

怀来县未利用地开发生态敏感性研究

康薇¹, 王晓晴¹, 张立强², 于水潇¹, 张俊梅²

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘要: 未利用地作为重要的后备土地资源与生态系统的一部分, 不仅在缓解土地供需矛盾中发挥着重要作用, 同时为生态系统稳定提供着强有力的支撑。研究以地处冀西北间山盆地区的河北省怀来县为例, 根据其生态状况, 从地形地质条件、人类活动干扰、生境与水资源环境 3 个方面选取指标, 构建了怀来县未利用地开发生态敏感性评价指标体系, 结合变异系数法和 GIS 空间分析功能, 对怀来县未利用地的生态敏感性进行分析, 将其划分为 4 个级别: 低度敏感、中度敏感、重度敏感、极度敏感, 并根据怀来县地形特点进行地形梯度的划分, 划分出 4 级高程梯度带和 4 级坡度梯度带, 以分析怀来县未利用地开发生态敏感性的地形梯度分布特征。结果表明: 怀来县未利用地生态敏感性为低度敏感、中度敏感、重度敏感、极度敏感的未利用地面积分别为 10 968.45 hm², 17 347.72 hm², 19 163.18 hm² 和 10 876.84 hm², 占研究区未利用地总面积的 18.81%, 29.73%, 32.84% 和 18.64%, 生态敏感性等级为重度敏感的未利用地较多。从地形梯度角度分析, 怀来县未利用地主要分布在 400~600 m 高程梯度带以及大于 25° 坡度梯度带; 生态敏感性等级为低度敏感的未利用地主要分布在 400~600 m 和 600~800 m 两个高程梯度带以及 2°~6° 和 6°~15° 两个坡度梯度带; 随着高程与坡度的增加, 各地形梯度带生态敏感性等级为极度敏感的未利用地比重增大, 分别由最初的 14.57% 和 0.00% 提升到 49.05% 和 27.80%。研究结果可以为怀来县未利用地开发利用与生态保护提供数据支撑和科学依据。

关键词: 未利用地; 生态敏感性; 地形梯度; GIS; 怀来县

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)01-0356-08

Study on Ecological Sensitivity of Unused Land Development in Huailai County

KANG Wei¹, WANG Xiaqing¹, ZHANG Liqiang², YU Shuixiao¹, ZHANG Junmei²

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: As an important part of the reserve land resources and ecological system, unused land not only plays an important role in alleviating the contradiction between land supply and demand, but also provides a strong support for the stability of the ecosystem. This paper takes Huailai County of Hebei Province as an example. According to the ecological conditions, indicators were selected from 3 aspects of geological conditions and interference of human activities, habitat and water resource environment, the ecological sensitivity evaluation index system of Huailai County was built. The ecological sensitivity of unused land in Huailai County was analyzed by combing the variation coefficient method and spatial analysis function of GIS, in order to develop the unused land in Huailai. The ecological sensitivity can be divided into 4 levels: low sensitivity, moderate sensitivity, high sensitivity and extreme sensitivity. The 4 gradient zones of elevation and slope were divided to analyze the distribution characteristics of the ecological sensitivity of the unused land in Huailai County. The results showed that the areas of unused lands with low sensitive, moderately sensitive, severely sensitive and extremely sensitive levels were 10 968.45 hm², 17 347.72 hm², 19 163.18 hm², 10 876.84 hm², respectively, and accounting for 18.81%, 29.73%, 32.84% and 18.64% of total unused land in Huailai County, the area of unused land with severely sensitive level is dominant. According to the analysis on the base of

terrain factors, the unused land of Huailai County mainly distributed in the zones with elevation of 400~600 m and the zones with greater than 25° slope. The unused lands in Huanlai County with low sensitivity mainly distributed in the zones with elevation of 400~600 m and 600~800 m and the zones with the 2°~6° and 6°~15° slope. With the increase of elevation and slope gradient, the proportion of extremely sensitive unused land becomes larger with each gradient zone, from the original 14.57% and up to 49.05% and 0.00% to 27.80%. These results can provide data support and scientific basis for the exploitation and ecological protection of unused land in Huailai County.

Keywords: unused land; ecological sensitivity; terrain gradient; GIS; Huailai County

未利用地作为重要的耕地后备资源和生态系统的一部分,无论在缓解土地供需矛盾还是稳定生态系统方面都有重要作用,因此对其开发利用要综合考虑自然安全和生态安全两个方面,严厉禁止开发过程中的生态环境问题的发生。近几年,国内学者对于未利用地资源的开发利用研究逐渐深入,涉及领域也越来越广泛。袁磊^[1]等选取南方典型山区为研究对象,通过建立三个分项模型对山区未利用地进行宜耕评价;李婷^[2]以低丘缓坡作为研究对象,引入静态数学方法,并借助 GIS 的空间分析功能,对研究区未利用地的宜建性等级进行了评价;邓华灿^[3]在未利用地开发评价中引进景观生态学的理念,兼顾宜建开发的经济和景观双重效益,并利用马尔科夫模型对其未来的扩展方向与模式进行了预测;关小克^[4]等从自然适宜与生态安全的角度出发,对耕地后备资源进行宜耕评价,通过计算得出不同条件下的适宜性等级差别及空间分布差异。生态敏感性是指在保障一定的生态质量前提下,生态因子对自然或人类活动变化的适应,表征在此状态下的生态环境问题发生的概率大小^[5]。一般来说,生态敏感性较高的区域,生态系统的稳定性越差,较易发生生态环境问题。国内外对生态敏感性问题的研究成果颇多,研究领域已从单一生态因子扩展到除生态学以外的多生态因子综合评价^[6-9],研究尺度从大尺度流域、省域等向中小尺度演进,使研究更加精细^[10-12]。但也存在其不足之处,指标体系的选择较随意,没能形成统一的标准,从自然和人文两个角度出发对山区的未利用地进行生态敏感性研究的更是少之又少^[13-14]。

文章将未利用地开发与生态敏感性研究相结合,以处于冀西北间山盆地区的怀来县为研究区域,从地形地质条件、人类活动干扰及生境与水资源环境 3 个方面构建评价指标体系^[15-18],以 ArcGIS 9.3 为平台,对研究区未利用地开发的生态敏感性进行研究,再根据地形分布特征总结生态敏感性的变化规律^[19]。该研究对于指导未利用地的开发利用,维护生态环境提供依据,为怀来县的生态建设提供理论参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

怀来县位于河北省张家口市东南部,地处冀西北间山盆地区的东部,具体位置为东经 115°16'48"—115°58'0",北纬 40°4'10"—40°35'21",辖区内有 17 个乡镇行政单元。怀来县地理位置十分优越,距离市中心只有 87 km,交通方便;距首都也仅有 120 km,受其辐射影响较大,对怀来县的发展起到了良好的推动作用。特别是近年来,经济稳步上升以及城镇化进程的加快,促使基础设施不断完善,交通条件日益改善,多条省道、国道、铁路贯穿境内,为其交通提供了极大的便利,同时拉动了县内社会经济的进一步发展。如今怀来县已经成为重要的交通枢纽,其日益发达的社会经济与良好的生态环境促使其成为张家口市对外开放的窗口之一。研究区内土地资源丰富,未利用地资源面积为 58 356.19 hm²,占全县土地总面积的 30.86%;其中,其他草地的面积为 50 031.3 hm²,内陆滩涂面积为 7 220.9 hm²,裸地面积为 1 071.97 hm²,沙地面积为 32.02 hm²。根据野外实地调查,部分未利用地具备开发为耕地、建设用地和生态用地的条件,所以对未利用地开发的生态敏感性的研究日趋重视。

1.2 数据来源

本文立足于“河北省典型地区未利用地的研究和开发利用”项目。数据来源可以分为三种类型:文件数据、遥感数据和调查数据。基础数据资料来源主要包括怀来县土地利用总体规划(2010—2020 年)、怀来县土地调查更新数据、怀来县地质灾害防治“十二五”规划与怀来县土壤图,前三项由怀来县国土资源局收集获取,怀来县土壤图根据《河北省土壤志》扫描获取。文章以怀来县 2015 年土地调查更新数据为研究基础数据,获取其现状土地利用信息资料;怀来县地形与植被覆盖等指标是由 TM 遥感影像(地面分辨率为 30 m×30 m)和国际科学数据服务平台提供怀来县 DEM 数据(空间分辨率为 30 m)获得,数据采集单元均为 30 m×30 m 的栅格单元;其他数据资料

如土层厚度、表土质地等数据,主要是通过布设典型调查样点,对怀来县具体情况进行实地调查,然后将典型样点的实际情况进行空间插值,从而获取全域未利用地资源的指标状况。研究基于 ArcGIS 9.3 地理信息平台及 ENVI 5.1 遥感图像处理平台进行数据的处理与分析。

2 研究方法

2.1 划分格网

评价单元作为反映土地属性特征的基本单元,它的划分直接对评价结果的正确与否造成影响,是评价工作的首要任务。为了反映区域未利用地开发生态敏感性的空间分异特征,同时兼顾斑块大小与斑块内格网数量,最终确定以 500 m×500 m 的格网划分研究区域。利用 ArcGIS 9.3 的 Fishnet 工具在研究区范围内生成格网,作为评价单元。在此基础上,以怀来县 2015 年变更调查图作为底图,将 500 m×500 m 的格网与其叠加,制作全县范围的格网数据。然后,以怀来县未利用地资源的图斑范围对全县范围的格网进行筛选,剔除非未利用地类的格网,只剩下包含未利用地资源的格网以作为评价对象。同时叠加高程、坡度、植被覆盖等属性数据,并以未利用地图斑提取相应的数据资料,以此建立怀来县未利用地资源开发数据库,作为实证分析的基础数据资料。怀来县未利用地资源格网划分结果如图 1 所示。

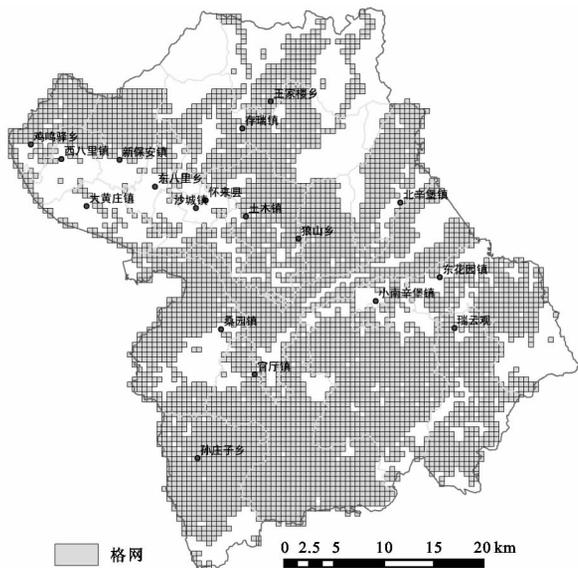


图 1 怀来县未利用地格网划分

2.2 生态敏感性评价指标体系构建

根据怀来县生态状况,从地形地质条件、人类活动干扰和生境与水资源环境 3 个方面选取指标,构建怀来县未利用地生态敏感性评价指标体系,分别进行单因子和综合状况的未利用地开发生态敏感性评价;

最后划分地形梯度,进行基于地形梯度的空间分布特征分析。生态敏感性评价指标体系见表 1。

表 1 怀来县未利用地开发生态敏感性评价指标体系

目标层	准则层	指标层
		地质灾害发生的难易程度
	地形地质	水土流失程度
		地形位指数
		地形起伏度
未利用开发		人口聚集度
生态敏感性	人类干扰	村镇建设用地影响强度指数
		主要交通干线影响强度指数
		未利用地覆盖类型
	生境与水资源环境	植被覆盖度
		距河流水系的距离
		坡向

2.2.1 基于地形地质条件的指标体系 怀来县的地貌类型较复杂,平均海拔较高,坡度变化范围较大,地质灾害和水土流失等自然灾害时有发生,生态问题逐渐敏感。通过阅读总结相关文献^[17-18],针对怀来县的具体地形特点,从地质灾害发生的难易程度、水土流失强度、地形位指数、地形起伏度 4 个角度出发,进行此方面的生态敏感性评价。其中地质灾害发生的难易程度以《怀来县地质灾害规划》为基础,结合实地调查与地质环境状况得出;水土流失受人类干扰逐渐严重,过程较复杂,多种因素对其产生影响,本文选取坡度、沟谷密度、植被覆盖度、年平均降雨量以及未利用地覆盖类型 5 个指标,各指标分级标准以《水土保持技术规范》、《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190~007)以及相关研究^[20-21]为主要的参考依据,通过对各指标进行等权重求和,来确定怀来县水土流失强度大小,依据分值大小采用自然断点法进行分级,将水土流失强度划分为轻度、中度、重度与极重度 4 个级别;地形位指数与地形起伏度以 DEM 数据为基础,借助 ArcGIS 的空间分析功能与栅格计算器得到,其中地形起伏度反映了地表高低起伏的状况,地形位指数可以综合描述高程与坡度变化对土地利用空间格局的影响,其计算公式如式(1)所示:

$$T = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中: T 为地形位指数; E 和 \bar{E} 分别表示区域中任意一点的高程值及该点所在区域的平均高程值; S 和 \bar{S} 分别为区域中任意一点的坡度值及所在区域的平均坡度值。高程越高、坡度越大的点,其地形位指数越大,反之则越小;高程较高但坡度较小或高程较小坡度较高的点,其地形位指数位于居中。具体的地形地

质条件划分见表 2。

2.2.2 基于人类活动干扰的指标体系 人类活动干扰指标以人类活动为主,主要体现人类活动对生态环境的破坏方面,人类干扰越严重的地区,生态敏感程度越高。本研究针对人类干扰选取了人口聚集度、村镇建设用地影响强度指数和主要交通干线影响强度指数 3 项指标进行生态敏感性评价^[15]。其中,人口聚集度从人口数量出发,根据数量的多少来判定对生态环境的影响程度,二者之间呈现正相关,人口集聚度越大对生态环境的影响就越大,生态敏感性程度越高。本研究的人口集聚度用各乡镇的人口密度进行表征,即各乡镇的总人口与总面积的比值,依据分值大小采用自然断点法将全县各乡镇的人口集聚度划分为 4 个等级,即稀疏、较稀疏、密集以及高度密集;主要交通干线影响强度指数和村镇建设用地影响强度指数主要体现在影响范围方面,通过 ArcGIS 9.3 中创建距离缓冲区来实现,距离道路和村镇较近的未利用地受人类干扰较严重,生态状况容易受到威胁。具体人类干扰条件划分见表 2。

2.2.3 基于生境与水资源环境的指标体系 怀来县景观类型丰富,景观生态安全处于相对安全的水平,但是随着建设用地的扩张和人类活动的干扰,使得以

上局面被破坏,生境与水资源环境受到来自自然和人为的双重威胁,对二者的保护逐渐引起关注。本研究针对生境与水资源环境,选取未利用地覆盖类型、植被覆盖度、距河流水系距离及坡向 4 个指标进行生态敏感性评价。其中未利用地覆盖类型通过参考 2015 年的土地利用现状图和实地调查结果得出,再依据二调后的分类体系,得到各类型的分级;距河流水系距离通过 ArcGIS 9.3 中的缓冲区技术实现;坡向对日照时间长短以及土壤水分的再分布有着重要作用,该指标的获取以 DEM 数据为基础,通过 ArcGIS 的坡向分析获得,并将其划分为 8 类坡向,4 个级别;植被覆盖度是对区域内物种丰富程度的一种表征形式,植被覆盖度越高的区域,物种较适应当地的生存环境,该区域的生态敏感程度越低,借助 ENVI 4.7 软件和公式(2),进行波段计算,从而求得 NDVI 值,之后利用公式(3),求得评价区域的植被覆盖度^[22-23]:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (2)$$

$$F = \frac{(NDVI - NDVI_{\min}) \times 100\%}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

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。具体的生境与水资源环境条件划分见表 2。

表 2 怀来县未利用地生态敏感性评价指标分级标准

准则层	指标层	生态敏感性等级			
		1	2	3	4
		低度敏感	中度敏感	高度敏感	极度敏感
地形地质	地质灾害发生的难易程度	不易发区	低易发区	中易发区	高易发区
	水土流失程度	轻度	中度	重度	极重度
	地形指数	<0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	>1.0
	地形起伏度(m)	<40	40~80	80~120	>120
人类干扰	人口聚集度(人/hm ²)	稀疏	较稀疏	密集	高度密集
	村镇建设用地影响强度指数(m)	>3000	2000~3000	1000~2000	<1000
	主要交通干线影响强度指数(m)	>500	200~500	100~200	<100
生境与水资源环境	未利用地覆盖类型	内陆滩涂	其他草地	沙地	裸地
	植被覆盖度(%)	≥80	[50,80)	[20,50)	<20
	距河流水系的距离(m)	<100	100~200	200~500	>500
	坡向	南坡	东南、西南	东坡、西坡	东北、西北、北坡

2.3 综合评价模型构建

由于各指标层内各指标的重要程度相当,单因子生态敏感性指数计算方法如下:

$$p_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n c_{ij}} \quad (4)$$

式中: p_j 表示第 j 个生态问题的敏感性指数; c_{ij} 表该生态问题的第 i 个指标的敏感性指数; n 代表该生态问题的指标个数。其中,敏感性指数为各敏感级别所代表的分值。

基于各单因子生态敏感性的评价结果,采用变异

系数法确定不同生态问题的权重,再根据综合指数模型得到基于地形地质条件、人类干扰和生境与水资源环境 3 方面综合的生态敏感性指数。计算方法如下:

$$\omega_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^n v_j} = \frac{S_j/\bar{x}_j}{\sum_{j=1}^n (S_j/\bar{x}_j)} \quad (5)$$

$$F = \sum_{j=1}^n \omega_j p_j \quad (6)$$

式中: ω_j 为评价因子的权重; v_j 为评价因子的变异系数; S_j 为评价因子的标准差; \bar{x}_j 为评价因子的均值; i 为评价因子数, $i=1,2,3$ 。 F 为综合生态敏感性指数。

根据上式,通过 ArcGIS 9.3 软件得到基于各单因子和综合的生态敏感性指数,并利用自然断点法对评价结果进行聚类,将怀来县未利用地划分为低度敏感、中度敏感、重度敏感及极度敏感 4 个等别,从而得到怀来县未利用地生态敏感性评价结果等别图。

3 结果与分析

3.1 怀来县未利用地生态敏感性评价结果与分析

根据上述评价方法和指标体系,借助 ArcGIS9.3 软件,对怀来县未利用地进行了生态敏感性单因子评价和综合评价,评价结果见表 3,其空间分布情况见图 2。

由表 3 可知,在地形地质条件方面,生态敏感性等级为重度敏感和极度敏感的未利用地资源面积分别为 4 216.82 hm^2 ,162.17 hm^2 ,分别占研究区未利用地资源总面积的 7.23%和 0.28%,总体看来,该区域高生态敏感性未利用地资源受地形地质条件的影响不深。从图 2A 可以看出,该部分未利用地在县域南部分布较多,在县域北部有些许分布。关键是该部分未利用地坡度和高程的变化较大,处于地质灾害高

易发区和水土流失程度较严重的地区,在今后的未利用地资源开发项目中应重点防护。

表 3 怀来县未利用地开发生态敏感性评价结果

敏感因子	敏感性级别	面积/ hm^2	比例/%
地形地质	低度敏感	47241.35	80.95
	中度敏感	6735.85	11.54
	重度敏感	4216.82	7.23
	极度敏感	162.17	0.28
人类干扰	低度敏感	3611.95	6.19
	中度敏感	23846.42	40.86
	重度敏感	12159.51	20.84
	极度敏感	18738.30	32.11
生境与水资源环境	低度敏感	9311.50	15.95
	中度敏感	19857.39	34.03
	重度敏感	12170.72	20.86
	极度敏感	17016.56	29.16
综合	低度敏感	10968.45	18.81
	中度敏感	17347.72	29.73
	重度敏感	19163.18	32.84
	极度敏感	10876.84	18.64

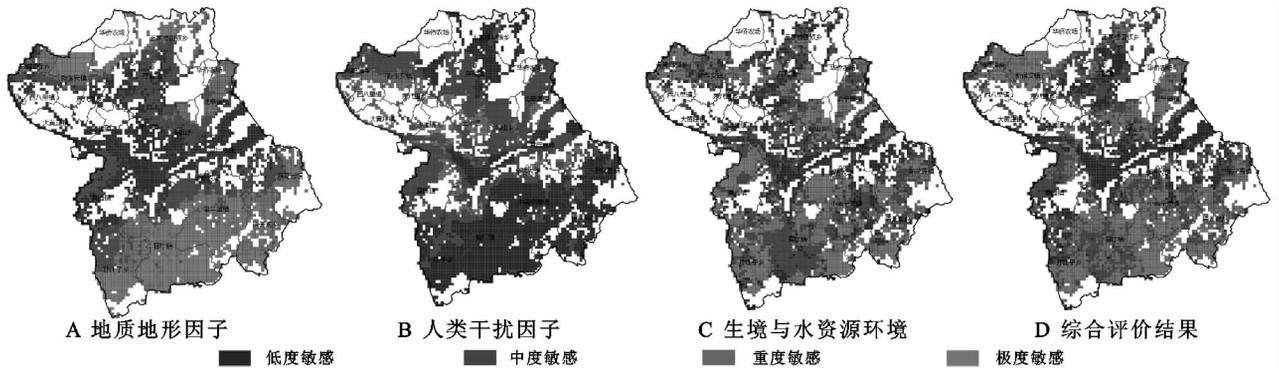


图 2 怀来县未利用地生态敏感性评价结果

在人类干扰方面,生态敏感性等级为重度敏感和极度敏感的未利用地资源面积分别为 12 159.51 hm^2 ,18 738.30 hm^2 ,分别占怀来县未利用地总面积的 20.84%和 32.11%(图 2B),总体看来该地区未利用地资源受人类干扰影响较严重。这主要是因为怀来县多数未利用地距离城镇建设用地和主要交通干线用地较近,该区域的人口聚集度较高,总体受人类干扰程度较大,在今后的开发建设中注重其生态功能的体现,该区域可作为重点的生态建设区。

在生境与水资源环境方面,生态敏感性等级为重度敏感和极度敏感的未利用地资源面积分别为 12 170.72 hm^2 ,17 016.57 hm^2 ,分别占研究区未利用地总面积的 20.86%和 29.16%,针对生境与水资源环境来说,极度敏感的未利用地资源较多,且怀来县的未利用地以其他草地为主,生态状况较差,部分未利用地生态敏感程度较高,主要是因为其植被覆盖

度较低、坡向趋向于阴面或距离河流较远。由图 2C 可以看出,该部分未利用地主要分布在县域西北部 and 南部,在今后的未利用地开发中着重该地区的水资源和生态环境的防护工作。

在综合评价方面,评价结果等级为重度敏感和极度敏感的未利用地面积分别为 19 163.18 hm^2 ,10 876.84 hm^2 ,分别占未利用地总面积的 32.84%和 18.64%,超过了研究区未利用地总面积的 50.00%。结合图 2D 与 ArcGIS 空间分析可知,综合评价结果为极度敏感的未利用地主要分布在官厅镇、新保安镇、小南辛堡镇以及孙庄子乡 4 个乡镇,共占该级别未利用地面积的 67.20%,该区域的未利用地海拔高,坡度大,地质灾害较易发生,人口集中程度较低,受到的人为干扰较少,可作为生态用地进行开发利用;而生态敏感性等级为低度敏感的未利用地主要分布在存瑞镇和官厅水库,该区域的未利用地植被覆盖度较低,

海拔较低,坡度较小,地形相对平缓,水土流失强度与农用地开发利用。各级别未利用地在各乡镇分布较弱,不易发生地质灾害,可以适当进行建设用地情况见表 4。

表 4 怀来县未利用地生态敏感性空间分布状况

乡镇名称	低度敏感		中度敏感		重度敏感		极度敏感	
	面积/hm ²	比例/%						
北辛堡镇	45.99	0.42	770.29	4.44	1708.66	8.92	620.74	5.71
存瑞镇	1203.58	10.97	1090.87	6.29	442.03	2.31	33.73	0.31
大黄庄镇	208.41	1.90	101.16	0.58	6.92	0.04	6.77	0.06
东八里乡	10.82	0.10	64.27	0.37	94.53	0.49	70.58	0.65
东花园镇	338.90	3.09	947.19	5.46	751.65	3.92	141.92	1.30
官厅水库	5680.62	51.79	752.36	4.34	164.62	0.86	16.10	0.15
官厅镇	363.14	3.31	2822.55	16.27	4658.27	24.31	2631.86	24.20
华侨农场	5.21	0.05	25.41	0.15	22.97	0.12	5.57	0.05
鸡鸣驿乡	146.73	1.34	495.28	2.85	456.25	2.38	624.88	5.75
狼山乡	302.76	2.76	722.13	4.16	1120.97	5.85	287.79	2.65
瑞云观乡	276.11	2.52	993.84	5.73	1643.92	8.58	733.23	6.74
桑园镇	530.22	4.83	2562.20	14.77	913.18	4.77	81.74	0.75
沙城镇	192.27	1.75	131.23	0.76	76.35	0.40	56.68	0.52
孙庄子乡	599.08	5.46	1569.68	9.05	1685.90	8.80	1031.31	9.48
土木镇	619.12	5.64	1241.29	7.16	583.09	3.04	256.52	2.36
王家楼回族乡	106.09	0.97	536.51	3.09	528.22	2.76	98.99	0.91
西八里镇	13.85	0.13	76.56	0.44	75.78	0.40	529.65	4.87
小南辛堡镇	325.54	2.97	2372.36	13.68	3444.79	17.98	1476.92	13.58
新保安镇	0.00	0.00	72.55	0.42	785.07	4.10	2171.86	19.97
总计	10968.45	100.00	17347.72	100.00	19163.18	100.00	10876.84	100.00

3.2 基于高程梯度的未利用地分布特征分析

经对比分析及参考相关文献发现^[24-25],对于高程级别的划分,由于研究区的高程在 400 m 以下和 1 200 m 以上土地利用类型呈现单一化,以 100 m 为一级的划分方式使得土地利用类型高程梯度性差异不明显,而以过大的高程差划分又使得某一高程级别的土地分布面积过大,不能很好的体现未利用地生态敏感性的高程梯度

性,为能较好体现敏感性状况随高程变化的特征,应用 ArcGIS 中 Equal Interval 划分方法,选取以 200 m 高程差为一级,将研究区高程划分为 5 个级别:400~600 m, 600~800 m, 800~1 000 m, 1 000~1 200 m 和 1 200 m 以上。借助 ArcGIS 9.3 的空间分析功能,将综合评价结果图与怀来县高程图相互叠加,得到各高程梯度带各级别未利用地分布情况,具体结果见表 5。

表 5 怀来县基于高程梯度的不同生态敏感性等级未利用地分布情况

敏感性级别	400~600 m		600~800 m		800~1000 m		1000~1200 m		>1200 m	
	面积/hm ²	比例/%								
低度敏感	5946.18	24.49	3326.05	21.07	1504.06	15.02	148.21	2.41	43.95	2.07
中度敏感	7641.82	31.47	5223.47	33.09	2677.21	26.73	1692.10	27.51	113.13	5.34
重度敏感	7157.53	29.47	5227.23	33.12	3646.26	36.40	2209.68	35.92	922.48	43.53
极度敏感	3538.20	14.57	2008.13	12.72	2189.46	21.86	2101.63	34.16	1039.42	49.05
总计	24283.73	100.00	15784.88	100.00	10016.98	100.00	6151.62	100.00	2118.98	100.00

由表 5 可以看出,未利用地的数量在不同的高程梯度带下差异较大,不同梯度带下的生态敏感性等级也各不相同,存在明显的高程梯度特征。其中,以 400~600 m 高程梯度带未利用地数量最多,面积为 24 283.73 hm²,占怀来县未利用地总面积的 41.61%,1 200 m 以上高程梯度带的未利用地最少,仅为 2 118.98 hm²,占怀来县未利用地总面积的 3.63%。生态敏感性等级为

低度敏感和极度敏感的未利用地均在 400~600 m 的高程梯度带上分布较多,面积分别为 5 946.18 hm², 3 538.20 hm²,占相应生态敏感性等级未利用地面积的 54.21%和 32.53%。相比之下,1 200 m 以上海拔较高,地质灾害发生频繁,所以生态敏感性等级较高的未利用地所占比重较大,一般不存在或少有低级敏感的未利用地分布。

见表所示,随着海拔的升高,生态敏感性等级为极度敏感的未利用地在各高程梯度带上所占比例呈上升趋势,相对而言,低度敏感和中度敏感的未利用地所占比例呈下降趋势,1 200 m 以上以重度敏感和极度敏感等级未利用地分布为主。

3.3 基于坡度梯度的未利用地分布特征分析

通过对怀来县 DEM 进行坡度提取,同时运用 ArcGIS 9.3 空间分析功能,得到怀来县坡度图。《土地利用现状调查技术规程》中针对不同坡度级别对土地利用的不同影响进行了如下解释:0°~2°一般无水土流失现象;2°~6°可发生轻度土壤侵蚀,需注意水

土保持;6°~15°可发生中度水土流失,应采取工程措施,加强水土保持;15°~25°水土流失严重,必须采取工程、生物等综合措施防治水土流失;>25°为《水土保持法》规定的开荒限制坡度,即不准开荒种植农作物,已经开垦为耕地的,要逐步退耕还林还草^[24-25]。本文根据以上规程结合怀来县特点将研究区未利用地划分为 0°~2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°以及 25°以上 5 个坡度梯度带。

叠加未利用地的生态敏感性评价结果图和以上提取的坡度图,经过重分类得到二者的关系图,叠加结果见表 6。

表 6 怀来县基于坡度梯度的不同生态敏感性等级未利用地分布情况

敏感性 级别	0°~2°		2°~6°		6°~15°		15°~25°		>25°	
	面积/hm ²	比例/%								
低度敏感	0.00	0.00	3719.88	66.79	3344.08	17.97	1282.38	16.68	2622.11	10.08
中度敏感	71.10	15.18	460.09	8.26	7830.64	42.09	2760.77	35.91	6225.11	23.92
重度敏感	397.33	84.82	1215.41	21.82	5630.79	30.26	1977.18	25.72	9942.47	38.20
极度敏感	0.00	0.00	173.95	3.12	1799.80	9.67	1668.22	21.70	7234.87	27.80
总计	468.44	100.00	5569.33	100.00	18605.31	100.00	7688.55	100.00	26024.56	100.00

由表 6 可知,从坡度角度分析,未利用地的分布及其各生态敏感性等级的分布也随着坡度的不同发生着变化,地形梯度特征较为明显。其中,未利用地在 6°~15°和 25°以上两个坡度带上分布较多,面积分别为 18 605.31 hm² 和 26 024.56 hm²,分别占研究区未利用地总面积的 31.88% 和 44.60%。同时,随着坡度不断提高,极度敏感未利用地面积呈现增长态势,通过分析可知生态敏感性为极度敏感的未利用地主要分布在 25°以上坡度梯度带,面积为 7 234.87 hm²,占全区极度敏感未利用地面积的 66.51%,主要是由于该梯度带的未利用地主要分布在县域南部,且处于地质灾害较易发生区和水土流失相对严重区,可适当的进行生态建设;生态敏感性等级较低的低度敏感未利用地主要分布在 2°~6°坡度带上,未利用地面积为 3 719.88 hm²,占相应级别未利用地总面积的 33.91%,这主要是由于该坡度带上的未利用地主要分布在县域中部和县城周边,人口集中,受人类干扰影响较明显,海拔相对较低,地质灾害发生频率较低,可适度进行经济开发。

综上所述,随着坡度的增大,生态敏感性等级为极度敏感的未利用地在相应坡度梯度带上的比重越来越大,而低度敏感的未利用地在相应坡度梯度带上的比重越来越小。

4 结论与讨论

4.1 结论

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,当前学者对未利用地的研究主要集中在宜耕与宜建评价方面,而作为生态系统的一部分,未利用地为生态系统的稳定提供着重要的支撑,未利用地开发与生态保护并重,未利用地的生态敏感性研究对于区域生态保护具有重要意义。本文根据怀来县的区域分布特点,选取地形地质条件、人类活动干扰和生境与水资源环境对未利用资源开发的生态敏感性进行评价。评价结果表明:

怀来县的未利用地资源开发存在安全隐患。怀来县未利用地生态敏感性等级为重度敏感和极度敏感的未利用地面积分别为 19 163.18 hm²,10 876.84 hm²,分别占未利用地总面积的 32.84% 和 18.64%,超过了研究区未利用地总面积的 50.00%。从空间分布看,综合评价结果为极度敏感的未利用地主要分布在官厅镇、新保安镇、小南辛堡镇以及孙庄子乡 4 个乡镇,该区域的未利用地海拔高,坡度大,地质灾害较易发生,人口集中程度较低,受到的人为干扰较少,可作为生态用地进行开发利用;而生态敏感性等级为低度敏感的未利用地主要分布在存瑞镇和官厅水库,该区域的未利用地植被覆盖度较低,海拔较低,坡度较小,地形相对平缓,水土流失强度较弱,不易发生地质灾害,可以适当进行建设用地与农用地开发利用。从地形梯度角度分析,怀来县未利用地主要分布在 400~600 m 高程梯度带以及大于 25°坡度梯度带;生态敏感性等级为低度敏感未利用地主要分布在 400~600 m 和 600~800 m 两个高程梯度带以及 2°~6°和 6°~15°两个坡度梯度带;随着

高程与坡度的增加,各地形梯度带生态敏感性等级为极度敏感的未利用地的比重变大,由最初的 14.57%和 0.00%提升到 49.05%和 27.80%。

从评价结果中不难发现,怀来县部分未利用地具有重要的生态价值,对其进行开发利用时应注重其开发利用的生态效益,针对不同生态敏感性等级进行确定特有的开发利用方向。

4.2 讨论

本文以格网为评价单元,针对未利用地开发的生态敏感性进行研究,将未利用地与地形因子结合,尝试性分析了二者的关系,随着地形变化,未利用地生态敏感性的变化状况得到解释,相比先前单一的未利用地开发适宜性评价有一定的创新性,拓宽了未利用地的研究领域,更多的体现了其生态价值,对以后的未利用地开发与生态保护具有一定的借鉴意义。本研究存在其不足之处,仅仅是对未利用地开发生态敏感性的初步探讨,而且多是定性分析,缺乏一定的说服力,在今后的研究中应继续深化对未利用地与地形因子的定量化探讨,使其更好的为区域的未利用地开发提供切实可行的依据和指导。

参考文献:

- [1] 袁磊,赵俊三,李红波,等. 云南山区宜耕未利用地开发适宜性评价与潜力分区[J]. 农业工程学报, 2015, 29(16): 229-237.
- [2] 李婷. 基于 GIS 的低丘缓坡建设用地适宜性评价研究: 以禄丰县为例[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
- [3] 邓华灿. 基于 RS 与 GIS 的低丘缓坡建设用地开发研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.
- [4] 关小克,张凤荣,李乐,等. 北京市耕地后备资源开发适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 304-310.
- [5] 欧阳志云,王效科,苗鸿,等. 中国生态敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12.
- [6] Carrington D P, Gallimore R G, Kutzbach J E. Climate sensitivity to wetlands and wetland vegetation in mid-holocene North Africa[J]. *Climate Dynamics*, 2001, 17(3): 151-157.
- [7] 孙才志,杨磊,胡冬玲,等. 基于 GIS 的辽河平原地下水生态敏感性评价[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7428-7440.
- [8] Muzik I. Sensitivity of hydrologic systems to climate change[J]. *Canadian Water Resources Journal*, 2001, 26(2): 233-252.
- [9] 颜磊,许学工,谢正磊,等. 北京市域生态敏感性综合评价[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3117-3125.
- [10] 陈鹏,庄孔造,蔡鹭春,等. 厦门城市空间拓展的生态敏感性评价[J]. 地球信息科学学报, 2015, 15(3): 389-394.
- [11] 刘爱华,谢正观,王家卓,等. GIS 技术在山地城市生态敏感性分析中的应用[J]. 中国科学院研究生院学报, 2012, 29(4): 455-460.
- [12] 关中美,王雨村,牛海鹏,等. 基于 GIS 的焦作市生态敏感性分析[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 27(6): 61-66.
- [13] 黄静,崔胜辉,李方一,等. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性[J]. 应用生态学报, 2011, 31(24): 7441-7449.
- [14] 汪洋,赵万民. 城市总体规划生态敏感空间信息图谱的 GIS 构建[J]. 中国园林, 2007(10): 54-56.
- [15] 谢花林,李秀彬. 基于 GIS 的农村住区生态敏感性空间评价及其分区管制: 以兴国县长冈乡为例[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 230-238.
- [16] 周锐,王新军,苏海龙,等. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 2003-2012.
- [17] 王世东,慎利,王新闯. 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, 2015, 21(5): 628-637.
- [18] 梁发超,刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析: 以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2138-2144.
- [19] 张祥义. 涿源县土地生态安全评价与利用调控研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2014: 27-28.
- [20] 贺奋琴. 基于 RS 和 GIS 的水土流失因子提取与分析: 以攀枝花市为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2004: 27-36.
- [21] 张瑞芳. 基于 GIS 的山西省朔州市水土流失强度评价研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2006.
- [22] 龚建周,夏北成,刘彦随,等. 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.
- [23] 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.
- [24] 申怀飞,吴国玺,丁圣彦,等. 豫西黄河流域土地利用空间格局地形梯度特征分析[J]. 地域研究与开发, 2012, 31(3): 159-162.
- [25] 哈凯,丁庆龙,门明新,等. 山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系: 以河北省怀来县为例[J]. 地理研究, 2015, 34(5): 909-921.