

DOI: 10.5846/stxb201807251587

马孟泉,张慧,高吉喜,鞠昌华,王延松,刘德天.生物多样性维护生态保护红线划定方法对比.生态学报,2019,39(19): - .

Ma M X, Zhang H, Gao J X, Ju C H, Wang Y S, Liu D T. Different methods comparison of delineating the ecological protection red line for biodiversity conservation. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(19): - .

生物多样性维护生态保护红线划定方法对比

马孟泉¹, 张 慧^{1,2,*}, 高吉喜^{2,3,*}, 鞠昌华¹, 王延松⁴, 刘德天⁵

1 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042

2 南京信息工程大学大气环境与装备技术协同创新中心, 地理科学学院, 南京 210044

3 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100094

4 辽宁省环境科学研究院, 沈阳 110015

5 盘锦市黑嘴鸥保护协会, 盘锦 124000

摘要:科学地评价区域内生物多样性维护功能重要性是生态保护红线划定中的重要环节,目前在生态保护红线划定导则中,推荐了 NPP(净初级生产力, Net Primary Productivity)法和物种分布模型法,其中 NPP 法因其所需因子较少、计算简便得到广泛应用,物种分布模型法因所需因子较多、计算繁琐,应用较少。本文分别选用 NPP 法和 MaxEnt(最大熵, Maximum Entropy)模型法对盘锦市生物多样性维护功能重要性进行评价,两种方法结果对比表明, NPP 法无法覆盖全部的生物多样性重要区域,并且受农作物高 NPP 值的影响,其划定结果与鸟类实际分布范围不符,而 MaxEnt 模型法的结果更准确,与鸟类实际分布范围更相符,利用 MaxEnt 模型法最终得到盘锦市生物多样性维护生态保护红线面积 1050.17km²,占盘锦市陆域面积的 25.85%,基本覆盖了境内东方白鹤、丹顶鹤、黑嘴鸥、震旦鸦雀等所有重点珍稀生物物种的栖息地和迁移路径的停歇地。本研究对生态保护红线划定工作具有重要的指导意义,其结果能为盘锦珍稀濒危鸟类的保护与管理提供科学支撑。

关键词:物种分布模型法;生物多样性维护功能;生态保护红线;NPP 法;盘锦市

Different methods comparison of delineating the ecological protection red line for biodiversity conservation

MA Mengxiao¹, ZHANG Hui^{1,2,*}, GAO Jixi^{2,3,*}, JU Changhua¹, WANG Yansong⁴, LIU Detian⁵

1 *Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China*

2 *Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, College of Geographical Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*

3 *Satellite Environment Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100094, China*

4 *Liaoning Academy of Environmental Research, Shenyang 110015, China*

5 *Saunders's Gull Conservation Society of Panjin City, Panjin 124000, China*

Abstract: Scientific evaluation of the importance of biodiversity conservation function is an important part in process of the ecological protection red line delineation. At present, Net Primary Productivity (NPP) method is widely used in delineating the ecological protection red line because it needs less factors and simple calculation. However, the application of species distribution model is less because it needs more factors and complicated calculation. We applied Maximum Entropy (MaxEnt) model and NPP method respectively to evaluate the importance of biodiversity conservation function in Panjin, and then assessed the two methods. The results showed that the NPP method could not cover all important areas of

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0506604);2019 中央部门预算二级项目:生态保护红线在空间规划中的应用研究

收稿日期:2018-07-25; **网络出版日期:**2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanghui@nies.org; gjx@nies.org

biodiversity, and its results did not match the actual distribution of the birds because it was influenced by high NPP value of crops. Compared with the results of the NPP method, the MaxEnt model could not only get more accurate results, but also the results were more consistent with the actual distribution of the birds in Panjin. Finally, using the MaxEnt model method, the area of the biodiversity conservation function ecological protection red line in Panjin is 1050.17km², accounting for 25.85% of the land area of Panjin City. The area basically covers the habitats and migration paths of all key rare wild species such as Oriental White Stork, Red-crowned Crane, Black-billed Gull, and Aurora. This study has important guiding significance for the delineation of the ecological protection red lines. The results can provide scientific support for the protection and management of rare and endangered birds in Panjin.

Key Words: species distribution model method; biodiversity conservation function; ecological protection red line; NPP method; Panjin City

生物多样性维护功能重要性评估是生态保护红线划定中至关重要的环节,科学的生物多样性维护功能重要性评估能为生态保护红线的划定提供强有力的技术支撑,根据《生态保护红线划定指南》^[1],生物多样性维护功能重要性评估有物种分布模型法和 NPP(净初级生产力, Net Primary Productivity)法两种方法, NPP 法因其所需参数因子较少,因子获取较为容易,公式计算更为简捷而被广泛应用^[2]。物种分布模型法是通过将物种分布信息和对应的环境变量信息进行关联得出物种分布与环境变量之间的关系,并将这种关系应用于所研究的区域,对目标物种的分布进行估计的模型^[3],近年来也逐渐受到许多学者的关注,目前广泛应用于物种的潜在分布地分析^[4, 5]、气候变化对物种分布的影响^[6, 7]、人为干扰对物种分布适宜性的影响^[8, 9]等研究。

盘锦市在《全国生态功能区划(修编版)》^[10]中处于辽河三角洲湿地生物多样性保护区,在《中国生物多样性保护优先区域范围》中盘锦辽东湾海域位于黄渤海生物多样性保护优先区域。盘锦市拥有中国高纬度地区面积最大的滨海芦苇沼泽区,被誉为“国际重要湿地、中国最美湿地”,是世界上生态系统保存最完好的湿地之一,湿地上生长着芦苇、翅碱蓬、香蒲等维管束植物 120 余种,分布脊椎动物 415 种,鸟类有 263 种,生物多样性维护功能是盘锦市最重要的生态系统服务功能。然而随着城镇用地扩张、旅游开发活动加剧,湿地生态系统受到显著干扰,面积呈减小趋势,且因历史原因,湿地内油气开采用地面积较大且分布分散,对盘锦市生物多样性维护功能造成一定的影响^[11, 12]。本研究应用 MaxEnt 模型和 NPP 法,预测重点保护物种的生境适宜性以及生物多样性功能重要性分布,并据此分析 2 种方法在生物多样性维护生态保护红线划定中的优缺点,以期能为生态保护红线划定提供理论支撑与决策依据。

1 研究区及研究方法

1.1 研究区概况

盘锦市位于辽宁省西南部,辽河三角洲中心地带,南临渤海辽东湾,北纬 40°39′—41°27′、东经 121°25′—122°31′之间,总面积 4061.9km²,处于暖温带半湿润大陆季风气候,气候温和,雨量适中,四季分明,无霜期长。区域内多年平均降水量为 579—669mm,多年平均气温为 8.73—9.80℃,地貌类型为由辽河、大辽河、大凌河及其支流冲积而成的冲积平原,海拔平均高度 2—4m,地势低洼平坦,由北向南逐渐倾斜,坡度在 2°以内。多水无山,境内河流 21 条,拥有丰富的湿地资源。物种资源丰富,主要珍稀野生动植物分布在辽河口国家级和省级自然保护区,国家 I 类保护鸟类有东方白鹳、黑鹳、丹顶鹤、白鹤、白头鹤、遗鸥等 9 种,国家 II 类保护鸟类有白琵鹭、黑脸琵鹭、大天鹅、鸳鸯、白枕鹤、灰鹤、小杓鹬等 40 种。盘锦土地利用类型包括耕地、湿地、人工建设用地、林地、滩涂等,其中耕地分布广泛,湿地主要集中在自然保护区以及羊圈子湿地,属于芦苇湿地,为鸟类分布的主要场所(图 1)。

1.2 数据与方法

1.2.1 研究方法

(1) 物种分布模型法

MaxEnt(最大熵, Maximum Entropy)模型是一种基于最大熵理论的物种分布模型,通过训练物种分布点数据,结合物种所在区域的环境数据,可预测整个区域中每个点的生境适宜度^[4, 5, 13-16]。近几年 MaxEnt 模型以其模拟准确度较高、计算效率高和简单易用,被广泛应用于物种潜在适宜生境预测^[6, 17-20]。SDM 工具包(Species Distribution Model, SDM)是基于 ArcGIS 的工具插件,可以调用并高效执行 MaxEnt 模型,其工具包中的物种分布点自动筛选、环境变量空间自相关分析等功能,可以提高 MaxEnt 模型的应用效率^[21]并自动生成图示结果。其实际操作过程包括:数据预处理(将物种分布点位和环境变量数据处理为规范格式数据)、环境变量的主成分分析、环境变量的空间异质性计算、物种分布点位空间筛选、物种分布点位背景选择、MaxEnt 模型运行^[21]。

1) 物种分布模型建立

本研究以盘锦市国家一、二级保护物种和其他具有重要保护价值的物种为研究对象,收集区域重要物种的鸟类分布点作为样点输入模型中。由于不同鸟类分布较为集中,为模型实际操作方便,将不同鸟类统一看作一个鸟类种群进行模拟。盘锦市不同区域海拔、气温、降水等因子基本一致,其对鸟类适宜生境选择的影响较小,故考虑对鸟类生境选择有较大影响的环境现状因素,最终选取的环境变量数据包括:植被覆盖度、土地利用类型、距水域距离、距居住地距离、距高等级公路(县级及以上道路)距离、距低等级公路(乡镇和林间道路)距离。利用 SDM 工具包中的 Remove Highly Correlated Variables 工具,设置最大允许相关系数为 0.8,剔除相关性过高($r > 0.8$)的环境变量,检验结果表明本研究的 5 个环境变量均符合要求。分别将鸟类分布数据及环境变量导入,随机选取 75% 的鸟类分布数据用于建模,剩余 25% 的鸟类分布数据用于模型检验。设模型运行次数为 10 次^[9],取 10 次模拟结果的平均值作为最终模拟结果。选择创建每个环境变量的响应曲线,评价每个环境变量对模型的贡献率,采用 Jackknife 检验对环境因子的重要性进行分析,并用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC 曲线)下面积即 AUC 值(area under curve)对模型的精度进行评价。AUC 值越大,表示环境变量与预测物种分布模型之间相关性越大,预测效果也就越好,一般认为 AUC 值在 0.5—0.6,失败;0.6—0.7,较差;0.7—0.8,一般;0.8—0.9,好;0.9—1.0,非常好^[6, 18-23]。

2) 鸟类分布适宜性分析

ROC 曲线是以灵敏度(sensitivity)为纵坐标,1-特异度(specificity)为横坐标绘制的曲线。本研究中灵敏度即为模型能正确预测适宜分布点的个数与实际所有适宜分布点的个数的比值;特异度即为模型能正确预测非适宜分布点的个数与实际所有非适宜分布点个数的比值。一般根据最大约登指数为最佳临界点^[9, 24]对应到模拟结果概率值,以该概率值作为判定是否为适宜生境的阈值。约登指数(Youden's index)定义为:灵敏度与特异度之和减去 1。本文利用模型输出结果确定最大约登指数并确定其对应阈值,根据该阈值利用 ArcGIS 重分类,判定大于该阈值为鸟类适宜分布区,小于该阈值为鸟类非适宜分布区。

(2) NPP 法

NPP 法是以生物多样性维护服务能力指数作为评估指标划定生物多样性维护功能生态保护红线,计算

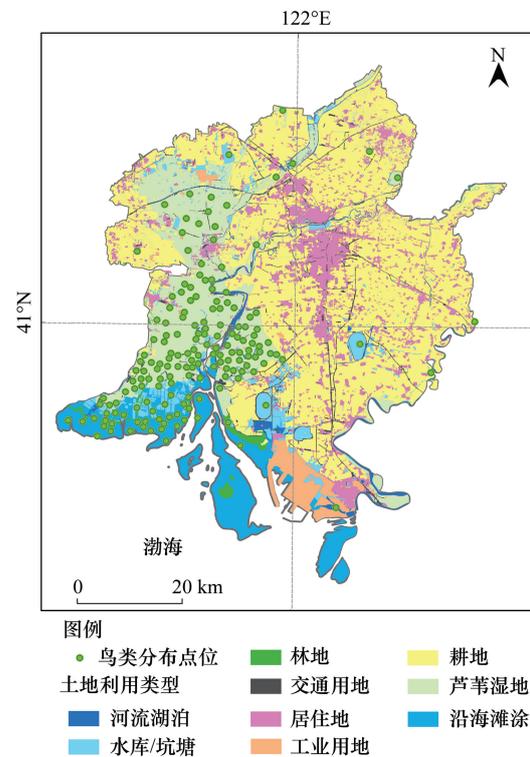


图 1 研究区土地利用类型及鸟类分布图

Fig.1 The land use types of study area and distribution of birds

公式为^[1]:

$$S_{\text{bio}} = \text{NPP}_{\text{mean}} \times F_{\text{pre}} \times F_{\text{tem}} \times (1 - F_{\text{alt}})$$

式中: S_{bio} 为生物多样性维护服务能力指数, NPP_{mean} 为多年植被净初级生产力平均值, F_{pre} 为多年平均降水量, F_{tem} 为多年平均气温, F_{alt} 为海拔因子。

将各因子数据重采样至 250m 栅格,在 ArcGIS 栅格计算器中,采用最大最小值法将重采样数据归一化到 0—1 之间,根据公式计算得到生物多样性维护服务能力指数。导出栅格数据属性表,属性表记录了每一个栅格像元的生物多样性服务能力值,将服务值按从高到低的顺序排列,计算累加服务值。将累加服务值占生态系统服务总值比例的 50% 与 80% 所对应的栅格值,作为生物多样性维护功能评估分级的分界点,利用重分类工具,将生物多样性维护功能重要性分为 3 级,即极重要、重要和一般重要,将极重要区域划定为生物多样性维护生态保护红线。

1.2.2 数据来源与处理

(1) 物种分布模型中数据来源

本研究鸟类分布点位来自盘锦市林业局与黑嘴鸥保护协会提供的 2015 年盘锦鸟类分布数据,共收集区域重要物种的鸟类分布点 408 个,通过物种分布点位空间筛选,最终保留 169 个鸟类分布点位。环境变量中植被覆盖度数据由遥感影像计算得到,从地理空间数据云网站(www.gscloud.cn)下载覆盖研究区范围的 Landsat8 遥感影像数据,选出 2016 年晴朗无云、质量好的影像经几何校正、大气校正后波段运算得出;土地利用类型由 2016 年 Landsat8 影像遥感解译得到,包括林地、耕地、水域、人工表面、芦苇湿地、滩涂等土地利用类型,其中人工表面包括城镇、村庄、道路、采矿用地等;在 ArcGIS10.2 中通过欧式距离分析算得研究区各个像元距道路距离、距水域距离、距居住地距离。所有环境变量转化为 90m×90m 栅格数据,统一到 WGS_1984_UTM_Zone_51N 投影坐标系,利用 SDM 工具包中的 Raster to ASCII 工具将所有环境数据转化为 ASCII 格式。

表 1 NPP 法数据来源表

Table 1 Data source table of NPP method

名称 Name	类型 Type	分辨率 Resolution	数据来源 Data sources
NPP 数据集 NPP dataset	栅格	250m	全国生态状况遥感调查与评估成果
气象数据集 Meteorological dataset	文本	—	中国气象科学数据共享服务网
高程数据集 Elevation dataset	栅格	30m	地理空间数据云网站

(2) NPP 方法中数据来源

多年平均降水量因子 F_{pre} :在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均降水量,将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点(点图层)数据相连接(Join)。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项,选择相应的插值方法得到多年平均降水量栅格图。

多年平均气温因子 F_{tem} :在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均气温,将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点(点图层)数据相连接(Join)。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项,选择相应的插值方法得到多年平均气温栅格图。

2 结果与分析

2.1 物种分布模型法

2.1.1 精度评价

模拟结果的 AUC 平均值为 0.822,表明模型的预测结果精准度较好,所建模型可用于研究区鸟类分布适宜性研究(图 2)。

2.1.2 鸟类分布地适宜性与环境因子的关系

各环境变量对模型的综合贡献率结果显示(图 3),距水域距离对模型的贡献率最为显著,贡献率为 54.

1%;土地利用类型对模型的贡献率也较大,为 32.5%;该两种环境变量是影响鸟类分布最主要的因素;其他因素对模型的贡献率均小于 10%,其中距高等级公路距离的贡献率为 7.9%;植被覆盖度和距居住地距离的贡献率相近,分别为 2.6%、2.5%;而距低等级公路距离的贡献率仅为 0.4%,说明其对鸟类分布地选择的影响微乎其微。

2.1.3 鸟类适宜生境分布

基于 MaxEnt 模型模拟得到盘锦市鸟类分布适宜性指数分布图,根据最大约登指数确定生境适宜性阈值为 0.299。利用 ArcGIS 得到鸟类生境适宜性分布如图 4 所示。适宜生境面积为 1019.21km²、不适宜生境面积为 3043.32km²,分别占研究区总面积的 25.09%和 74.91%。从图中可以看出:鸟类适宜生境主要分布在辽河口国家级和省级自然保护区、羊圈子湿地以及沿海部分区域,辽河口国家级和省级自然保护区是盘锦市滨海湿地生态系统及珍稀鸟类的重要保护地,羊圈子湿地为辽宁省重要湿地,具有生物多样性保护、水源涵养重要功能,这些区域由于大面积的自然芦苇湿地受到保护,人类干预较少,适宜鸟类栖息;不适宜生境主要分布在人类活动频繁,干扰较大的地区。基于此结果,划定适宜生境区域为生物多样性维护生态保护红线。

2.2 NPP 方法

通过前文的公式和方法,得到盘锦市生物多样性维护功能重要性分布图(图 5),其中极重要区面积为 286.5km²、重要区面积为 2645.62km²、一般重要区面积为 554.62km²,分别占盘锦市面积的 8.22%、75.88%、15.91%。从图中可以看出:生物多样性维护功能极重要区集中在滨海的辽河口自然保护区,以及东部的大辽河区域;一般重要区主要分布在城镇等人为活动集中的区域;其余的大部分区域均为重要区,涵盖村庄、农田等土地利用类型。基于此结果,划定极重要区域为生物多样性维护生态保护红线。

2.3 物种分布模型法与 NPP 法结果对比

NPP 方法和 MaxEnt 模型法都显示辽河口国家级自然保护区和省级自然保护区部分地区为生物多样性极重要区(图 6),但 NPP 方法得到的适宜区范围较小,没有覆盖保护区大部分范围。此外,NPP 方法显示盘锦东部大辽河湿地也是生物多样性维护极重要区,而 MaxEnt 模型法显示该区域为鸟类分布非适宜区,通过高清遥感影像和野外实地调研发现,该区域现状为耕地,种植大面积的玉米等农作物,由于玉米相对于芦苇有更高的 NPP 值,从而判定该区域为生物多样性维护功能极重要区域,但根据野外调查结果,该区域人为干扰较大,鸟类对人类活动有一定的回避距离,该区域鸟类分布远远低于芦苇湿地和沿海滩涂;此外 NPP 方法显示,羊圈子湿地为生物多样性维护功能一般重要区域,而 MaxEnt 模型显示大部分羊圈子湿地为鸟类适宜区,根据

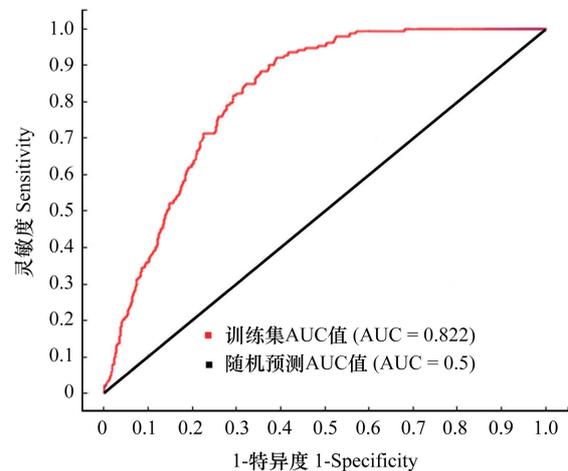


图2 ROC 曲线图

Fig.2 ROC curve graph

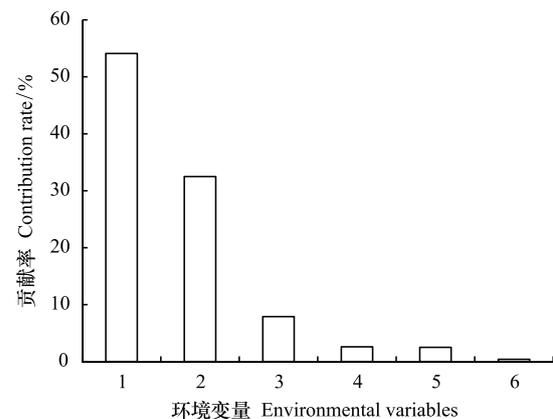


图3 各环境变量对 Maxent 模型的贡献率

Fig.3 The contribution of each environmental variable to the Maxent model

1) 距水域距离 Distance to water; 2) 土地利用类型 Land use type; 3) 距高等级公路距离 Distance to high-grade roads; 4) 植被覆盖度 Vegetation coverage; 5) 距居住地距离 Distance to domicile; 6) 距低等级公路距离 Distance to low-grade roads

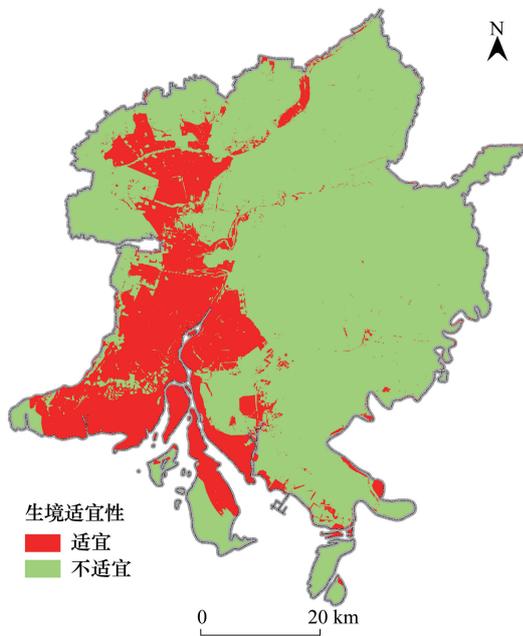


图4 鸟类生境适宜性分布图

Fig.4 The distribution of the suitable habitat of birds

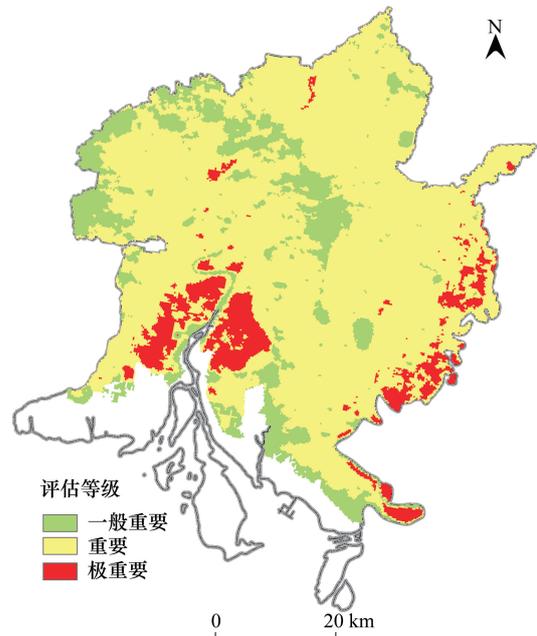


图5 NPP方法评估结果

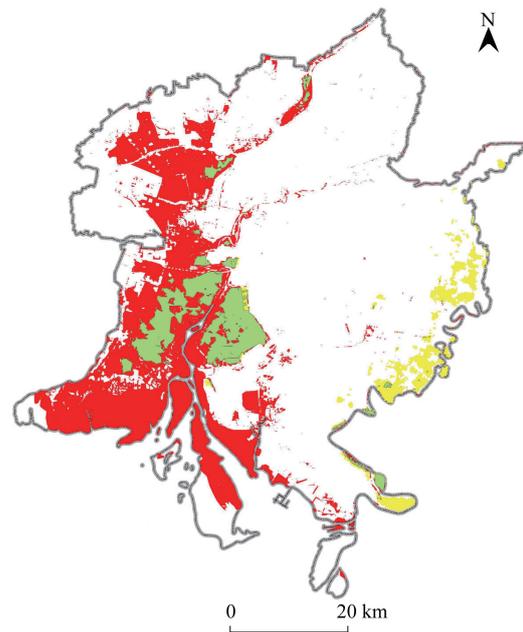
Fig.5 NPP method evaluation results

野外调查以及历史资料,该区域也分布有大量的保护鸟类。因此,通过两种方法结果与实际鸟类分布情况进行对比,从城市尺度来看,MaxEnt 模型法模拟结果更准确,与实际现状更相符。

相对于 NPP 法,物种分布模型法需获取现有的物种分布数据,所需环境变量较多,实际计算较为复杂,在生态保护红线划定中应用较少,但研究表明,选用物种分布模型的结果更为科学合理,在选择环境变量时,应选择对物种分布变化影响较大的环境变量,对于分布集中的不同保护物种,也可视作同一物种进行模拟,从而使模型操作得到简化。因此,物种分布模型应用于城市尺度的生态保护红线划定中更有实际意义。

2.4 生态保护红线的划定

基于 Maxent 模型结果,根据生态保护红线整体性、系统性的原则要求,划定盘锦生物多样性维护功能生态保护红线面积 1050.17km²,占盘锦市陆域面积的 25.85%,如图 7 所示,生态保护红线基本覆盖了境内东方白鹳、丹顶鹤、黑嘴鸥、震旦鸦雀等所有重点珍稀野生物种的栖息地和迁移路径的停歇地,该结果能为盘锦珍稀濒危鸟类的保护与管理提供科学支撑。



两种评估方法结果对比
 两种方法划定结果重叠区域
 NPP方法划定结果
 MaxEnt模型划定结果

图6 两种评估方法结果对比图

Fig.6 Comparison between two results of two different assessment methods

3 结论

本文以盘锦市为研究区域,分别采用《生态保护红线划定指南》中的物种分布模型法和 NPP 法进行生物多样性维护功能重要性评价,进而对两种方法进行对比,研究发现两种方法划定结果差异显著,从城市尺度来看,物种分布模型法划定的生物多样性极重要区比 NPP 方法结果更准确,与实际现状更相符。因此基于物种分布模型法,最终划定盘锦市生物多样性保护红线面积 1050.17km²,占盘锦市陆域面积的 25.85%。研究结果表明除自然保护区外,盘锦西北部的羊圈子湿地、绕阳河湿地、辽河湿地、沿海滩涂等也是保护鸟类的重要栖息地和迁徙停歇地,可见,保护鸟类适宜生境应远远大于现有辽河口自然保护区的范围。本研究对于生态保护红线划定中的方法选择具有重要的指导意义,同时也为生态格局构建中的生态源地识别^[25,26]提供了新思路和新方法。

参考文献 (References):

- [1] 环境保护部,国家发展改革委.生态保护红线划定指南.北京:环境保护部,国家发展改革委,2017.
- [2] 侯笑云,刘世梁,成方妍,赵爽,武雪,贾克敬,祁帆,杨枫.生态保护红线划定中生物多样性重要性评价的不同方法对比研究.科研信息化技术与应用,2017,8(3):79-88.
- [3] 许仲林,彭焕华,彭守璋.物种分布模型的发展及评价方法.生态学报,2015,35(2):557-567.
- [4] 雷军成,徐海根.基于 MaxEnt 的加拿大一枝黄花在中国的潜在分布区预测.生态与农村环境学报,2010,26(2):137-141.
- [5] 刘振生,高惠,滕丽微,苏云,王晓勤,孔芳毅.基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价.生态学报,2013,33(22):7243-7249.
- [6] 胡忠俊,张德镗,于海彬.基于 MaxEnt 模型和 GIS 的青藏高原紫花针茅分布格局模拟.应用生态学报,2015,26(2):505-511.
- [7] 郭彦龙,卫海燕,路春燕,张海龙,顾蔚.气候变化下桃儿七潜在地理分布的预测.植物生态学报,2014,38(3):249-261.
- [8] 张慧,高喜喜,马孟泉,邵方泽,王桥,李广宇,仇洁,周可新.基于 MaxEnt 模型的道路对朱鹮繁殖地的影响.应用生态学报,2017,28(4):1352-1359.
- [9] 吴文,李月辉,胡远满,陈龙,李悦,李泽鸣,聂志文,陈探.小兴安岭南麓马鹿冬季适宜生境评价.生物多样性,2016,24(1):20-29.
- [10] 环境保护部,中国科学院.全国生态功能区划(修编版).北京:环境保护部,中国科学院,2015.
- [11] 李东,孙德超,王国生,胡艳玲.盘锦滨海湿地的现状与保护对策.湿地科学与管理,2012,8(2):26-28.
- [12] 王诗慧.盘锦双台河口湿地生物多样性的调查与保护的研究[D].大连:大连海事大学,2015.
- [13] 麻亚鸿.基于最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统(ArcGIS)预测蕨类植物的地理分布范围——以广西花坪自然保护区为例[D].上海:上海师范大学,2013.
- [14] 张熙鹭,隋晓云,吕植,陈毅峰.基于 Maxent 的两种入侵性鱼类(麦穗鱼和鲫)的全球适生区预测.生物多样性,2014,22(2):182-188.
- [15] 王袁.基于 MaxEnt 模型的神农架川金丝猴不同季节生境识别[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [16] 吴庆明,王磊,朱瑞萍,杨宇博,金洪阳,邹红菲.基于 MAXENT 模型的丹顶鹤营巢生境适宜性分析——以扎龙保护区为例.生态学报,2016,36(12):3758-3764.
- [17] 徐卫华,罗翀. MAXENT 模型在秦岭川金丝猴生境评价中的应用.森林工程,2010,26(2):1-3,26-26.
- [18] 齐增湘,徐卫华,熊兴耀,欧阳志云,郑华,甘德欣.基于 MAXENT 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价.生物多样性,2011,19(3):343-352.
- [19] 李明阳,席庆,徐海根.基于 WEB 数据库和 Maxent 模型的白头叶猴潜在生境评价研究.林业资源管理,2010,(4):31-36,57-57.
- [20] 孙瑜,史明昌,彭欢,朱沛林,刘思林,吴石磊,何诚,陈锋.基于 MAXENT 模型的黑龙大大兴安岭森林雷击火火险预测.应用生态学报,2014,25(4):1100-1106.
- [21] Brown J L. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. Methods in Ecology and Evolution, 2014, 5(7): 694-700.
- [22] 蒋琳.人类干扰对朱鹮繁殖生物学及游荡期警戒行为的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2008.
- [23] Araújo M B, Pearson R G, Thuiller W, Erhard M. Validation of species-climate impact models under climate change. Global Change Biology, 2005, 11(9): 1504-1513.
- [24] 侯宁,戴强,冉江洪,焦迎迎,程勇,赵成.大相岭山系泥巴山大熊猫生境廊道设计.应用与环境生物学报,2014,20(6):1039-1045.
- [25] 彭建,赵会娟,刘焱序,吴健生.区域生态安全格局构建研究进展与展望.地理研究,2017,36(3):407-419.
- [26] 陈昕,彭建,刘焱序,杨旸,李贵才.基于“重要性—敏感性—连通性”框架的云浮市生态安全格局构建.地理研究,2017,36(3):471-484.

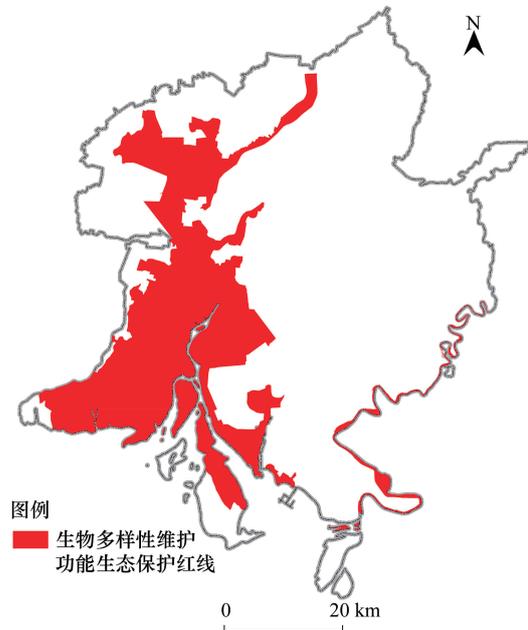


图7 盘锦生物多样性维护生态保护红线划定结果图

Fig.7 Ecological protection red line delineation result chart of biodiversity conservation in Panjin