

基于景观连通性的怀来县未利用地开发建设适宜性评价*

贺文龙¹ 殷守强¹ 门明新^{1,2**} 张利¹

(1. 河北农业大学国土资源学院 保定 071000; 2. 河北保定生态文明研究院 保定 071000)

摘要 未利用地开发为建设用地是破解建设用地空间不足的重要途径,同时未利用地在维护景观生态环境方面发挥着巨大作用,实现对未利用地资源的合理开发,就需要处理好开发与保护之间的关系,降低未利用地开发建设过程中对景观生态造成的不利影响。本文以冀西北间山盆地的河北省怀来县为例,引入最小累积阻力模型,选取工程地质条件、地形地貌条件、区位因素条件、自然生态条件4个方面指标构建阻力面,并通过构建潜在雨水生态廊道和生态节点对未利用地开发建设适宜性评价结果进行优化。结果表明:1)基于最小累积阻力模型对未利用地进行建设适宜性评价,突出了已有城镇建设用地的作用,评价结果呈现集中分布的特点,有利于今后的规模开发利用。2)根据评价结果将研究区划分为适宜扩展区、较适宜扩展区、限制扩展区和禁止扩展区,面积分别为17 064.67 hm²、20 468.30 hm²、9 723.66 hm²和7 993.82 hm²。由此可见,怀来县未利用地开发为建设用地的潜力较大。3)将开发建设适宜性评价结果与潜在雨水生态廊道、生态节点进行叠加,打破了适宜性扩展区集中连片的扩展格局,有效地保障了区域景观生态的连通性。本研究丰富了山地丘陵区未利用地建设适宜性评价的内涵,可为科学合理利用未利用地资源提供技术支撑。

关键词 未利用地 建设用地 最小累积阻力模型 景观连通性 适宜性评价 怀来县
中图分类号: F301.24 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2016)07-0969-09

Suitability evaluation of unused land as construction land in Huailai based on landscape connectivity theory*

HE Wenlong¹, YIN Shouqiang¹, MEN Mingxin^{1,2**}, ZHANG Li¹

(1. College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

2. Baoding Academy of Ecological Civilization in Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract It is important to exploit unused land as construction lands under the shortage of construction land space. At the same time, unused land is critical for protecting the ecological environment landscape and easing land supply. To realize rational exploitation of unused land resources, the relationship between exploitation and protection must be properly handled and reduce adverse impacts on landscape ecology during the exploitation and construction of unused lands. Taking Huailai County, a basin in the northwest of Hebei Province as a case study, this research introduced the minimum cumulative resistance (MCR) model, selected 4 groups of indexes (engineering geology, topography, location factors and natural ecosystem) to build resistance surface to evaluate the suitability of unused lands for exploitation and construction. The evaluation result was optimized by established potential rainwater ecological corridors and ecological nodes. The results showed that: 1) the evaluation of suitability for construction of unused lands based on the MCR model emphasized functions of the existing town construction land. The evaluation results showed centralized distribution characters which was beneficial for later exploitation and utilization. 2) According to the evaluation results, the research area was divided into suitable expansion zone, hypo-suitable expansion zone, restrictive expansion zone and prohibitive expansion zone. The respective areas of the zones were 17 064.67 hm², 20 468.30 hm², 9 723.66 hm² and 7 993.82 hm², showing that

* 国土资源部公益性行业科研专项(201311060)和“河北省典型地区未利用地调查与多宜性评价及利用对策”(2014995161)资助

** 通讯作者: 门明新, 主要研究方向为土地资源规划与利用保护。E-mail: menmingx@163.com

贺文龙, 主要从事土地信息与技术的研究。E-mail: 252354092@qq.com

收稿日期: 2015-11-27 接受日期: 2016-03-22

* This study was supported by the Special Fund for Land-scientific Research in the Public Interest (201311060) and “Investigation Evaluation and Utilization Strategy of Unused Land in the Typical Areas in Hebei Province” (2014995161).

** Corresponding author, E-mail: menmingx@163.com

Received Nov. 27, 2015; accepted Mar. 22, 2016

unused lands in Huailai County had the larger potential for development into construction land. The suitable expansion zone and hypo-suitable expansion zone were distributed mainly in the surroundings of county town and the peripheral of Guanting Reservoir. The regions above had more stable ecological conditions, lower development costs and more convenient traffic conditions, therefore had high potential for future exploitation. The restrictive expansion zone was mainly distributed in the peripheral of the hypo-suitable expansion zone and its engineering geological environment was relatively poor with slopes and the undulating terrain. The ecological environment was also more fragile and rarely influenced by human interference. The prohibitive expansion zone was mainly distributed in the northern and southern mountain regions with poor engineering geological conditions. Its ecological environment was so fragile that it was difficult to recover after destruction, thus the region was not suitable for development into construction lands. 3) In the study, the rainwater ecological corridors and ecological nodes were set as prohibitive expansion zone, and combined with the evaluation results to optimize the regionalization of unused land exploitation suitability. This was beneficial for alleviation of environment stress due to exploitation of unused land. This study further enriched the connotation of suitability evaluation of unused land construction in hilly and mountainous areas, and provided technical support for scientific and reasonable use of regional unused land resources.

Keywords Unused land; Construction land; Minimum cumulative resistance model; Landscape connectivity; Suitability evaluation; Huailai County

近些年来,随着工业化、城镇化和农业现代化不断加快推进,建设用地刚性需求不断上升,土地资源的刚性约束进一步明显,导致资源与环境的矛盾日趋严峻,不合理的土地利用现象频繁出现。随着京津冀协同发展的进程加快,河北省怀来县作为紧邻北京的县区之一,一直以来积极主动服务北京,在京怀两地对接合作,疏解北京城市功能等方面发挥着巨大的作用,故对土地的需求,尤其是建设用地的需求持续上升。如何充分利用区域资源禀赋优势,处理好经济发展与资源环境之间的矛盾,将是怀来县今后亟待解决的问题。

土地及其适宜性评价研究一直是学术界研究的重点课题^[1],目前基于建设用地适宜性评价的对象呈现多样化的态势,如从开始的仅对城乡用地拓展到了低丘缓坡以及未利用地的研究。如黄丽明等^[2]对广州市花都区城镇建设用地进行了适宜性评价研究,姚玉镯^[3]对低丘缓坡土地资源进行了适宜性评价研究,白杨等^[4]对山东省低丘缓坡荒滩等未利用地开发建设适宜性评价进行了研究。评价指标的选取上,主要涉及工程地质、社会经济以及生态环境等要素^[5-7];而评价方法的选择上主要有:直接叠加法^[8]、加权指数和法^[9]、模糊综合评价法^[10]、神经网络法等^[11]。而这些方法基本都延续了 Ian Lennox McHarg 的“千层饼”分析方式,即将各评价因子进行叠加,强调土地评价单元的垂直过程,而忽略了其水平过程^[12]。最小累积阻力模型最初被用于物种扩散过程的研究,近些年来该模型已应用到了确定生态安全格局^[13-15]及格局优化^[16]、模拟城市土地的演变过程^[17]。尽管最小累积阻力模型有其自身优越性,但是将其应用于适宜性评价时,评价的分区呈现出

依次包围扩展源,分布形式较为固定,会出现“摊大饼”的分区格局,这与当前所倡导的城市发展格局不相符。

本文在总结前人研究优缺点的基础上,以河北省怀来县为例,利用最小累积阻力模型,将已有城镇建设用地作为“源”地,选择工程地质条件^[18]、地形地貌条件、区位因素条件^[19]、自然生态条件^[20] 4 个方面的因素作为“阻力面”,从而确定建设用地适宜性分区。考虑到研究区地形复杂多样,生物种类较丰富,所以注重了对其生物多样性的保护,而基于最小累积阻力模型确定的适宜性评价区域通常呈现集中连片分布的趋势,导致景观之间原有的连通性遭到破坏,对区域生物觅食、迁徙、甚至繁衍有重要的影响。所以本文最后利用 ArcGIS 9.3 的水文分析扩展模块,提取河流水平径流方向以及河网汇流区,并利用 Strahler 分级方法对河网进行分级,依据不同级别设定一定宽度的缓冲区,从而确定出区域的潜在雨水生态廊道,并将生态廊道的交汇点设定为生态节点,将潜在雨水生态廊道和生态节点确定为禁止扩展区,有效解决最小累积阻力模型所划定的适宜性分区带来的弊端,优化适宜性评价结果,保证开发时既充分利用了怀来县的未利用地资源,同时也维护了区域的生态环境。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区域概况

怀来县地处冀西北间山盆地东部,境内南北群山起伏,中间有官厅水库,形成两山夹一川的地形,平均海拔 792 m,属怀延盆地。地理坐标为 115°16′~115°58′E, 40°04′~40°35′N,东与北京市延庆县、昌平

县、门头沟区接壤，西与河北省张家口市下花园区、涿鹿县交界。近些年怀来县依托毗邻北京的优势条件，携资源丰富之优势，全县各领域得到了迅速发展。区内土地资源丰富，未利用地资源面积为 55 250.45 hm²，占全县土地总面积的 31.43%；其中，其他草地的面积为 45 519.81 hm²，内陆滩涂面积为 7 613.1 hm²，裸地面积为 2 099.15 hm²，沙地面积为 18.38 hm²。根据野外实地调查，部分未利用地具备开发为建设用地的条件，从而可以弥补怀来县经济迅速发展对建设用地的需求。

1.2 数据来源

本研究采用的主要数据包括从地理空间数据云获取的空间分辨率为 30 m 的 TM 影像(成像时间为 2014 年 8 月)、DEM 数据、各区域年降水量数据、

地质灾害数据和通过野外调查获取的地基数据，其他数据来源于 2014 年度《怀来县国民经济和社会发展统计年鉴》。在数据处理过程中，坐标系统统一转化为 GCS_Xian_1980 坐标系，投影设置为 Gauss_Kruger，空间分辨率为 30 m×30 m。

2 研究方法

2.1 阻力面的构建

本文在构建阻力面时采用“综合加权指数和法”，指标的选择参考中华人民共和国住房和城乡建设部颁布的《城乡用地评定标准》以及相关文献，从 4 个方面选取指标构建阻力面，分别为：工程地质条件、地形地貌条件、区位因素条件和自然生态条件。各指标权重通过层次分析法确定(表 1)。

表 1 怀来县未利用地开发建设适宜性评价因子阻力值以及权重

Table 1 The minimum cumulative resistances and weights of development and construction suitability evaluation factors for unused land in Huailai County

一级指标(权重) First level index (weight)	二级指标(权重) Second level index (weight)	阻力系数等级划分 Resistance value classification				
		1	3	5	7	9
工程地质条件(0.30) Engineering geological conditions	地基承载力(0.41) Ground bearing capacity (kPa)	400~450	350~400	300~350	—	—
	地质灾害(0.35) Susceptibility of geological hazard	低易发区 Low	中易发区 Medium	高易发区 High	—	—
	与断裂带距离(0.24) Distance from the fault zone (m)	>3 200	2 400~3 200	1 600~2 400	800~1 600	0~800
地形地貌条件(0.18) Topographical conditions	坡向(0.3) Aspect	南向 South	东南/西南向 Southeast/ southwest	东/西向 East/west	东北/西北向 Northeast/ northwest	北向 North
	坡度(0.4) Gradient	0~2°	2~6°	6~15°	15~25°	>25°
	地形起伏度(0.3) Relief amplitude (m)	0~30	30~60	60~90	90~120	>120
区位因素条件(0.25) Locational factors	人口密度(0.3) Population density (person·hm ⁻²)	16	12~16	8~12	4~8	0~4
	交通通达度(0.4) Traffic access degree (m)	300	300~600	600~900	900~1 200	>1 200
	与河流距离(0.3) Distance from rive (m)	>2 000	1 500~2 000	1 000~1 500	500~1 000	0~500
自然生态条件(0.27) Natural ecological conditions	植被覆盖度(0.6) Vegetation coverage rate (%)	>60	45~60	30~45	15~30	0~15
	水土流失强度(0.4) Soil erosion intensity	轻度 Light	中度 Medium	强度 Strong	极强度 Very strong	剧烈 Sever

2.1.1 工程地质条件

工程地质条件主要包括地基承载力、地质灾害、与断裂带的距离 3 个方面。工程地质条件对未利用地是否可以作为建设用地有直接影响。地基承载力直接影响地表建筑物的稳定性、施工难易程度及造价的高低；怀来县地处山地丘陵区，地质灾害是影响建设的重要因素，其主要地质灾害为滑坡、泥石流；断裂带附近地质活动较频繁，会引发地震等灾害，影响建设用地的选址。具体工程地质条件的划分见表 1。

2.1.2 地形地貌条件

地形地貌主要包括坡度、坡向以及地形起伏度，

由于研究区地形复杂多样，使得地面和地下的环境条件有很大差异，区域位置的不同，其光照、热量、水分和空气的流动等都会有明显差别，形成地区性的小气候，进而影响建设用地的开发利用。坡度的大小直接影响用地的布局、道路的选线和建筑的布置；坡向指坡地的朝向，一般分为东、西、南、北 4 个坡向，或者为东、西、南、北、东北、东南、西北和西南 8 个坡向，在山地丘陵区建设用地开发过程中，应根据建设的实际要求，选择合理的朝向；地形起伏度反映了地表高低起伏的状况，反映地面相对高差。具体地形地貌条件的划分见表 1。

2.1.3 区位因素条件

区位因素主要包括人口密度、交通通达度、与河流距离 3 个方面。其中, 区域人口密度越高, 对建设用地的需求量则越大, 为建设用地开发提供了可能; 交通状况的好坏对出行有较大影响, 是建设用地选址考虑的重要因素; 河流是影响人类生存的一个重要影响因素, 实践表明, 建设用地建在水源附近, 人们的生产生活会对河流产生很大的影响, 甚至会导致河流的污染, 而怀来县主要的水域是官厅水库, 官厅水库是当地以及北京生活用水的重要来源, 所以应对区域河流进行合理保护, 根据距离河流的远近, 从而对阻力值进行设置。具体区位因素条件的划分见表 1。

2.1.4 自然生态条件

自然生态条件主要包括植被覆盖度和水土流失强度, 植被覆盖度反映了研究区域的物种丰富程度, 区域植被覆盖度越高则对区域的生态环境越有利, 越适宜生存, 借助 ENVI 4.7 软件和公式(1), 进行波段计算, 从而求得 NDVI 值, 之后利用公式(2), 求得评价区域的植被覆盖度^[21-22]:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (1)$$

$$F = \frac{(NDVI - NDVI_{\min}) \times 100\%}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (2)$$

式中: F 为植被覆盖度; $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ 分别代表最大、最小的归一化植被指数值。水土流失强度是通过降水、坡度以及地表物质构成并参考 USLE 方法综合确定的, 水土流失会对建筑物造成一定的冲刷, 冲毁土地, 同时会给区域生态环境造成一定影响。具体自然生态条件的划分见表 1。

2.2 最小累积阻力模型概述

最小累积阻力模型在分析景观安全格局时, 能较好地反映景观中生物物种、营养等物质和能量从源地到目的地潜在的运动可能性和趋向性。因为每个单元上的阻力值反映水平生态过程的阻力大小, 产生类似于具有不同地形的地表效果, 物质和能量正是需要克服这些阻力实现空间流动^[23]。故本文将其引入未利用地开发建设适宜性评价上, 将建设用地作为扩展“源”, 土地的空间异质性导致建设用地对外扩展中, 克服一定的阻力而所消耗的费用, 主要包括工程地质、地形地貌、区位因素、自然生态 4 个方面的费用。计算公式如下:

$$MCR = f \min \left(\sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \right) \quad (3)$$

式中: MCR 为建设用地克服的最小累积阻力值, f 为最小累积阻力与生态过程的正相关关系, D_{ij} 为从源 j 到景观单元 i 的空间距离, R_i 为景观单元 i 对运动过程的阻力系数。

2.3 潜在雨水生态廊道下的建设适宜性评价区域的优化

2.3.1 基于水文分析扩展模块的潜在雨水生态廊道和生态节点的确定

为有效解决建设适宜性评价结果“摊大饼”的格局, 本文提出通过潜在雨水生态廊道和生态节点对评价结果进行有益修正, 从而保证了景观之间的连通性。潜在雨水生态廊道和生态节点在防止水土流失、满足动物迁徙以及保证景观连通度方面发挥着重要的作用, 对于潜在雨水生态廊道和生态节点的确定, 本文主要以 DEM 数据作为基础数据, 利用 ArcGIS 提供的水文分析模块, 建立地表水的水平运动模型, 得到研究区的无洼地 DEM 数据、流向数据、汇流累积量数据和水流长度数据, 最终确定出区域的河网数据, 并采用 Strahler 方法对河网进行分级, 将分级结果进行筛选, 对于生态廊道的宽度参考相关研究^[24], 最终确定为一级廊道宽度为 50 m, 二级生态廊道宽度为 30 m, 三级生态廊道宽度为 10 m。

1) 一级潜在雨水生态廊道: 基于确定的河网分级结果, 将一级河网确定为一级潜在雨水生态廊道, 主生态廊道的宽度为 50 m, 并在两侧设定 150 m 的缓冲区, 一级潜在生态廊道主要分布在官厅水库的周围, 官厅水库作为怀来县生产和生活用水的重要来源, 所以应对水库周围进行特殊保护, 建立一定宽度的生态廊道, 从而维护水库周围的生态稳定性。

2) 二级潜在雨水生态廊道: 将二、三级河网进行合并, 作为二级潜在雨水生态廊道, 设定主生态廊道的宽度为 30 m, 并在两侧设定 100 m 的缓冲区, 二级生态廊道主要是保障动物迁徙的通道, 保障水生生物的物种多样性, 防止山洪淤积以及防止水土流失。

3) 三级潜在雨水生态廊道: 将四、五级河网进行合并, 作为三级潜在雨水生态廊道, 设定主生态廊道的宽度为 10 m, 并在两侧设定 50 m 的缓冲区, 三级生态廊道的主要作用是满足更小的动物迁徙以及将各个区域的雨水汇集到二级生态廊道。

根据已确定的生态廊道, 将生态廊道的交汇点, 确定为生态节点, 与生态廊道相比, 生态节点受到破坏后, 其导致的后果会更加严重, 因为生态节点

遭到破坏后，生态廊道之间的连通性会受到影响，使其不能发挥其应有的效用。潜在雨水生态廊道和生态节点见图 2a。

2.3.2 建设适宜性评价结果优化

将确定的未利用地开发建设适宜性评价结果与潜在雨水生态廊道、生态节点的结果进行叠加，同时，为突出评价结果对于生态环境的保护，将确定的潜在雨水生态廊道和生态节点定义为禁止扩展区，最终实现了对建设适宜性评价结果的优化，有效解决了未利用地开发与保护之间的关系。

3 结果与分析

3.1 适宜性分区分析

通过 4 类阻力因子构建好的综合阻力面(图 1a)，利用 ArcGIS 的 Cost Distance 模块，计算出研究区的最小累积阻力面。把最小累积阻力面根据自然断点法(Natural Breaks)重新分成 4 个等级，分别为适宜扩展区、较适宜扩展区、限制扩展区和禁止扩展区^[3]。怀来县未利用地的建设适宜性分级标准见表 2，分区结果见图 1b，各个乡镇适宜性统计结果见表 3。

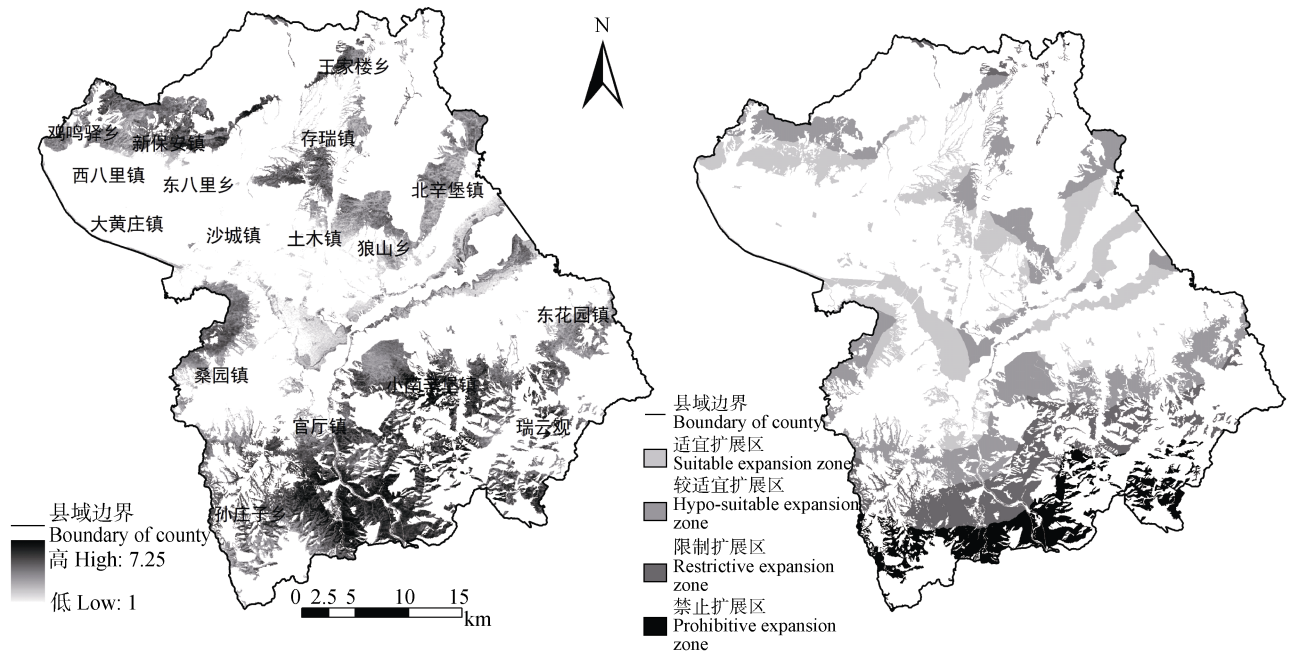


图 1 怀来县未利用地开发建设综合阻力面(a)和开发建设适宜性分区(b)

Fig. 1 Comprehensive resistance surface of unused land development and construction (a), and development and construction suitability regionalization (b) in Huailai County

表 2 怀来县未利用地开发建设适宜性评价分级标准
Table 2 Grading standard for development and construction suitability evaluation results for unused land in Huailai County

适宜性等级 Suitability level	等级说明 Level description	最小累积阻力值的范围 Range of minimum cumulative resistance value
适宜扩展区 Suitable expansion zone	重点开发建设 Key exploit region	(0~18 243.56]
较适宜扩展区 Hypo-suitable expansion zone	优化开发建设 Optimized exploit region	(18 243.56~36 487.13]
限制扩展区 Restrictive expansion zone	有选择性地开发建设 Selective development and construction	(36 487.13~58 826.19]
禁止扩展区 Prohibitive expansion zone	不作建设用地 Not as construction land	(58 826.19~95 313.32)

1)适宜扩展区: 适宜扩展区的 MCR 值范围为 0~18 243.56, 面积为 17 064.67hm², 占怀来县未利

用地总面积 30.89%, 主要分布在官厅镇、桑园镇、东八里乡以及小南辛堡镇。适宜性扩展区分布在源地周围, 但并非按照等距离分布在源地周围, 主要分布在县城周围以及官厅水库的外围区域, 其主要原因是县城周围的地形状况差异较小, 且区位条件较好, 可以依靠区域的社会、经济、人口以及基础设施条件; 而官厅水库外围区域, 因其地处河川平原, 地势较平坦, 其自然条件因素十分适合作为建设用地, 且其四周被各个乡镇所包围, 具备一定的社会经济基础条件。故此区域适合开发为建设用地, 从而充分发挥土地的经济效益。

2)较适宜扩展区: 较适宜扩展区的 MCR 值范围为 18 243.56~36 487.13, 面积为 20 468.30 hm², 占怀来县未利用地总面积的 37.05%, 主要分布在官厅镇、瑞云观镇、孙庄子乡以及鸡鸣驿乡。较适宜扩

表 3 怀来县未利用地开发建设适宜性等别空间分布状况
Table 3 Spatial distribution of each unused land development and construction suitability level in Huailai County

乡镇名称 Town	适宜扩展区		较适宜扩展		限制扩展区		禁止扩展区	
	Suitable expansion zone		Hypo-suitable expansion zone		Restrictive expansion zone		Prohibitive expansion zone	
	面积 Area (hm ²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm ²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm ²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm ²)	比例 Proportion (%)
沙城镇 Shacheng	220.53	1.29						
北辛堡镇 Beixinbao	1 471.77	8.62	1 426.89	6.97	7.26	0.07		
存瑞镇 Cunrui	464.34	2.72	767.51	3.75	104.19	1.07		
大黄庄镇 Dahuangzhuang	159.17	0.93						
东八里乡 Dongbali	2 458.07	14.40	335.14	1.64				
东花园镇 Donghuayuan	91.39	0.54	368.77	1.80	222.13	2.28		
官厅镇 Guanting	4 308.08	25.25	4 557.39	22.27	3 362.42	34.58	2 147.19	26.86
鸡鸣驿乡 Jimingyi	556.90	3.26	2 261.73	11.05				
狼山乡 Langshan	1 388.56	8.14	1 518.76	7.42				
瑞云观 Ruiyunguan	29.51	0.17	2 602.49	12.71	1 557.14	16.01	1 562.93	19.55
桑园镇 Sangyuan	2 315.31	13.57	1 727.12	8.44				
孙庄子乡 Sunzhuangzi			2 333.89	11.40	3 059.07	31.46	3 933.20	49.20
土木镇 Tumu	1 692.31	9.92	685.26	3.35				
王家楼乡 Wangjialou	54.91	0.32	502.55	2.46	413.11	4.25	9.94	0.12
西八里镇 Xibali	64.18	0.38						
小南辛堡镇 Xiaonanxinbao	1 787.22	10.47	1 371.78	6.70	998.33	10.27	340.55	4.26
新保镇 Xinbao'an	2.41	0.01	9.04	0.04				
合计 Total	17 064.67	100.00	20 468.30	100.00	9 723.66	100.00	7 993.82	100.00

展区分布在适宜扩展区的外侧区域,在县域南部的分布面积多于县域北部区域,其县域南部区域地形起伏度较小,地处河川平原的边缘地带,具备建设的基础条件,北部区域地形起伏虽较南部较大,但其周围分布着一定数量的已有建设用地,所以具备一定的社会经济条件。但对其进行开发时,要比适宜性扩展区开发更加严格。

3)限制扩展区:限制扩展区的 MCR 值范围为 36 487.13~58 826.19,面积为 9 723.66 hm²,占怀来县未利用地总面积的 17.6%,主要分布在官厅镇、孙庄子乡、瑞云观乡。限制扩展区主要分布在县域的南部区域,北部只有少部分分布,南部区域由于受水蚀切割作用明显,海拔相对较低,但地势险峻,同时,限制扩展区因地处山区,生态条件相对较脆弱,一旦破坏了就难以恢复,故在对其进行建设时,要严格控制建设规模,同时,维护好区域的生态平衡,保证进行建设后不打破原有的生态状况。

4)禁止扩展区:禁止扩展区的 MCR 值范围为 58 826.19~95 313.32,面积为 7 993.82 hm²,占怀来县未利用地总面积的 14.47%,主要分布在孙庄子乡、官厅镇以及瑞云观乡。禁止扩展区主要分布于

县域的南部区域,南部区域地形复杂多样,且人口数量分布较少,故其无论从自然或社会经济条件,都不具备开发成为建设用地的条件,同时,南部的自然生态环境脆弱,若对其进行开发,会对区域生态环境产生一定的影响。

3.2 潜在雨水生态廊道下的建设适宜性区域格局的优化

从图 1b 可知,基于最小累积阻力模型确定的建设适宜性分区,呈现集中连片分布的特点。而潜在雨水生态廊道的确定,恰好打破了原有建设适宜性分区集中连片的分布状态,增加了景观之间的连通性,保护了区域物种的多样性;同时,生态节点作为生态廊道连通的重要关节点,是区域生物觅食、迁徙的生境斑块,本文将一级、二级、三级潜在雨水生态廊道以及生态节点区域定义为禁止扩展区,并与建设适宜性评价结果图叠加。优化结果见图 2。

4 结论与讨论

随着经济社会的快速发展,对于土地的需求量持续增加,而未利用地资源作为重要的后备资源,在缓解土地供需矛盾方面发挥着巨大的作用;另一方面,未利用地资源在维护区域生态平衡方面发挥

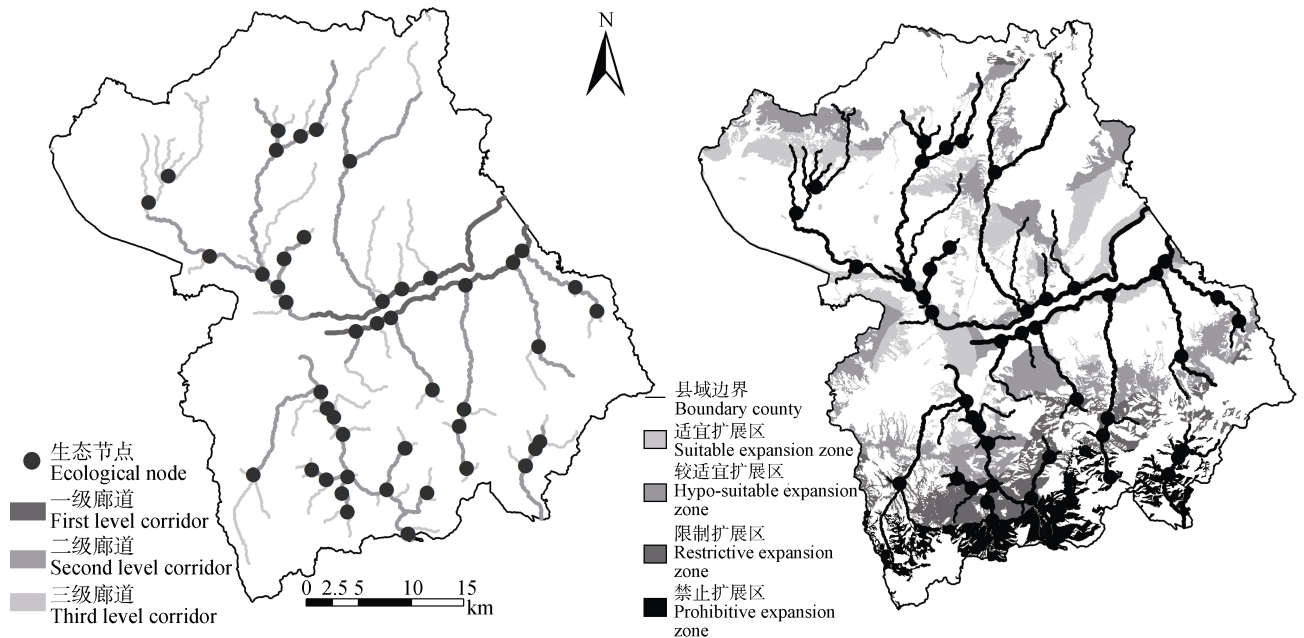


图 2 怀来县生态廊道与生态节点分布(a)和未利用地建设适宜性优化分区(b)图

Fig. 2 Distribution of ecological corridors and ecological nodes (a) and the optimized regionalization of development and construction suitability for unused land (b) in Huailai County

着重要的作用，是生态系统保持稳定不可或缺的元素。所以对于未利用地的科学合理开发的关键是处理好开发与保护之间的关系。本文根据怀来县的区域分布特点，选取工程地质条件、地形地貌条件、区位因素条件、自然生态条件对未利用资源开发建设适宜性进行评价；同时，依据 DEM 数据提取区域潜在雨水生态廊道与生态节点，最后将建设适宜性评价结果与潜在雨水生态廊道和生态节点进行有效结合，从而对适宜性评价结果进行优化。研究结果表明：

利用最小累积阻力模型确定的评价结果呈现集中分布的特点，有利于今后区域的未利用地资源规模开发利用。从数量分布上看，怀来县未利用土地适宜扩展区、较适宜扩展区、限制扩展区以及禁止扩展区面积分别为 17 064.67 hm²、20 468.30 hm²、9 723.66 hm²和 7 993.82 hm²，由此可见怀来县未利用地开发为建设用地的潜力较大。从空间上看，适宜性扩展区以及较适宜扩展区主要分布于县城的周边以及官厅水库的外围区域，此区域工程地质条件较平稳，开发成本较低，坡度以及高差相对较小，当前的生态状况平稳，同时，与道路、城市距离较近，为今后未利用地资源的开发提供了可能；限制扩展区主要分布于较适宜扩展区的外围区域，此区域的工程地质环境相对较差，坡度以及地形起伏较大，生态环境较脆弱，受人为干扰的影响较小，基础设施状况不完备；禁止扩展区主要分布于北部和南部山

地区域，且南部多于北部，此区域工程地质条件差，坡度以及地形起伏大，生态环境脆弱，生态环境遭到破坏后难以恢复，所以不宜开发为建设用地。

为科学合理地协调未利用地资源开发与保护之间的关系，通过提取区域潜在雨水生态廊道和生态节点，将未利用地开发建设适宜性评价结果与潜在雨水生态廊道、生态节点进行结合，避免未利用地资源开发建设带来的水土流失，满足动物迁徙以及保证景观连通度，故将提取的潜在雨水生态和生态节点归为禁止扩展区。一方面为区域提供了一定面积的土地资源，弥补了区域今后建设对于土地的需求，另一方面，有效缓解未利用地开发建设对生态环境所造成的后果。

本文以怀来县未利用地资源作为切入点，通过构造生态廊道和生态节点来对未利用地开发建设适宜性评价结果进行优化，以期对今后山地丘陵区未利用地资源的合理开发提供参考。而以往的相关研究，对于生态的考虑虽然也有涉及，但是仅在评价指标有一定的体现，对于生态的考虑程度不够，所以本文所选用的优化方法更加突出了对于生态的考量，同时，在计算综合阻力面时，为保证最小累积阻力模型的实现，本文将非未利用地资源的阻力值设定为 0，本研究在对未利用地开发建设适宜性评价结果优化方面只是进行了定性的探讨，仅将评价结果与生态廊道、生态节点进行了叠加，并未进一步定量说明优化前后对生态状况的改善程度，这是今

后应该研究的重点, 从而为科学合理土地利用未利用土地资源提供理论支持和技术指导。

参考文献 References

- [1] 党丽娟, 徐勇, 汤青, 等. 广西西江沿岸后备适宜建设用地潜力及空间分布[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 387-397
Dang L J, Xu Y, Tang Q, et al. Potential and spatial distribution of suitable construction land along the Xijiang riverside in Guangxi[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 387-397
- [2] 黄丽明, 陈健飞. 广州市花都城区镇建设用地适宜性评价研究——基于 MCR 面特征提取[J]. 资源科学, 2014, 36(7): 1347-1355
Huang L M, Chen J F. Suitability evaluation of urban construction land based on features extraction of a MCR surface[J]. Resources Science, 2014, 36(7): 1347-1355
- [3] 姚玉镯. 低丘缓坡地适宜性评价及潜力研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2013
Yao Y Z. Suitability evaluation and potential research about low-slop mountains and hilly[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2003
- [4] 白杨, 孟艳丽, 唐伟. 低丘缓坡荒滩等未利用地开发利用适宜性评价——以山东青州市为例[J]. 山东国土资源, 2014, 30(9): 103-105
Bai Y, Meng Y L, Tang W. Evaluation on development utilization and building suitability of low hilly wasteland — Taking Qingzhou City in Shandong Province as an example[J]. Shandong Land and Resources, 2014, 30(9): 103-105
- [5] 崔勇, 刘志伟. 基于 GIS 的北京市怀柔区高标准基本农田建设适宜性评价研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(9): 76-81
Cui Y, Liu Z W. A GIS-based approach for suitability evaluation of high standard primary farmland consolidation: A case from Huairou in Beijing[J]. China Land Sciences, 2014, 28(9): 76-81
- [6] Forman R T T, Godron M. Landscape Ecology[M]. New York: Wiley, 1986: 121-155
- [7] 牛叔文, 李景满, 李升红, 等. 基于地形复杂度的建设用地适宜性评价——以甘肃省天水市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(10): 2092-2102
Niu S W, Li J M, Li S H, et al. Suitability assessment of construction land based on terrain complexity in Tianshui City[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2092-2102
- [8] 赵展翔. 基于 GIS 的低丘缓坡资源综合开发利用评价研究——以浙江省瑞安市为例[D]. 杭州: 浙江大学, 2013
Zhao Z X. Evaluation of development in low-slope hilly resource based on GIS technology: The case of Rui'an City, Zhejiang[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013
- [9] 南晓娜. GIS 支持下的山地城市建设用地适宜性评价研究[D]. 西安: 西北大学, 2009
Nan X N. Study on suitability evaluation of mountainous city construction land supported by GIS[D]. Xi'an: Northwest University, 2009
- [10] 匡丽花, 叶英聪, 赵小敏. 基于最小累积阻力模型的土地生态适宜性评价——以鄱阳县为例[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(4): 903-910
Kuang L H, Ye Y C, Zhao X M. Evaluation of land ecological suitability based on minimum cumulative resistance model — A case study of Poyang County[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2014, 36(4): 903-910
- [11] 尹海伟, 张琳琳, 孔繁花, 等. 基于层次分析和移动窗口方法的济南市建设用地适宜性评价[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 530-535
Yin H W, Zhang L L, Kong F H, et al. Suitability evaluation of urban construction land in Jinan City based on AHP and moving window methods[J]. Resources Science, 2013, 35(3): 530-535
- [12] 吴春华, 胡远满, 黄培泉, 等. 基于最小阻力模型阜新市城市及农村居民点适宜性评价研究[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2405-2411
Wu C H, Hu Y M, Huang P Q, et al. Suitability evaluation of cities and rural settlements in Fuxin based on the model of least resistance[J]. Resources Science, 2013, 35(12): 2405-2411
- [13] 李明阳, 周奇, 黄文奇, 等. 基于 Geomatics 的南京东郊野生动物景观安全格局分析——以露牙獐为例[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(4): 70-75
Li M Y, Zhou Q, Huang W Q, et al. Geomatics-based analysis of landscape security pattern for wild animals in eastern suburb of Nanjing City — A case study of *Hydropotes inermis*[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(4): 70-75
- [14] 房媛. 天津市湿地景观格局变化及其规划保护策略研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011
Fang Y. Wetland landscape pattern change and protection planning strategy research in Tianjin[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011
- [15] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15
Yu K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(1): 8-15
- [16] 闫勇, 齐伟, 王丹, 等. GIS 支持下的山区苹果园地优化布局[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8): 1732-1737
Yan Y, Qi W, Wang D, et al. Spatial pattern optimizing of apple orchard in mountainous area based on GIS[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(8): 1732-1737
- [17] 张有坤, 樊杰. 基于生态系统稳定目标下的城市空间增长上限研究——以北京市为例[J]. 经济地理, 2012, 32(6): 53-58
Zhang Y K, Fan J. Research on growth limit of urban space based on the stability of ecosystem: A case study of Beijing[J]. Economic Geography, 2012, 32(6): 53-58
- [18] 汤坚立. 浙江省山地丘陵城镇土地适建性评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007
Tang J L. Study on the evaluation of the constructability of the land in mountainous and hilly towns in Zhejiang Province[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007
- [19] 李洪波, 张慧, 赵俊三, 等. 基于元胞生态位适宜度模型的低丘缓坡土地开发建设适宜性评价[J]. 中国土地科学, 2014, 28(6): 23-29

- Li H B, Zhang H, Zhao J S, et al. Evaluation on land suitability for development and construction in low hill and gentle slope area based on CA-niche-suitability model[J]. *China Land Science*, 2014, 28(6): 23–29
- [20] 王世东, 慎利, 王新闻. 基于 RS 与 GIS 的生态用地评价——以辽宁省大洼县为例[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(5): 628–637
- Wang S D, Shen L, Wang X C. Evaluation of ecological land based on RS and GIS: A case study of Dawa County, Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(5): 628–637
- [21] 龚建周, 夏北成, 刘彦随. 基于空间统计学方法的广州市生态安全空间异质性研究[J]. *生态学报*, 2010, 30(20): 5626–5634
- Gong J Z, Xia B C, Liu Y S. Study on spatial-temporal heterogeneities of urban ecological security of Guangzhou based on spatial statistics[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5626–5634
- [22] 姜广辉, 赵婷婷, 段增强, 等. 北京山区耕地质量变化及未来趋势模拟[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 304–311
- Jiang G H, Zhao T T, Duan Z Q, et al. Cultivated land quality change and its future trend modeling in Beijing mountainous area[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(10): 304–311
- [23] 黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟[J]. *地理学报*, 2002, 57(2): 159–166
- Li X, Ye J A. Neural-network-based cellular automata for realistic and idealized urban simulation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 159–166
- [24] 焦胜, 李振民, 高青, 等. 景观连通性理论在城市土地适宜性评价与优化方法中的应用[J]. *地理研究*, 2013, 32(4): 720–730
- Jiao S, Li Z M, Gao Q, et al. The application of landscape connectivity theory in urban ecology suitability assessment and optimization[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(4): 720–730