

DOI: 10.5846/stxb201802010286

王志恒,汪东川,胡炳旭,国巧真,修丽娜,赵海涛.考虑滑坡敏感性的天津市蓟州区生态网络构建.生态学报,2018,38(12): - .

Wang Z H, Wang D C, Hu B X, Guo Q Z, Xiu L N, Zhao H T. Research on the ecological network construction of Jizhou district in Tianjin. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): - .

考虑滑坡敏感性的天津市蓟州区生态网络构建

王志恒^{1,2}, 汪东川^{2,3,*}, 胡炳旭², 国巧真², 修丽娜², 赵海涛²

1 天津城建大学, 天津市软土特性与工程环境重点实验室, 天津 300384

2 天津城建大学地质与测绘学院, 天津 300384

3 天津城建大学, 天津市土木建筑结构防护与加固重点实验室, 天津 300384

摘要:随着城镇水平不断提高,人口数量不断增加,滑坡、崩塌等地质灾害频发,天津市蓟州区的景观孤岛化和破碎化现象日益严重,生物多样性减少,生态价值和生态服务功能降低。以天津市蓟州区为研究区,从自然资源、气候调节、水源涵养、生物多样性等方面考虑,选取生态源地;选取坡度、地形起伏度、坡向等滑坡孕灾环境因子,基于信息量模型,在定量分析滑坡与各孕灾环境因子关系的基础上通过地图代数计算额滑坡敏感性指数,并用于修正由土地利用类型赋值得到的生态基本阻力面,基于最小费用模型提取研究区生态廊道,进而构建天津市蓟州区生态网络。研究表明:研究区内滑坡的空间分布主要受坡度、高程、地形起伏度以及岩土类型等因素的控制;经验证基于信息量模型计算得到的滑坡敏感性指数对研究区对研究区内的滑坡具有较强的诊断能力;基于最小费用模型,提取生态廊道 23 条,总长度为 129 km。通过对比分析,提取的生态廊道基本上避开了滑坡灾害的高敏感性区域,能够有效地将生态源地进行连接;生态廊道在蓟州区的空间分布也存在显著的差异,主要分布在蓟州区的北部山区,生态廊道的密度较高,在蓟州区的中部和南部地区,生态廊道的分布非常稀疏。研究成果将为天津市蓟州区生态网络的优化、生态安全格局的构建提供科学依据。

关键词:生态网络;滑坡敏感性;最小费用模型;信息量模型

Research on the ecological network construction of Jizhou district in Tianjin

WANG Zhiheng^{1,2}, WANG Dongchuan^{2,3,*}, HU Bingxu², GUO Qiaozhen², XIU Lina², ZHAO Haitao²

1 Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

2 School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

3 Tianjin Key Laboratory of Civil Structure Protection and Reinforcement, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

Abstract: As urbanization level and population rise continuously, landslides, slides and other geological disasters strike very frequently, and in Jizhou District of Tianjin, landscape isolation and fragmentation are getting increasingly serious, biodiversity is on the decrease, and ecological values and service functions are being reduced. In this paper, Jizhou District of Tianjin was taken as a study area. Ecological source regions were selected considering many factors such as natural resources, climate regulation, water conservation, and biodiversity. Slope, relief, aspect, elevation, lithology type, road, fault, and type of land use were taken as landslide susceptibility factors. In virtue of an information value model, quantitative analysis was conducted on the relations between landslides and these susceptibility factors, based on which, landslide susceptibility index was then calculated using map algebra which was used to modify the basic ecological resistance plane was obtained through assignment of the type of land use. Then ecological corridors in the study area were extracted using the minimal cumulative resistance model, after which, an ecological network was constructed for this district.

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0503001);天津市自然科学基金(16JCYBJC21400)

收稿日期:2018-02-01; **修订日期:**2018-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mrwangdc@126.com

According to the results, the spatial distribution of the landslides in the study area were controlled by slope, elevation, relief and lithology type. The landslide susceptibility index obtained through calculation had relatively strong diagnosability based on the verification. 23 ecological corridors were extracted, 129km in total. Comparative analysis indicated that these ecological corridors basically kept away from highly susceptibility areas of landslide disasters and they could connect ecological source regions effectively. In terms of spatial distribution, ecological corridors in this area also showed significant differences. They were mainly distributed in the northern mountainous area of Jizhou district, where the density of ecological corridors was high, while ecological corridors in the central and southern areas were very sparse. The study results will provide Jizhou District of Tianjin with a scientific basis for optimizing its ecological network and constructing an ecological security pattern.

Key Words: ecological network; landslide susceptibility; minimal cumulative resistance model; information value model

生态网络构建是在当前城市建设难以大幅度增加生态用地的情况下,维持景观完整性和连续性,提高区域生态系统服务的重要手段^[1]。近年来,伴随着城镇化的快速发展,人口数量的不断增加,滑坡、崩塌等地质灾害频发,天津市蓟州区的生态环境问题日益严重,主要体现在水土流失严重,地下水位持续下降,生物多样性受到严重威胁等。在此背景下,研究天津市蓟州区生态网络的构建对于提高当地破碎生境之间的连接度水平,有效改善自然生态系统服务功能,提高生态环境质量等具有十分重要的生态意义,也为多尺度京津冀城市群地区生态安全格局的构建提供技术借鉴。

20 世纪 90 年代以来,国内外学者围绕着生态网络的构建,在理论方法、指标体系、构建方法等方面开展了大量的研究工作,取得一系列重要成果^[2-10]。目前,“识别源地-构建阻力面-提取廊道”已成为国内外学者构建生态网络的基本模式,其中,生态源地识别是生态网络构建的基础,目前主要根据生态服务的类型,生态服务功能的大小,生态价值的重要程度等方面进行识别^[2]。在生态廊道提取方面,最小费用模型由 Knaapen 提出^[11],并经国内学者俞孔坚^[12]改进后被广泛用于生态廊道的提取,该方法突出了景观基质对生态网络构建的影响,并可以将模拟结果进行空间可视化,目前成为区域生态网络构建的主要方法,在城市环境、自然保护区规划等方面具有十分广泛的应用。生态阻力面的构建是生成生态网络的核心环节,目前常用的方法是根据当地的土地利用类型直接赋值的方法,这种方法主要依靠专家的经验 and 知识确定阻力值,不考虑当地的实际情况(比如地形地貌、气候条件等),忽略了不同地区的空间差异,导致无法客观、科学以及准确地刻画物种流动过程中遇到的障碍,比如在地质灾害(滑坡、泥石流、崩塌等)频发区,仅仅根据该类地区的土地利用类型确定阻力值,会忽略地质灾害的孕灾环境对物种迁移的影响,因此,研究山地地质灾害(滑坡、泥石流等)频发地区生态景观阻力面的计算、生态网络的构建等具有十分重要的理论意义和实际价值。

本文以天津市蓟州区为研究区,参照《天津市生态用地保护红线划定方案》的相关要求,基于研究区的土地利用、地形地貌、地质构造、地层岩性等数据,从自然资源、气候调节、水源涵养、生物多样性等方面考虑,选取生态源地;基于信息量模型对研究区滑坡的敏感性进行评价,生成滑坡敏感性指数,用该指数修正由土地利用类型赋值得到的生态基本阻力面,基于最小费用模型提取研究区生态廊道,进而构建天津市蓟州区生态网络。研究结果可为天津市蓟州区生态网络优化、生态安全格局构建、城镇规划提供科学依据。

1 研究区概况

天津市蓟州区地处燕山南麓与华北平原的交接地带,位于 117°08′—117°47′E, 39°40′—40°15′N, 面积约为 1593 km²。北与河北省兴隆县相连,西与北京市的平谷县、河北省的三河县相接,东与河北省的遵化、玉田县为邻,南与宝坻县以沟河和蓟州区运河为界。蓟州区地势北高南低,呈阶梯分布,山区面积 840.5 km²,平原面积 504.72 km²,洼地面积 245.2 km²,如图 1 所示。

蓟州区生态环境及质量较好。全区土地面积 1586.67 km²,由中山山地、地山丘陵、山前坡地、平原以及洼

2.1 数据来源与处理

在本文中,滑坡敏感性分析采用的数据主要包括地形地貌、地质构造、岩土类型以及植被覆盖等,来源主要包括:(1)中国地质环境监测院通过野外调查得到的发生在天津市蓟州区的滑坡编目数据;(2)蓟州区 TM 卫星遥感数据;(3)蓟州区 SRTM 地形数据;(4)天津市地质矿产局编制的蓟州区第四纪地质图等。研究所需数据列表如表 1 所示。

表 1 滑坡敏感性分析所需数据列表
Table 1 List of data required for the analysis of landslide susceptibility

基础数据 Basic data	派生数据 Derived data	数据格式 Data format	分辨率(比例尺) Resolution (scale)
SRTM 地形数据 Topographic data (SRTM)	坡度 坡向 高程 地形起伏度	栅格 栅格 栅格 栅格	30 m
TM 遥感影像数据 Remote Sensing Data (TM)	土地利用类型 NDVI	栅格 栅格	30 m
第四纪地质图 Quaternary geological map	断裂 岩土类型	矢量 矢量	1:40 万
基础地理数据 Basic Geographical Data	道路	矢量	1:20 万

蓟州区的部分滑坡数据如表 2 所示。

表 2 蓟州区滑坡编目数据
Table 2 Catalog data of landslides in Jizhou district

序号 Number	滑坡名称 Name of landslides	位置 Locaiton	规模 Scale	序号 Number	滑坡名称 Name of landslides	位置 Locaiton	规模 Scale
1	五名山滑坡	城关镇小剪刀营村	中型	5	别山镇西九户滑坡	别山镇西九户村	小型
2	田家峪东沟滑坡	许家台田家峪村	中型	6	新水厂滑坡	穿芳峪乡新水厂	小型
3	双安西沟滑坡	下营镇团山子村	中型				
4	双安西北沟滑坡	官庄镇双安村	中型				

处理后的各孕灾环境因子数据如图 2 所示。

蓟州区生态网络构建所采用的数据主要包括:《天津市生态用地保护红线划定方案》,用于提取蓟州区生态源地;蓟州区 2015 年土地利用数据,如图 3 所示,用于构建蓟州区生态生态景观基本阻力面。

2.2 研究方法

2.2.1 信息量模型

信息量模型是进行区域滑坡灾害预测的一种有效方法,适用于中、小比例尺区域滑坡灾害预测^[14]。范继跃等^[15]利用 GIS 空间分析和统计功能,结合信息量法得到了四川九龙县地质灾害区划研究;Greco 等^[16]将信息量模型运用到大规模滑坡的风险评估,分析结果具有较高的可靠性;Nagarajan 等^[17]对热带地区地形及气候因子与滑坡敏感性之间的关系进行了分析,并基于信息量模型评价了印度康坎地区滑坡的敏感性。通过研究可以看出,信息量模型可用于评价孕灾因子与滑坡的密切程度,既能正确地反映滑坡灾害的基本规律,同时在 GIS 平台上也较易实现,因此,是一种区域滑坡敏感性评价中的较为科学、实用的算法^[18]。

区域滑坡灾害的预测是在对区域滑坡灾害分布展开信息统计分析的基础上进行的,如果采用面积比来计算信息量,则可表示为:

$$I(y,x_1,\cdots,x_n)=In\frac{S_0/S}{A_0/A} \tag{1}$$

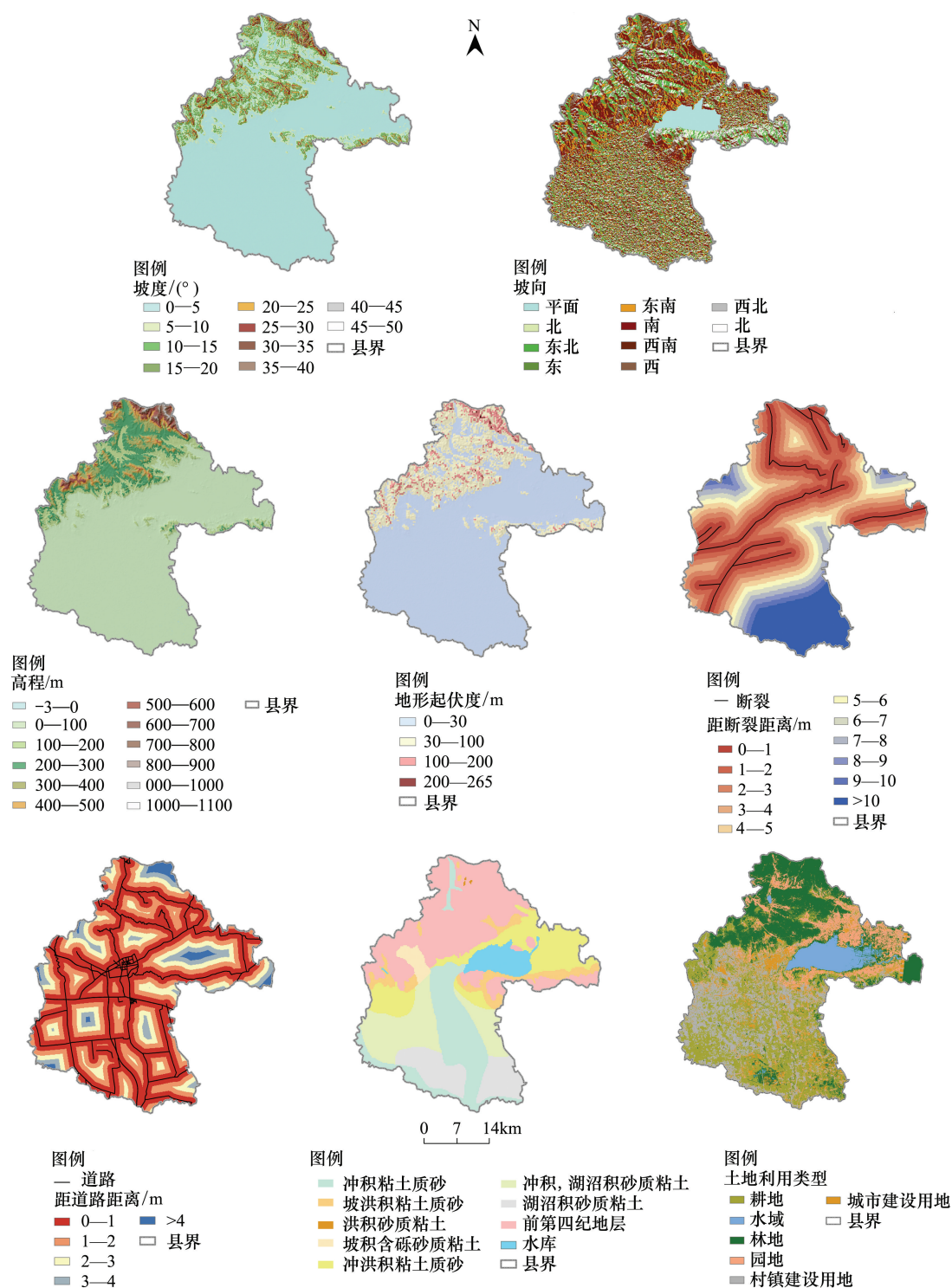


图 2 蓟州区滑坡孕灾环境因子

Fig.2 Environmental factors of the landslide in Jizhou district

式中, A 为区域内单元总面积; A_0 为已经发生滑坡灾害的单元面积之和; S 为具有相同因素 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 组合的单元总面积; S_0 为具有相同因素 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 组合单元中发生滑坡灾害的单元面积之和。

一般情况下, 由于作用于滑坡灾害的因素很多, 相应的因素组合状态也特别多, 样本统计数量往往受到限制, 故采用简化的单因素信息量模型分步计算, 再综合叠加分析, 相应的信息量模型可为:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n I_n \frac{S_0^i / S^i}{A_0 / A} \tag{2}$$

式中, I 为预测区某单元信息量预测值; I_i 为因素 x_i 对滑坡灾害所提供的信息量; S^i 为因素 x_i 所占单元总面积; S_0^i 为因素 x_i 单元中发生滑坡灾害的单元面积之和^[14]。

2.2.2 最小费用模型

最小费用模型是提取生态廊道的重要方法,在确定研究区内各栅格单元的景观阻力后,基于式 3 计算选取的生态源地之间的最小成本方向和路径^[19]。

$$MCR = f_{min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i) \tag{3}$$

式中, MCR (Minimal Cumulative Resistance Model) 是由源地扩散到空间某一点的最小累计阻力值; D_{ij} 表示从源地 j 到空间单位 i 的空间距离; R_i 空间单元 i 的阻力值。

3 实验过程及结果分析

3.1 滑坡敏感性分析

基于天津市蓟州区滑坡空间分布数据和孕灾环境因子空间分布书,利用式 2 计算得到天津市蓟州区坡度、地形起伏度、高程等孕灾环境因子对滑坡的信息量值,如表 3 所示。

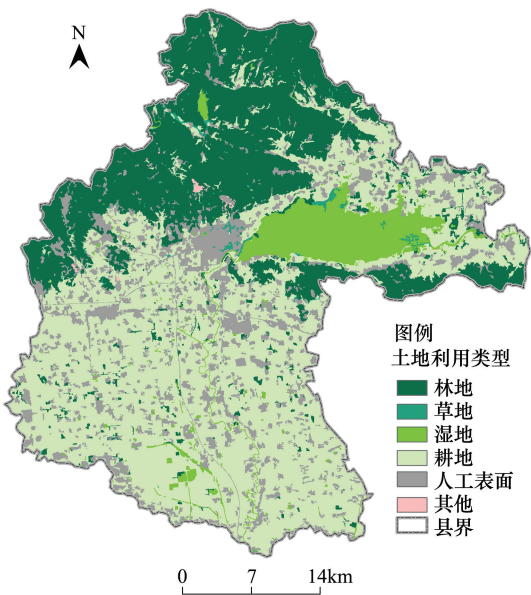


图 3 蓟州区土地利用分布图(2015 年)

Fig.3 Distribution of the land use in Jizhou district (2015)

表 3 蓟州区各孕灾环境因子对滑坡的信息量值

Table 3 Information value of the environmental factors of each pregnancy in Jizhou district

因子 Factor	分级 Classification	信息量值 Information value	因子 Factor	分级 Classification	信息量值 Information value
坡向 Aspect	北	-0.16	坡度	0—5°	-1.96
	东北	0.21		5—10°	0.69
	东	0.95		10—15°	1.42
	东南	0.01		15—20°	1.23
	南	-0.34		20—25°	1.08
	西南	-0.47		25—30°	2.13
	西	-0.25		30—35°	1.83
	西北	-0.61	地形起伏度	0—30 m	-1.97
高程 Elevation	0—100 m	-0.97		30—100 m	1.18
	100—200 m	1.07		100—200 m	1.53
	200—300 m	1.04	岩土类型	第 冲积粘土质砂	-2.27
	300—400 m	1.07		四 坡洪积粘土质砂	0.34
	400—500 m	1.17		纪 洪积砂质粘土	0
距断裂距离 Distance to fault	0—1	-0.81		地 坡积含砾砂质粘土	0
	1—2 km	0.02		层 冲洪积粘土质砂	0
	2—3 km	0.61		冲积、湖沼积砂质粘土	0
	3—4 km	0.28		湖沼质粘土	0
	4—5 km	-0.33			
	5—6 km	-0.47			
	6—7 km	0.45			

续表					
因子 Factor	分级 Classification	信息量值 Information value	因子 Factor	分级 Classification	信息量值 Information value
距道路距离 Distance to road	7—8 km	0.28	土地利用类型	前第四纪地层	1.04
	8—9 km	1.44		城市建设用地	-0.51
	9—10 km	-0.29		水域	0
	0—1 km	-0.09		林地	1.15
	1—2 km	-0.11		村镇建设用地	-0.11
	2—3 km	0.56		耕地	0.02
	3—4 km	-0.13		园地	0.64

根据计算得到的各孕灾环境因子的信息值,通过重分类方法得到各孕灾环境因子的敏感性图层,并进行叠加生成研究区滑坡敏感性指数,如图 4 所示。

采用自然断点分析法对滑坡敏感性分析结果(图 4),将研究区滑坡的敏感性划分为 4 个等级:高敏感性区,中高敏感性区,中敏感性区和低敏感性区,如图 5 所示。

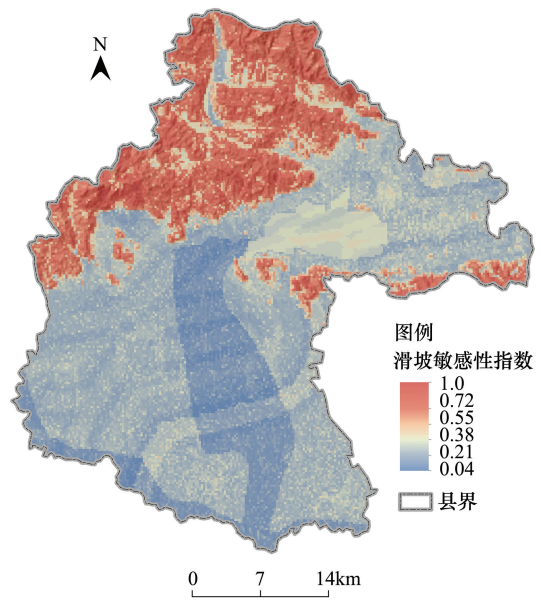


图 4 蓟州区滑坡敏感性指数分布图

Fig.4 Susceptibility index distribution of landslide in Jizhou district

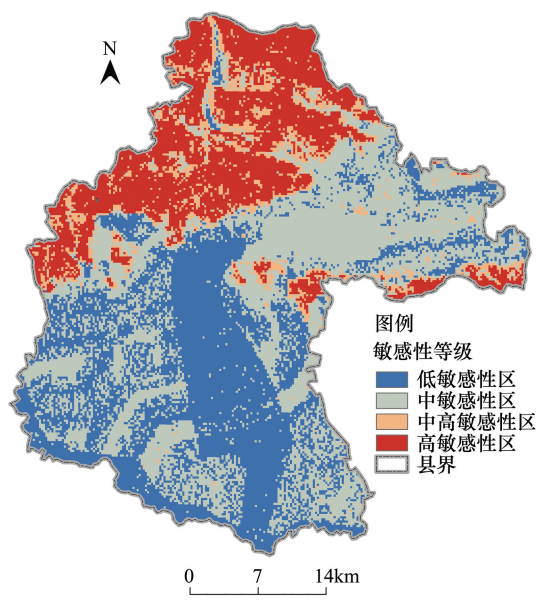


图 5 蓟州区滑坡敏感性等级分布图

Fig.5 Susceptibility class distribution of landslide in Jizhou district

基于用于检验的滑坡编目数据,统计研究区内滑坡低敏感性、中敏感性、中高敏感性以及高敏感性区域的滑坡点百分比滑坡点数目和滑坡点密度指标。经统计,高敏感性区域占总面积的 20.9%,但区域内滑坡点数却占总数的 65.5%;低敏感性区域占总面积的 34.5%,但区域内滑坡点仅占总数的 1.7%。此外,从图 6 中可以看出,随着敏感性等级的降低,滑坡点的个数以及滑坡点密度均呈显著地的下降趋势。

3.2 生态源地选取

生态源地是物种扩散和维持的原点,是促进生态过程发展的景观组分^[20]。从生态服务功能和价值大小等方面考虑,源地一般是具有重要生态系统服务功能的自然环境斑块,能为野生物种提供生存、繁衍的庇护空间^[1]。本文从自然资源、气候调节、水源涵养、生物多样性等方面综合考虑,在研究区选取生态源地共计 11

处,其类型及空间分布如图 7 所示。

3.3 考虑滑坡敏感性的生态网络构建

在参考国内外相关研究成果的基础上^[21-22],根据天津市蓟州区的土地利用类型确定与其相应的景观阻力值,如表 4 所示。基于蓟州区土地利用类型数据,根据表 4 进行栅格重分类,计算得到基于土地利用类型的蓟州区景观基本阻力面分布图(图 8)。

根据式(4),对考虑土地利用类型的蓟州区生态景观基本阻力面进行修正^[2]。

$$R_i = \frac{NL_i}{NL_a} \times R \quad (4)$$

式中, R_i 为基于滑坡敏感性修正的栅格 i 的生态阻力系数; NL_i 为栅格 i 的滑坡灾害敏感性指数; NL_a 为栅格 i 对应的土地利用类型 a 的平均滑坡灾害敏感度; R 为栅格 i 对应土地利用类型的阻力系数。

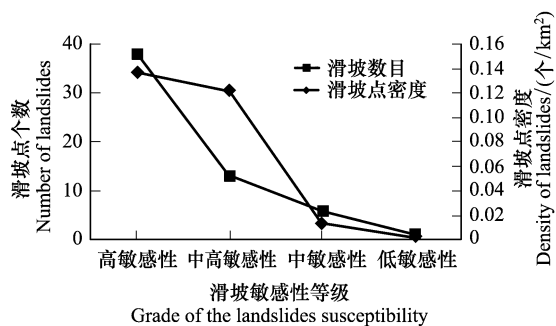


图 6 基于滑坡点密度和个数的滑坡敏感性指数验证结果

Fig. 6 Test results of landslide susceptibility index based on landslide density and number

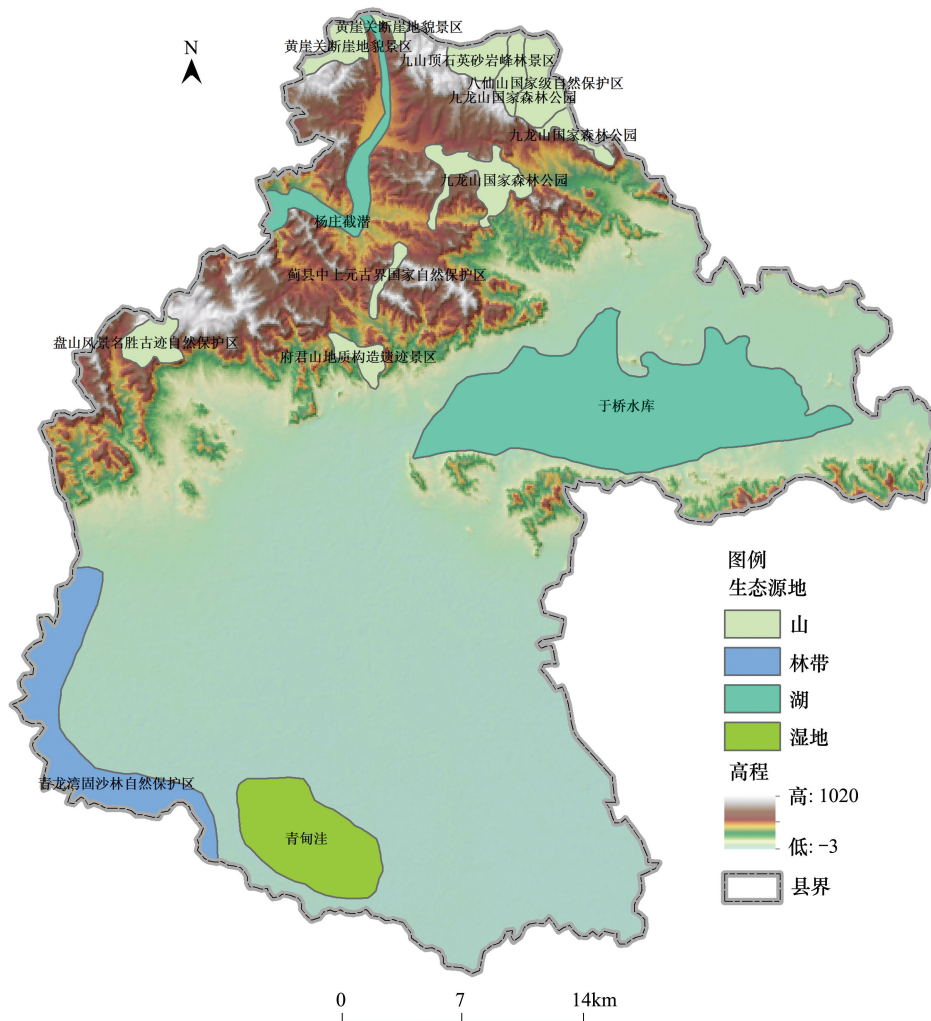


图 7 蓟州区生态源地分布图

Fig. 7 Spatial distribution of the ecological source area in Jizhou district

利用分区统计的方法,计算得到研究区内不同土地利用类型的平均滑坡灾害敏感度,如表 5 示。

表 4 基于土地利用类型的景观阻力赋值表

Table 4 Landscape resistance assignment table based on land use type					
序号 Number	土地利用类型 Type of land use	景观阻力值 Ecological resistance value	序号 Number	土地利用类型 Type of land use	景观阻力值 Ecological resistance value
1	林地	10	4	湿地	40
2	耕地	100	5	建设用地	800
3	草地	80	6	其他	500

表 5 蓟州区不同土地利用类型内的平均滑坡灾害敏感度表

Table 5 Average susceptibility table of landslide hazard in different land use types in Jizhou district					
序号 Number	土地利用类型 Type of land use	平均滑坡敏感度值 Average of landslides susceptibility value	序号 Number	土地利用类型 Type of land use	平均滑坡敏感度值 Average of landslides susceptibility value
1	林地	0.67	4	耕地	0.24
2	草地	0.38	5	建设用地	0.26
3	湿地	0.31	6	其他	0.65

根据式 4 和表 5 的计算结果,利用地图代数(栅格计算器)计算得到考虑滑坡敏感性的蓟州区景观阻力面分布图(图 9)。

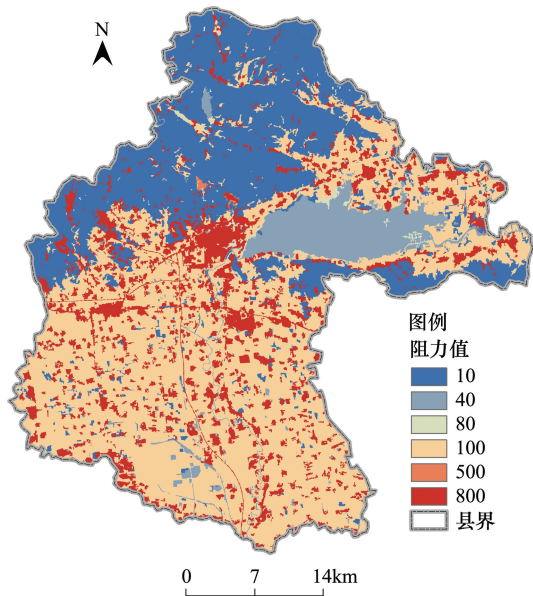


图 8 蓟州区生态景观基本阻力面分布图
Fig.8 Basic resistance surface distribution of ecological landscape in Jizhou district

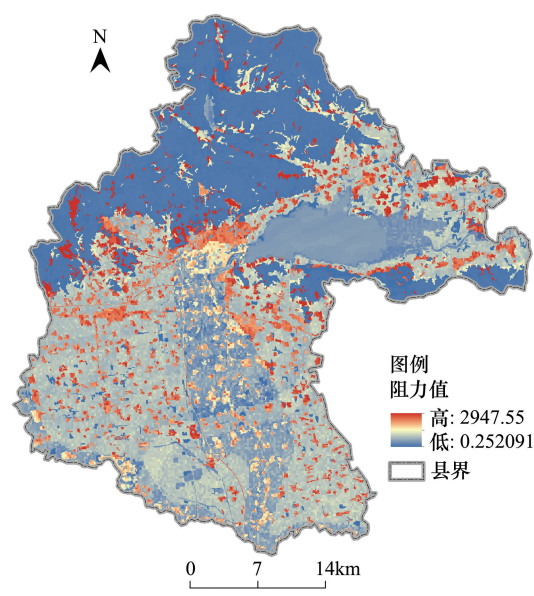


图 9 考虑滑坡敏感性的蓟州区景观阻力面分布图
Fig.9 Resistance surface distribution of ecological landscape considering landslide susceptibility in Jizhou district

在生态源地识别和修正景观阻力面生成的基础上,根据式 3 计算得到天津市蓟州区生态网络分布图,如图 10 所示,图中绿色的生态廊道为基于滑坡敏感性修正的景观阻力面计算得到的生态廊道,与之前识别的山、林带、湖以及湿地等类型的生态源地,依照“斑块-廊道-基质”模式共同构建天津市蓟州区生态网络。

滑坡敏感性对蓟州区景观阻力面的生成具有十分重要的影响。滑坡敏感性的考虑显著地改变了蓟州区景观阻力面的空间分析,进而影响了生态廊道的提取结果。如图 9 所示,考虑滑坡敏感性前后的生态廊道(绿色为考虑滑坡敏感性,黄色为未考虑滑坡敏感性)在空间分布上具有显著地差异,特别是在蓟州区的北部山区,生态廊道的空间分布存在的显著不同。

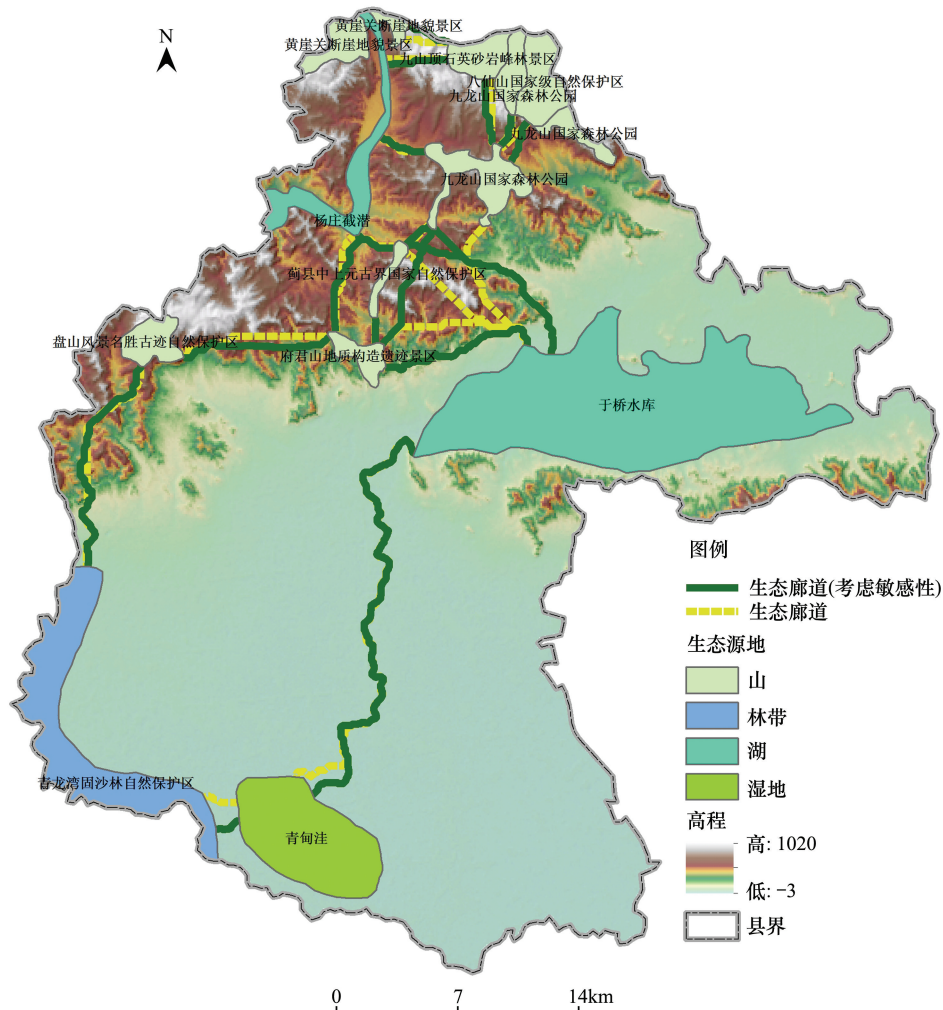


图 10 考虑滑坡敏感性的蓟州区生态网络分布图

Fig.10 Ecological network distribution considering landslide susceptibility in Jizhou district

基于已经提取的生态廊道结果(考虑滑坡敏感性和不考虑滑坡敏感性),通过叠加分析分类统计在不同滑坡敏感性等级区域内生态廊道的长度。图 11 为通过基本阻力面提取的生态廊道与不同滑坡敏感性等级区域的统计关系,可以看出提取的生态廊道有 59.13 km 分布在滑坡高敏感性区,占总生态廊道长度的 55%;有 8.26 km 分布在滑坡较高敏感性区,占总生态廊道长度的 21%;有 8.28 km 分布在滑坡中敏感性区,占总生态廊道长度的 8.28%;有 31.42 km 分布在滑坡低敏感性区,占总生态廊道长度的 29%。按照廊道长度进行统计,约有将近 60%的廊道分布滑坡高敏感性区内,生态廊道的提取结果不合理。

图 12 为基于滑坡敏感性修正阻力面提取的生态廊道与不同滑坡敏感性等级区域的统计关系,可以看出提取的生态廊道有 40.44 km 分布在滑坡高敏感性区,占总生态廊道长度的 35%;有 24.54 km 分布在滑坡较高敏感性区,占总生态廊道长度的 21%;有 24.54 km 分布在滑坡中敏感性区,占总生态廊道长度的 14%;有 35.54 km 分布在滑坡低敏感性区,占总生态廊道长度 30%。按照廊道长度进行统计,约有 35%的廊道分布滑坡高敏感性区内,比通过基本阻力面提取的生态廊道下降了 15%,研究区生态廊道基本避开了滑坡高敏感性区域,提取结果更加科学、客观和合理。

生态廊道在蓟州区的空间分布也存在显著的差异,从图 10 中可以看出,主要分布在蓟州区的北部山区,生态廊道的密度较高;在蓟州区的中部和南部地区,生态廊道的分布非常稀疏。将基于滑坡敏感性修正的阻力面提取得到的生态廊道与蓟州区乡镇行政区进行叠加分析,如图 13 所示,生态廊道在各个乡镇内的分布极

不均衡,经统计,分布在蓟州区各乡镇的生态廊道的平均长度为 4.04 km,罗庄子镇内的生态廊道最长,约为 20.82 km;约有一半的乡镇(下仓镇、杨津庄镇、桑梓镇等)没有生态廊道通过。

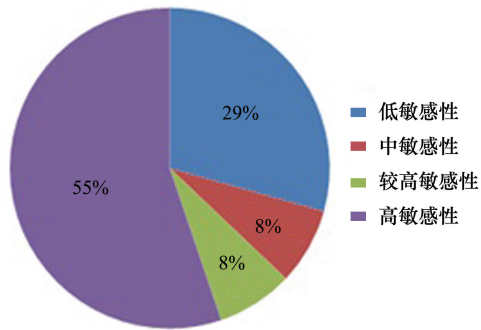


图 11 生态廊道(基于基本阻力面)在不同滑坡敏感性等级区域的百分比

Fig. 11 Percentage of ecological corridor (based on basic resistance surface) in the region of different landslides susceptibility class

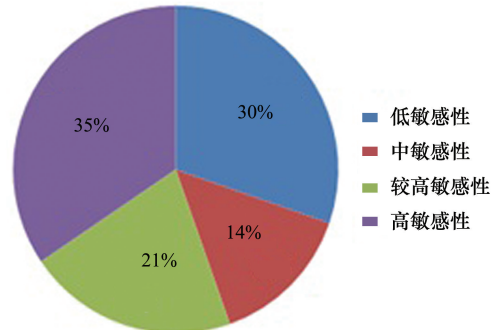


图 12 生态廊道(基于滑坡敏感性修正的阻力面)在不同滑坡敏感性等级区域的百分比

Fig.12 Percentage of ecological corridor (based on resistance surface modified by landslide susceptibility) in the region of different landslides susceptibility class

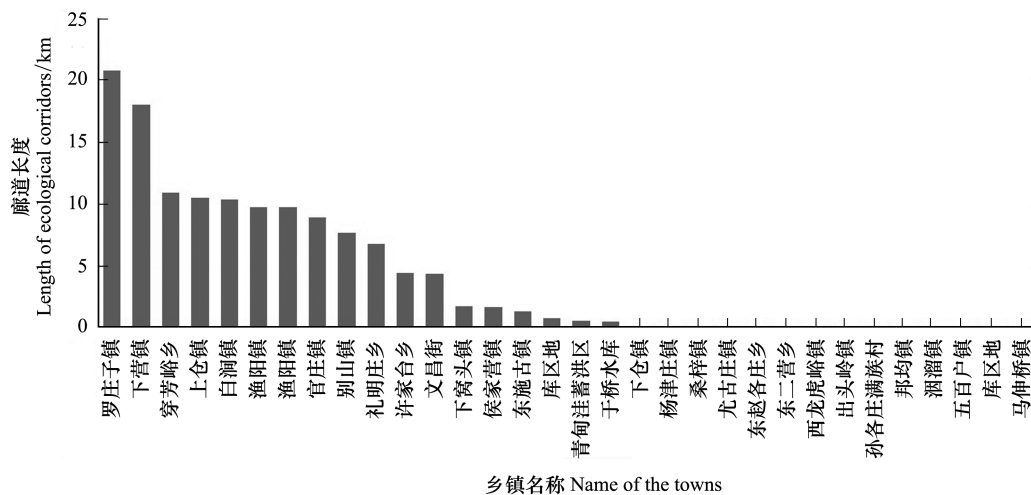


图 13 蓟州区各乡镇内生态廊道长度统计图

Fig.13 Statistics of ecological corridor length in townships in Jizhou district

4 结论

本文以天津市蓟州区为研究区,根据研究区滑坡的成灾机制和孕灾环境,基于信息量模型计算得到研究区滑坡敏感性指数,并将其用于修正研究区生态景观基本阻力面;结合提取得到的湖、山、林带等不同类型的生态源地和考虑滑坡敏感性的景观阻力面,构建天津市蓟州区生态网络。本研究取得以下主要成果:

(1) 天津市蓟州区滑坡的空间分布主要受坡度、高程、地形起伏度以及地层岩性等因素影响;基于最小方差法对滑坡敏感性指数进行聚类分析,将研究区划分为滑坡高敏感性、中高敏感性、中敏感性和低敏感性 4 个区域通,采用滑坡点百分比、滑坡点密度等指标进行统计和对比,发现基于信息量模型计算得到的研究区滑坡敏感性指数对该地区已发生的滑坡具有较强的识别能力;通过敏感性等级划分可以看出,蓟州区滑坡高敏感区主要集中于北部山区(下营镇、罗庄子镇和穿芳峪乡等),该地区多集中有旅游景点和采石场,且人口分布较密集,是防范滑坡灾害的重点区域。

(2) 基于天津市蓟州区滑坡敏感性指数修正生态景观基本阻力面, 并采用最小费用模型提取生态廊道共计 23 条, 总长度为 129 km。经对比分析发现, 提取的生态廊道基本上避开了滑坡灾害的高敏感性区域, 能够有效地将生态源地进行连接; 生态廊道在蓟州区的空间分布也存在显著的差异, 主要分布在蓟州区的北部山区, 生态廊道的密度较高; 在蓟州区的中部和南部地区, 生态廊道的分布非常稀疏。

针对构建得到的蓟州区生态网络, 提出以下对该地区生态网络优化的对策:

(1) 进一步加强对重要生态源地的保护。蓟州区生态环境质量较好, 森林覆盖率较高, 但分布不均匀; 近年来受到快速城市化的干扰, 岛屿化和破碎化的趋势明显。因此, 建议严格保护研究区内国家级、省级自然保护区, 森林公园等区域性重要生态源地的完整性, 进而能够形成连片的生态斑块, 丰富斑块内的生态种类, 更好地发挥生态源地的生态系统服务功能。

(2) 合理规划绿地资源。蓟州区的中部和南部地区受人为影响较为强烈, 绿地资源较少, 且破碎化程度较高, 导致该地区生态廊道分布稀疏。在后续的城镇规划建设中可以适当增加蓟州区中部和南部地区的绿色斑块面积, 并通过建设生态控制带减轻当地社会经济活动对周边生态环境的影响。

参考文献 (References):

- [1] 贾振毅. 城市生态网络构建与优化研究——以重庆市中心城区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [2] 彭建, 郭小楠, 胡熠娜, 刘焱序. 基于地质灾害敏感性的山地生态安全格局构建——以云南省玉溪市为例. 应用生态学报, 2017, 28(2): 627-635.
- [3] 路晓, 王金满, 李新风, 冯宇. 基于最小费用距离的土地整治生态网络构建. 水土保持通报, 2017, 37(4): 143-149, 346.
- [4] 刘世梁, 侯笑云, 尹艺洁, 成方妍, 张月秋, 董世魁. 景观生态网络研究进展. 生态学报, 2017, 37(12): 3947-3956.
- [5] 张妍, 郑宏媚, 陆韩静. 城市生态网络分析研究进展. 生态学报, 2017, 37(12): 4258-4267.
- [6] 于强, 岳德鹏, 张启斌, 吕奇, 李宁, 侯宏冰. 磴口县景观格局演变特征及生态网络构建. 中国沙漠, 2017, 37(3): 601-609.
- [7] 卿凤婷, 彭羽. 基于 RS 和 GIS 的北京市顺义区生态网络构建与优化. 应用与环境生物学报, 2016, 22(6): 1074-1081.
- [8] 曲艺, 陆明. 生态网络规划研究进展与发展趋势. 城市发展研究, 2016, 23(8): 29-36.
- [9] 蒋思敏, 张青年, 陶华超. 广州市绿地生态网络的构建与评价. 中山大学学报: 自然科学版, 2016, 55(4): 162-170.
- [10] 张璐. 固原市绿地生态网络构建研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2016.
- [11] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16.
- [12] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [13] 房万领, 李学云, 田德培, 王林海. 天津城市建设工程地质稳定性综合分析. 地质调查与研究, 2016, 39(1): 64-70.
- [14] 朱良峰, 吴信才, 殷坤龙, 刘修国. 基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 52-56.
- [15] 范继跃, 何政伟, 赵银兵, 倪忠云, 陈小亮. GIS 在四川九龙县地质灾害区划中的应用. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(2): 180-184.
- [16] Greco R, Sorriso-Valvo M, Catalano E. Logistic regression analysis in the evaluation of mass movements susceptibility: the aspromonte case study, Calabria, Italy. Engineering Geology, 2007, 89(1/2): 47-66.
- [17] Nagarajan R, Roy A, Kumar R V, Mukherjee A, Khire M V. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2000, 58(4): 275-287.
- [18] 孙伟峰, 谭成轩, 王继明, 吴树仁, 张春山. 陕西宝鸡地区千阳县地质灾害易发性评价. 地质通报, 2008, 27(11): 1846-1853.
- [19] 陈竹安, 况达, 危小建, 张立亭. 基于 MSPA 与 MCR 模型的余江县生态网络构建. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1199-1207.
- [20] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [21] 徐文彬, 尹海伟, 孔繁花. 基于生态安全格局的南京都市区生态控制边界划定. 生态学报, 2017, 37(12): 4019-4028.
- [22] 袁钟, 赵牡丹, 刘蕊娟. 基于最小成本距离与改进引力模型的城市绿地网络构建与优化. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2017, 45(2): 104-109.