. Construction of ecological corridor in Etooke Banner of Inner Mongolia based on MCR model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 170-177.

## Construction of Ecological Corridor in Etooke Banner of Inner Mongolia Based on MCR Model

Jing Yanbin, Sun Xu, Liu Jun, Sun Dongjie

(College of Desert Control Science and Engineering,

Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological corridor in Etooke Banner, Inner Mongolia was constructed to improve the quality and stability of the ecosystem, and provide the path of biological migration, promote species exchange between different habitats, so as to provide a scientific basis for the implementation of ecological corridor construction project and the protection of biodiversity in Etooke Banner. [Methods] Taking Etooke Banner as the research area, the ecological source was determined by using the comprehensive results of ecological sensitivity evaluation and ecosystem service value analysis, and the minimum cumulative resistance model (MCR) and minimum cost path were used to construct the ecological corridor. [Results] ① The extreme and high sensitive ecological area of Etooke Banner, mainly distributed in the border area of Mengxi Town and Qipanjing Town in the northwest, accounted for 41.31% of whole banner. ② The overall status of ecosystem service value was in poor condition, most of the areas were in the middle and low value areas, accounted for 95.37% of whole banner. ③ The ecological corridor system was constructed, and the ecological corridor and ecological source area roughly formed a ring in the closed area, among them the total length of important corridors was 721 km, and that of general corridors was 803 km. [Conclusion] On the whole, the ecological source areas of Etooke Banner are mainly scattered on both sides of the east and west. Bulong

收稿日期: 2020-10-14

修回日期: 2020-12-04

资助项目: 内蒙古自然科学基金项目“呼包鄂榆生态功能区发挥根系持续固土力学特性的精准植被建设技术研究”(201802107-RZ1900003659)

第一作者: 景艳宾(1996—), 男(满族), 河北省秦皇岛市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与城乡规划。Email: www.2628707247@qq.com。

通讯作者: 孙旭(1964—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 副教授, 内蒙古自治区呼和浩特市人, 主要从事土地利用与城乡规划等方面的研究。Email: sunxu507@126.com。

Gacha and Chahannoer Gacha play a bridge role in the exchange of material and energy between the east and the west. In order to ensure the overall connectivity of the study area, it is particularly important to strengthen the protection of these sources.

**Keywords:** ecological corridor; ecological sensitivity; ecosystem service value; minimum cumulative resistance model (MCR); gravity model

生态廊道是指在景观生态中能串联空间分布上较为孤立和分散的斑块、呈线性或条带状分布的景观类型<sup>[1]</sup>。构建适当的生态廊道,能为物种提供迁移场所,促进自然界物质、能量和基因的流动,有利于保护生物多样性、维护区域生态安全<sup>[2]</sup>。保护生态环境、构建生态廊道,提升生态系统质量和稳定性尤为重要。国内外学者对生态廊道构建的研究大多与景观生态学或者景观生态规划等方面相联系。Knaapen<sup>[3]</sup>提出了最小累积阻力模型,进行景观格局优化的研究,国内知名学者俞孔坚<sup>[4]</sup>将其理论延伸到生态规划;Forman<sup>[5]</sup>提出了格局整体性优化理论并进行景观规划。国内对于生态廊道的研究也已取得了一定的成就,廊道的构建研究尺度多以省域<sup>[6]</sup>、市域<sup>[7]</sup>、流域<sup>[8]</sup>等相对大范围;研究理论主要以“斑块—廊道—基质”为基础<sup>[9]</sup>。鄂托克旗是典型的大陆性干旱草原气候,高原地带,降水少,多种不利的自然条件干扰着景观格局,生态环境脆弱性较为明显。鄂托克旗以牧为主,矿业较为发达,为了满足经济发展的需要,过度的矿产资源开采,致使全旗生态环境以及可利用的自然资源遭到不同程度的破坏。近年来,鄂托克旗景观格局发生了极大改变,生态环境恶化程度加剧,影响了鄂托克旗的绿色经济可持续发展。考虑到生态廊道在不同区域具有不同的特色,干旱草原荒漠区的研究也比较少,且研究多关注于大范围尺度区域。因此,本文以干旱草原气候区的鄂托克旗为研究对象,进行县域生态廊道的构建,利用生态敏感性和生态系统服务价值评价的综合结果来确定生态源地,通过最小累积阻力模型和重力模型得出重要廊道体系,以期对鄂托克旗生态文明建设提供科学指导,并为旗县范围的生态廊道后续研究提供借鉴。

## 1 研究区与数据来源

### 1.1 研究区概况

鄂托克旗是鄂尔多斯高原的重要组成部分,处于 $106^{\circ}41' - 108^{\circ}54'E, 38^{\circ}18' - 40^{\circ}11'N$ 之间,全旗面积约 $20\,368.60\text{ km}^2$ ,海拔在 $1\,009 \sim 2\,153\text{ m}$ 之间。地势分布情况为西北部高于东南部,西北部是桌子山山地,中北部为多尔奔温都尔梁地,东南部更有毛乌素沙漠。鄂托克旗夏季短促炎热,冬季漫长寒冷,常年

盛行西北风,雨量较少,蒸发量大,气候干燥。平均气温 $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量仅 $250\text{ mm}$ 。黄河流经境内西北边缘,境内有都斯图河、赤老图河。鄂托克旗土壤地带性显著,东南部广泛分布着栗钙土,根据地形特征逐渐向西北部过渡,西北地区广泛分布着灰漠土,土质差<sup>[10]</sup>。鄂托克旗是一个以汉族为主的少数民族聚居的县域,旗下辖有6个苏木、镇。2018年GDP为453.3亿元,同比增长了7%。根据产业结构来看,第一产业增加值为8.95亿元,同比增长2.1%;第二产业增加值为327.19亿元,同比增长8.7%;第三产业增加值为112亿元,同比增长2.7%。

### 1.2 数据来源

主要数据包括:分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的2018年Landsat-TM影像;高程模型GDEM 30 m数据;坡度数据是利用ArcGIS 10.2中Spatial Analyst工具从高程数据中提取出来的;土地利用和土壤基质等地理信息数据和现场调研数据,社会经济数据来源于2018年鄂托克旗县国民经济统计资料。

## 2 研究方法

### 2.1 生态源地的确定

生态源地是指具有重要生态服务功能、能够维持生态系统完整性的生态斑块<sup>[11]</sup>。生态源地维持景观生态系统结构和功能稳定性,其生态效益向周边环境扩散。本研究从生态敏感性和生态系统服务价值重要性两方面进行定量分析,提取出具有一定面积的生态重要性区域作为该研究区的生态源地。

### 2.2 生态敏感性分析

生态敏感性指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的响应程度,表征发生区域生态环境问题的难易程度和概率大小<sup>[12]</sup>。在自然状态下,各种生态过程维持着一种相对稳定的耦合关系,保证着生态系统的相对稳定,而当外界干扰超过一定限度时,这种耦合关系将被打破,将使某些生态过程失衡,导致严重的生态问题。敏感性高的区域,生态系统容易受损,应该是生态环境保护和恢复建设的重点,也是生产生活的受限或禁止的地区。

2.2.1 敏感性评价体系的建立 根据早期2002年制定的《生态功能区划暂行规程》<sup>[13]</sup>以及考虑研究区的实际生态情况,运用层次分析法来构建敏感因子评

价指标体系,选取研究区典型生态特征坡度、高程、NDVI 值、土地利用结构(表 1)以及土壤基质等 5 个

敏感因子作为指标层,综合敏感性评价作为目标层进行分析。

表 1 2018 年鄂托克旗土地利用结构

土地利用类型	耕地	林地	草地	园地	水域	建设用地	未利用地	总计
面积/hm <sup>2</sup>	15 888	132 600	1 597 304	204	15 276	20 980	254 608	2 036 860
比例/%	0.78	6.51	78.42	0.01	0.75	1.03	12.50	100

按照《城市规划 GIS 技术应用》<sup>[14]</sup>中的分级标准和参考杨姗姗<sup>[15]</sup>等的研究成果,将单个敏感性因子分

为极敏感、高敏感、中敏感、轻敏感和非敏感 5 个等级,确立鄂托克旗生态敏感性评价指标体系(见表 2)。

表 2 生态敏感性评价指标体系

评价因子	生态敏感性分级				
	极敏感	高敏感	中敏感	轻敏感	非敏感
NDVI 值	-1~0	0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.00
高程	1 950~2 153	1 700~1 950	1 500~1 700	1 240~1 500	1 009~1 240
坡度	>35	25~35	15~25	5~15	0~5
土地利用	未利用地	水域、林地	草地	耕地	建设用地
土壤基质	沙质	砾质	壤质	粘质	基岩
分级赋值	9	7	5	3	1

2.2.2 多因素加权叠加法 采用层次分析法(AHP)计算各因子的权重,建立层次结构图,两两比较单因子对生态环境的重要性,对各敏感性因子按照 5 分制进行打分。结果详见表 3。

表 3 鄂托克旗敏感因子判断矩阵及权重值

评价因子	高程	坡度	NDVI	土地利用	地表结构
高程	1	1/3	1/2	1/4	1/2
坡度	3	1	3	1/3	3
NDVI	2	1/3	1	1/4	2
土地利用	4	3	4	1	5
地表结构	2	1/3	1/2	1/5	1
权重	0.072 2	0.242 9	0.125 6	0.468 3	0.090 0

通过云算子软件计算得出矩阵最大特征根  $\lambda_{\max}=5.2083$ ,因为  $\lambda_{\max}>4$ ,需要对矩阵进行一致性检验,一致性指标  $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$ ,经计算  $CI=0.052 1$ 。通过查表可以得到矩阵的平均随机一致性指标(RI),RI 值见表 4。当  $n=5$ , $RI=1.12$ 。再计算一致性比率  $CR=CI/RI$ ,经计算  $CR=0.052 1/1.12=0.046 5$ 。所以当  $CR<0.1$  时,矩阵一致性是可以接受的。再求出最大特征根对应的特征向量,归一化处理得到单因子的重要性权重值  $W=[0.072 2, 0.242 9, 0.125 6, 0.468 3, 0.090 0]$ 。

表 4 判断矩阵 RI 值

阶数(n)	2	3	4	5	6	7	8
RI 值	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

坡度的大小直接影响土壤侵蚀和沙漠化程度,对生态敏感性起决定性作用,坡度所占权重比率大一些;高程不同,所对应的温度、气候、降水量以及土壤条件都有一定差异,本研究区桌子山高程略显突兀,比重小一点比较合理;NDVI 值不仅可以很好反映生态敏感性,还是生态系统不可或缺的自然元素,也是易被污染的环境因子,鄂托克旗以草地为主;土地是人类活动的载体,用地利用类型不同表明人类对土地和生态环境的利用程度也不同,从而导致生态敏感性的差异,所占权重比率最大;地表物质结构类型的不同,可以有效的反应区域的敏感程度高低和决定土地利用的方式差异。

运用多因素加权求和模型(公式 1)<sup>[16]</sup>,并采用自然断裂法对叠加结果进行重分类,最终确定鄂托克旗各敏感性区域。

$$S = \sum_{i=1}^n A_i W_i \quad (1)$$

式中: $i$  为评价因子编号,对应高程、坡度、NDVI 值、土壤基质和土地利用 5 个评价因子; $n$  为评价因子总数; $S$  为综合敏感性评价值; $W_i$  为第  $i$  个评价因子的权重值; $A_i$  为第  $i$  个评价因子的生态敏感值(从 1,3,5,7,9 中赋值)。

### 2.3 生态系统服务价值计算

生态系统服务涵盖人类直接或间接从生态系统得到的所有收益,是测度生态系统健康程度的关键指标。从生态系统服务功能角度出发,选取生物多样性、水土保持、固碳释氧、水源涵养 4 项功能指标,对

研究区生态系统服务功能进行定量评价,通过归一化处理与叠加分析评价综合生态系统服务功能。

在 Costanza、谢高地等<sup>[17]</sup>的研究成果的基础上,并结合鄂托克旗的土地利用数据成果与实际情况的

调研,采用 2017 年土地利用二级分类系统,通过李晓赛<sup>[18]</sup>当量因子调整和生态系统服务价值系数修正的成果,得出鄂托克旗单位面积生态系统服务价值系数表(表 5)。

表 5 鄂托克旗单位面积生态系统服务价值系数

生态系统功能	耕地	园地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
气体调节	778.54	2 928.24	1 638.42	592.62	894.74	0	127.82
气候调节	418.32	2 928.24	4 915.26	1 557.08	2 660.98	-1 615.18	116.20
净化环境	116.20	1 812.72	1 487.36	511.28	6 449.10	-3 741.64	360.22
水文调节	313.74	2 823.66	3 892.70	1 138.76	118 802.88	0	244.02
维持养分循环	139.44	1 812.72	151.06	58.10	81.34	0	11.62
土壤保持	1 196.86	3 195.50	1 998.64	720.44	1 080.66	0	151.06
生物多样性保护	151.06	3 218.74	1 824.34	650.72	2 963.10	0	139.44
食物生产	987.70	778.54	220.78	116.20	929.60	0	11.62
原料生产	464.80	1 963.78	499.66	162.68	267.26	0	34.86
水资源供给	23.24	2 823.66	255.64	92.96	9 632.98	-3 509.24	23.24
美学景观	69.72	1 313.06	801.78	290.50	2 196.18	0	58.10
总价值	4 659.62	25 598.86	17 685.64	5 891.34	145 958.82	-8 866.06	1 278.20

### 2.4 生态廊道的构建

各个生态源地之间是通过生态廊道进行连接的,生态廊道内进行能量、物质流动和信息的传递,能够大大减轻景观破碎化带来的危害。

2.4.1 生态廊道模型构建 本研究采用最小累积阻力模型(MCR)和最小成本路径的方法,对研究区进行生态廊道的研究。最小累积阻力指以生态源地为中心到达目标地,克服不同阻力景观所需做的功。根据最小累积阻力模型计算公式<sup>[19]</sup>,可计算生态源地与目标

地的最小累积阻力距离,确定潜在的生态廊道。

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \cdot R_i) \quad (2)$$

式中:MCR 为最小累积阻力值;  $D_{ij}$  为从生态源点  $j$  到空间单元  $i$  的距离;  $R_i$  为空间单元  $i$  的阻力系数。

通过参考相关文献和研究成果<sup>[20]</sup>,从土地利用现状中选取林地、耕地、其他水域、草地、河流、园地、未利用地和建设用地 8 种景观地类,再加上道路缓冲区作为阻力因子,构建阻力评价体系(表 6)。阻力取值越高表示生物迁徙过程中受到的阻力越大。

表 6 生态源地与目标地阻力因子赋值

阻力因子	林地	园地	耕地	草地	河流	其他水域	未利用地	建设用地	公路 15 m 缓冲区
阻力取值	5	10	50	30	80	50	10	200	150

运用重力模型<sup>[21]</sup>计算各生态源地之间相互作用矩阵,定量评价各源地间的相互作用程度,从而能够更为科学地判断区域内廊道的相对重要程度关系,重力模型计算公式为:

$$G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \frac{\left[ \frac{1}{P_a} \ln S_a \right] \left[ \frac{1}{P_b} \ln S_b \right]}{(L_{ab} / L_{\max})^2} = \frac{L_{\max}^2 \ln S_a \ln S_b}{L_{ab}^2 P_a P_b} \quad (3)$$

式中: $G_{ab}$  为生态源地  $a$  与  $b$  之间的相互作用程度;  $N_a$  和  $N_b$  分别是两源地的权重值;  $D_{ab}$  是  $a$  与  $b$  之间

潜在廊道阻力的标准化值;  $P_a$  为源地  $a$  的阻力值;  $S_a$  为源地  $a$  的面积;  $L_{ab}$  为源地  $a$  与  $b$  之间廊道的累积阻力值;  $L_{\max}$  为研究区中所有廊道累积阻力最大值。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态敏感性评价

在 ArcGIS 软件环境下,根据公式 1 进行叠加分析,生成综合生态敏感性分布图(图 1)。鄂托克旗综合生态敏感性评价分值介于 1.25~8.74 之间,将该指数区间分值利用自然断点法划分 5 个等级,然后重分类,并分级赋值(表 7)。

表 7 鄂托克旗生态敏感性空间面积分布估算

敏感性等级	分级标准	比重/%	面积/hm <sup>2</sup>	分级赋值
非敏感区	1.25~3.75	2.17	44 199.86	1
轻度敏感区	3.75~4.83	9.67	196 964.36	3
中度敏感区	4.83~5.98	40.85	832 057.31	5
高度敏感区	5.98~7.07	16.25	330 989.75	7
极度敏感区	7.07~8.74	31.06	632 648.72	9

鄂托克旗生态敏感性程度较强。极度敏感区域占全旗面积的 31.06%，面积达到了 632 648.72 hm<sup>2</sup>；高度敏感区域占全旗面积的 16.25%，面积为 330 989.75 hm<sup>2</sup>；非敏感区域仅仅占全旗面积的 2.17%，面积为 44 199.86 hm<sup>2</sup>。

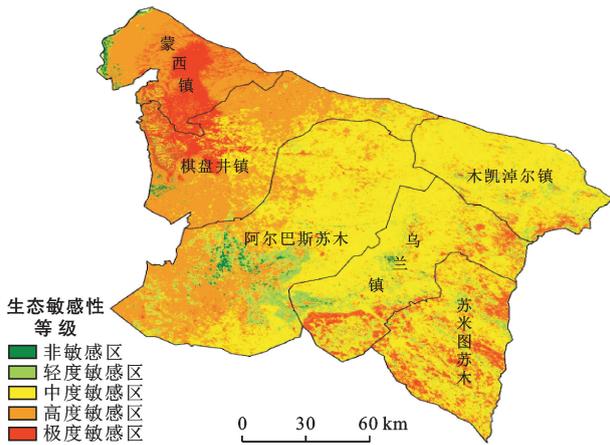


图 1 鄂托克旗生态综合敏感性分布

由图 1 可知，在旗的西北部呈现低—中—高—极敏感性递增规律，由四周向蒙西镇和棋盘井镇交界处聚拢，高程、坡度以及用地类型导致了这种现象；西南部敏感程度较低，为轻度敏感性，因为耕地，坡度、高程均较低；东南部敏感程度为高、极度敏感性，是由于沙地引起的；东北和中部，是中度敏感性，植被类型为草地，地势较平坦，壤质土壤。

### 3.2 生态服务价值评价

根据公式(2)，利用自然断点法将生态系统服务价值划分为 5 个等级：-8 866~1 278 元/hm<sup>2</sup> (极低值区)，1 278.01~4 659 元/hm<sup>2</sup> (低值区)，4 659.01~5 891 元/hm<sup>2</sup> (中值区)，5 891.01~25 598 元/hm<sup>2</sup> (高值区)，25 598~145 958 元/hm<sup>2</sup> (极高值区)(图 2)。

鄂托克旗总体状况较差，绝大部分地区处于中低值区(表 8)。低、中值区面积达 19 425.53 km<sup>2</sup>，占比重的 95.37%；部分地区处于负值状态，这是因为建设用地的生态系统服务价值是负向的；仅有少部分地区生态系统服务价值极高，面积为 6 518 hm<sup>2</sup>，占比 0.32%。

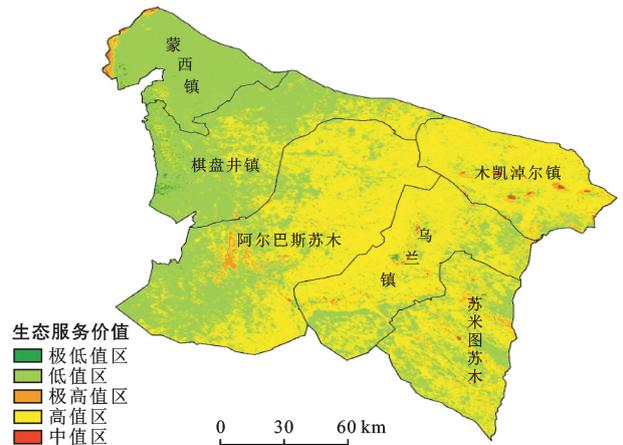


图 2 鄂托克旗生态系统服务价值分布

表 8 鄂托克旗生态服务价值评价分级

生态系统服务等级	极低值区	低值区	中值区	高值区	极高值区
面积/hm <sup>2</sup>	16 091.19	973 619.08	969 097.25	71 697.47	6 517.95
比例/%	0.79	47.80	47.57	3.52	0.32

全旗生态服务价值总体较低。高值区于东西两侧零散分布，乌兰镇周边地区高于外部地区，耕作区高于其他未利用地区，沿河地带高于周边其他地区。高值区域集中分布在乌兰镇和阿尔巴斯苏木，主要是因为这些地方是林地和水域的集中分布区域，这两种单位面积生态系统服务价值较高，且分布集中。低值区和极低值区，包括许多建设用地和废弃或停产的工矿用地，提供的生态系统服务价值较少或者不提供，还会带来负面影响。

### 3.3 生态源地的确定

对生态敏感性评价和生态系统服务价值的结果分别进行赋值(表 9)，利用 ArcGIS 10.2 软件中的空间分析功能进行等权叠加统计，得到鄂托克旗生态重要性等级分布图(图 3)。

表 9 鄂托克旗生态重要性等级划分

生态敏感性等级	生态服务价值等级	赋值	生态重要性等级
非敏感区	极低值区	1	I
轻度敏感区	低值区	3	II
中度敏感区	中值区	5	III
高度敏感区	高值区	7	IV
极度敏感区	极高值区	9	V

生态重要性等级越高，需要进行保护的迫切程度越强，I 级和 II 级为暂不需要保护的地区，V 级为优先保护地区。

生态源地的总面积为 13 468.65 hm<sup>2</sup>，零散分布

于鄂托克旗(如图 3 所示)。从 V 级区域中通过相邻斑块合并,并根据面积大小,提取出 15 个大型斑块作为生态源地,并以此为源点构建鄂托克旗生态廊道。源地主要分布在西北部的棋盘井镇和蒙西镇交界处的矿区,东部零散分布于林地和水域附近。

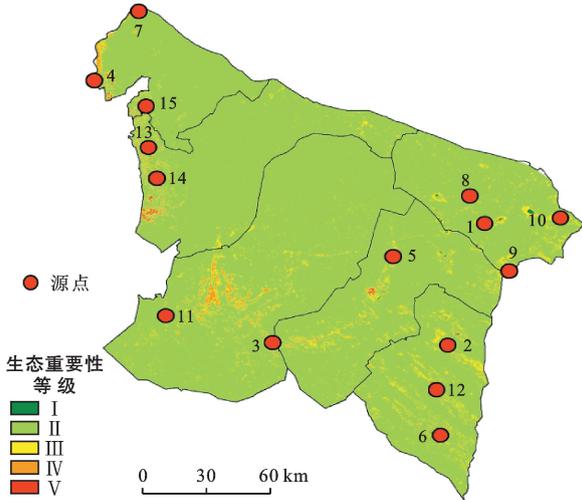


图 3 鄂托克旗生态重要性等级及源点分布

### 3.4 生态廊道的分析

根据对阻力因子分别赋值,将各阻力因子的矢量数据转换为 30 m×30 m 的栅格数据,再使用镶嵌至

新栅格工具将各阻力因子的栅格图层叠加生成阻力成本面(图 4)。

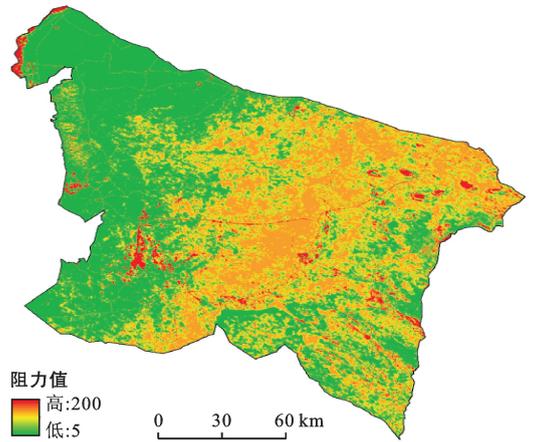


图 4 生态廊道阻力成本面分布

把阻力成本面作为 MCR 模型的成本数据,利用生态源地和阻力成本面计算每个像元到成本面上最近源地的最小累积阻力成本距离,从而生成研究区潜在生态廊道。通过公式(4),计算得到 15 个生态源地斑块间的相互作用矩阵(表 10)。重力模型结果反映出潜在廊道对生态系统的重要性,进而得到鄂托克旗重要廊道分布图(图 5)。

表 10 基于重力模型的源地间相互作用矩阵

重力值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.00	0.27	0.03	0.02	1.59	0.16	0.02	0.76	0.37	2.84	0.06	0.68	0.22	0.23	0.18
2		0.00	0.37	0.06	7.96	3.44	0.06	0.35	0.64	3.26	0.54	37.13	0.84	0.96	0.62
3			0.00	0.22	5.50	2.39	0.22	0.23	0.21	1.82	5.25	8.94	4.11	5.16	2.69
4				0.00	0.48	0.10	1.14	0.06	0.02	0.30	0.32	0.32	5.10	3.41	9.04
5					0.00	4.39	0.55	3.21	3.18	16.60	2.59	20.34	7.53	8.50	5.70
6						0.00	0.10	0.27	0.34	2.55	0.88	77.22	1.37	1.56	1.01
7							0.00	0.06	0.02	0.31	0.29	0.30	4.39	3.00	7.39
8								0.00	0.33	3.67	0.17	1.07	0.65	0.68	0.54
9									0.00	4.35	0.09	1.41	0.25	0.26	0.20
10										0.00	1.00	10.00	3.01	3.11	2.52
11											0.00	2.90	7.16	10.02	4.30
12												0.00	4.57	5.23	3.34
13													0.00	558.19	332.90
14														0.00	118.35
15															0.00

注:1—15 分别代表 15 个源地。1 巴音淖尔,2 查汗敖包,3 布隆嘎查,4 渠畔村,5 察汗淖尔,6 斯布扣嘎,7 伊克布拉,8 水泉子村,9 乌审召嘎,10 旧庙湾村,11 马新布拉,12 巴音布拉,13 卡布奇办事处,14 乌仁都喜,15 巴音温都尔。

15,14 和 13 三个生态源地之间重力值最大,相互关系最为强烈,源地之间物质能量的交流和传播更为简单,生态廊道建成的必要性最大,须加强这些源地的保护工作,避免遭到破坏;源地 12 与源地 5 和源地 6 的重力值较大,对于源地 12 加以保护,保证源地中

转枢纽作用的发挥;源地 1,4,7,8,9 与其他源地之间的关联性较为弱,物质能量的交流和传播稍为困难,但是由于源地 5 和 10 位于它们的周围,生态廊道的构建以源地 5 和 10 为中心,就能够连接起鄂托克旗所有的迁徙路径。

整体来看,鄂托克旗生态源地主要呈现东西两侧,布隆嘎查和察汗淖尔嘎查源地起到了沟通东西物质能量交流的桥梁作用,为保证研究区生态源地的整体连通性,加强对这两片源地的保护显得特别重要,保护好这些源地有利于研究区东西区域之间的物种迁移,对研究区整体生态廊道的构建具有重要意义。

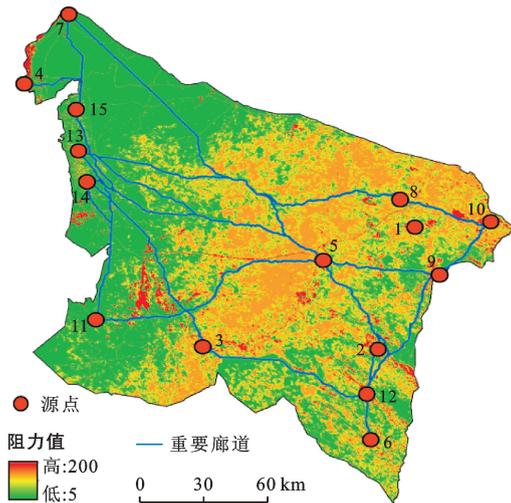


图5 鄂托克旗重要生态廊道分布

本研究鄂托克旗生态源地一共15处,源地15-13-14之间的相互作用最大;源地5-2-12-6之间的关联度次之,12-3-14和14-5-10之间的生态廊道的构建最为重要,保护好这两条廊道有利于研究区东西区域之间的贯穿,对研究区整体生态廊道的构建具有重要意义。生态源地12,5,13,3,10的保护必须加强,且生态源地5和3尤为重要,是连接东西的必经之地。为了合理有效的建成生态廊道,减少廊道建设的成本,最终构建了鄂托克旗包括4条重要廊道和4条一般廊道在内的生态廊道体系(图5),总长1524 km,其中重要廊道为4条,分别为15-13-14,5-2-12-6,12-3-14,14-5-10,共721 km。一般廊道分别为14-11,7-15-4,8-10-9-5和11-5-9-10,共803 km。对于源地5与3,在未来规划建设时需要重点把控,同时在建成之后也需要采取严格的措施进行保护。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

当前关于干旱区草原县域生态敏感性分析研究较少,本研究采用的层次分析法确定的权重,主观性太强,且研究选取的评价指标体系不尽全面,与甘琳等人<sup>[22]</sup>研究相比,缺少城市扩张和服务等评价因子。生态服务价值分析,只考虑18a的具体情况,和吴海珍等<sup>[23]</sup>研究相比,生态服务价值可信度较低,应该取

取多年均值。与前期研究成果<sup>[24]</sup>相比,本研究以生态敏感性和生态系统服务价值综合结果定量确定生态源地,在方法上避免了主观干扰,再结合鄂托克旗乡镇级矢量数据,准确指出生态源地的所在位置,对于保护和管理更加具有针对性。在构建阻力成本面时并没有对特定物种进行针对性的景观阻力赋值,生成的廊道路径可能不适合部分生物种群。此外,在生态廊道的规划设计中,不仅要考虑廊道的长度和宽度,还要注意廊道内的土地利用类型是否满足国土部门的相关规定,这就给施工建设带来了不确定性,缺少相关研究,下一阶段,本研究会加大对鄂托克旗生物资料、国土部门相关规定等资料收集和分析,进一步深入对廊道建设合理性研究。本文初步对鄂托克旗生态廊道体系进行构建,对生态文明建设具有一定的指导意义。为了更好地提升县域生态系统的稳定性和生态廊道在未来实际建设中可行性较大。

### 4.2 结论

(1) 鄂托克旗生态敏感性较高,全旗敏感程度呈现为中度以上敏感性,极度敏感区分布在东南部和西北部,占全旗面积比重41.31%;鄂托克旗生态系统服务价值总体状况较差,绝大部分地区处于中低值区,占全旗面积95.37%。

(2) 生态源地的面积为13468.65 hm<sup>2</sup>,生态源地零散分布在鄂托克旗旗的东西两侧,西北部分布于棋盘井镇的环境优良的矿区,东部零散分布于林地和水域附近。

(3) 最终构建起包括4条重要廊道和4条一般廊道的生态廊道体系,生态廊道与生态源地大致构成了一个环形闭合区域。重要廊道为4条,分别为15-13-14,5-2-12-6,12-3-14,14-5-10,共721 km。一般廊道分别为14-11,7-15-4,8-10-9-5和11-5-9-10,共803 km。

(4) 综合全区核心型生态源地、生态廊道以及生态建设规划的空间布局,考虑自然本底特征,对于布隆嘎查和察汗淖尔嘎查源地,在未来规划建设时需要重点把控,同时在建成之后也需要采取严格的措施进行保护。

### [参考文献]

- [1] 韩世豪,梅艳国,叶持跃,等.基于最小累积阻力模型的福建省南平市延平区生态安全格局构建[J].水土保持通报,2019,39(2):192-198,205.
- [2] 郑好,高吉喜,谢高地,等.生态廊道[J].生态与农村环境学报,2019,35(2):137-144.
- [3] Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. Landscape & Urban Planning, 1992, 23(1):1-16.

- [4] 俞孔坚.生物保护的景观生态安全格局[J].生态学报, 1999,19(1):3-5.
- [5] Forman R. Land Mosaics: The ecology of the landscapes and regions [J]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [6] 梁鑫源,金晓斌,朱凤武,等.长江中下游平原区生态保护红线的划定:以江苏省为例[J].生态学报,2020,40(17):5968-5979.
- [7] 冯琰玮,甄江红,马晨阳.干旱区城市生态安全格局优化研究:以内蒙古呼和浩特市为例[J].水土保持研究,2020,27(4):336-341.
- [8] 杨亮洁,王晶,魏伟,等.干旱内陆河流域生态安全格局的构建及优化:以石羊河流域为例[J].生态学报,2020,40(17):5915-5927.
- [9] 朱凤武,金志丰,沈春竹,等.县域土地生态空间管控红线划定的方法研究:以江苏省金坛区为例[J].中国土地科学,2017,31(11):25-31.
- [10] 孙洁,王强民,刘基.鄂尔多斯高原西部潜在蒸散发量变化规律研究:以鄂托克旗为例[J].灌溉排水学报,2018,37(11):84-90.
- [11] 韩世豪,梅艳国,叶持跃,等.基于最小累积阻力模型的福建省南平市延平区生态安全格局构建[J].水土保持通报,2019,39(2):192-198,205.
- [12] 苏溥雅,齐实,梁斌,等.西北五省生态敏感性分析[J].甘肃农业大学学报,2019,54(2):171-179.
- [13] 赵俊杰.国家环保总局发布《生态功能区划暂行规程》[J].中国经贸导刊,2002(19):41.
- [14] 牛强.城市规划 GIS 技术应用指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [15] 杨姗姗,邹长新,沈渭寿,等.基于生态红线划分的生态安全格局构建:以江西省为例[J].生态学杂志,2016,35(1):250-258.
- [16] 陈志芬.面向贵州省南部新城规划的生态敏感性评价[J].生态科学,2017,36(2):113-118.
- [17] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.
- [18] 李晓赛.县域尺度生态系统服务价值动态评估研究[D].河北保定:河北农业大学,2015.
- [19] 潘竟虎,刘晓.疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J].生态学杂志,2016,35(3):791-799.
- [20] 古璠,黄义雄,陈传明,等.福建省自然保护区生态网络的构建与优化[J].应用生态学报,2017,28(3):1013-1020.
- [21] 史娜娜,韩煜,王琦,等.青海省保护地生态网络构建与优化[J].生态学杂志,2018,37(6):1910-1916.
- [22] 甘琳,陈颖彪,吴志峰,等.近20年粤港澳大湾区生态敏感性变化[J].生态学杂志,2018,37(8):2453-2462.
- [23] 吴海珍,阿如早,郭田保,等.基于RS和GIS的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理科学,2011,31(1):110-116.
- [24] 杜世勋,荣月静.山西省生态安全格局空间识别研究[J].水土保持研究,2017,24(6):147-153,2.

(上接第134页)

- [10] Neville J C, Hancock P J, Murray B P, et al. Groundwater-dependent ecosystems and the dangers of groundwater overdraft: A review and an Australian perspective [J]. Pacific Conservation Biology, 2010,16(3):187-208.
- [11] 狄胜同,贾超,张少鹏,等.华北平原鲁北地区地下水超采导致地面沉降区域特征及演化趋势预测[J].地质学报,2020,94(5):1638-1654.
- [12] 黄金廷,崔旭东,王冬,等.格尔木河流域地下水生态功能及经济损益阈值解析[J].干旱区地理,2019,42(2):263-270.
- [13] 魏钦罗.浅析井电双控管理地下水资源[J].陕西水利,2020(4):122-123.
- [14] 李芸,李宝芬,杨秋萍.滇中地区地下水监测站网分析[J].水文,2017,37(5):79-83.
- [15] 徐东斌.浅析乌鲁木齐市国家地下水监测井网建设[J].新疆水利,2017(4):14-17.
- [16] 中华人民共和国水利部.GB/T 51040-2014 地下水监测工程技术规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [17] 陈崇希,林敏.地下水动力学[M].北京:地质出版社,2011.
- [18] Song Yanxun, Yuan Fang, Hui Qian, et al. Research and application of groundwater numerical simulation: A case study in Balasu water source [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011(8):146-152.
- [19] Katpatal Y B, Pophare A M, Lamsoge B R. A groundwater flow model for overexploited basaltic aquifer and Bazada formation in India [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72(11):4413-4425.
- [20] 罗建男,李多强,范越,等.某垃圾填埋场地下水水质监测井网优化设计:基于模拟优化法[J].中国环境科学,2019,39(1):196-202.
- [21] 屈泽伟,张翼龙,王贵玲,等.内蒙古呼和浩特市承压地下水水位监测网优化[J].地球学报,2013,34(2):223-228.
- [22] 董殿伟,林沛,晏婴,等.北京平原地下水水位监测网优化[J].水文地质工程地质,2007,34(1):10-19.
- [23] 余楚,张翼龙,孟瑞芳,等.河套平原浅层地下水动态监测网优化设计[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45(4):1173-1179.
- [24] Wang X Y, Cui X D, Ma H Y, et al. The optimization of groundwater dynamic monitoring network: An example of the North Ordos basin [J]. Advanced Materials Research, 2012, 518/523:4057-4061.