

基于证据权重法的丹顶鹤栖息地适宜性评价

秦喜文^{1,2,3}, 张树清^{1,*}, 李晓峰¹, 那晓东^{1,2}, 潘 欣^{1,2}, 于 欢^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 长春工业大学基础科学学院 吉林 长春 130012;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:采用证据权重法对扎龙丹顶鹤栖息地适宜性进行评价。利用 RS 和 GIS 的空间分析功能, 分别提取土地利用、植被、铁路、国道及居民点的信息, 建立证据专题层, 确定相应证据层的权重值, 然后进行条件独立性检验, 最后生成后验概率图。利用证据权重法可以客观定量地评价栖息地适宜性, 同样, 一个客观的栖息地适宜性评价模型可以评估生物多样性价值, 管理和保护湿地, 为决策者保护珍贵的栖息环境提供智力支持。

关键词:栖息地适宜性; 证据权重法; 丹顶鹤

文章编号: 1000-0933(2009)03-1074-09 中图分类号: Q29; Q03 文献标识码: A

Assessment of Red-crowned Crane's habitat suitability based on weights-of-evidence

QIN Xi-Wen^{1,2,3}, ZHANG Shu-Qing^{1,*}, LI Xiao-Feng¹, NA Xiao-Dong^{1,2}, PAN Xin^{1,2}, YU Huan^{1,2}

1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun Jilin 130012, China

2 School of Basic Sciences, Changchun University of Technology, Changchun Jilin 130012, China

3 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1074 ~ 1082.

Abstract: The weights of evidence (WofE) model was applied to study the habitat suitability assessment of Red-crowned Crane in Zhalong. The evidence factors involves land-use types, vegetable types, railway buffer, national highway buffer and residential area buffer, which were derived from maps based on RS and GIS spatial analysis. Calculated weights for each predictive map or evidence map, and conditional independence were tested to identify the maps. Combining the evidential themes to create a posterior probability theme. An objective assessment of habitat suitability provides a rational basis for management decisions incorporating impact on species habitat. WofE model was proven suitable to generate spatial habitat species occurrence relationships. Hence WofE may constitute an effective tool that combines spatial data to describe and analyse interactions among evidential themes while providing support for decisions makers.

Key Words: habitat suitability; weights-of-evidence; Red-crowned Crane

栖息地适宜性模型的预测方法主要可分为机器学习和统计分析方法两类。机器学习方法是一种非参数化的分类技术, 与统计分析方法相比具有如下优势: 变量指标的自处理能力、能够处理预测指标的非线性关系、具有去噪的功能。限制性在于: 影响学习系统最重要的因素是环境向系统提供的信息, 因为学习系统获得的信息往往是不完全的, 所以学习系统所进行的推理并不完全是可靠的, 而且学习部分的任务比较繁重, 设计起来也较为困难。经典的统计模型包括: 线性回归模型、广义线性模型 (generalized linear models)、广义加法

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX3-SW-356); 联合国开发计划署 (UNDP)/全球环境基金 (GEF) 资助项目 (CPR/98/G32); 地球系统科学数据共享网资助项目 (2006DKA32300-16); 国家“十一五”科技支撑重点资助项目 (2006BAD23B03)

收稿日期: 2008-08-27; 修订日期: 2008-12-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shqzhang@263.net

模型(generalized additive models)^[1~3],广义的回归分析及空间预测模型以及环境包络模型(environmental envelop models)。环境包络模型根据生态地学变量将多维空间变量划分为同质类别的方法也被用于预测栖息地的适宜性,其中最常用的是 BIOCLIM 模型^[4]、HABITAT 模型^[5]、DOMAIN 模型^[6]、ENFA 模型^[7]、贝叶斯推理模型^[8,9]和证据权重模型。证据权重模型是加拿大数学地质学家 Agterberg 提出的一种地统计学模型,Raul 等将其应用于建立基于多生境因子的栖息地适宜性评价模型^[10]。证据权重法基于贝叶斯概率建立物种的空间分布与生境因子的统计关系,并且可以客观的选择权重因子建立生境的适宜性评价模型,易于同 GIS 模型相结合,适用于景观尺度的物种分布预测研究,其限制性条件是分析的证据因子图层必须是条件独立的。

国内张恩迪等结合距离河流的距离、土地利用类型、距道路的距离、距居民点的距离采用模糊赋值求积的方法评价盐城保护区獐栖息地的质量^[11]。张文广等对比模糊赋值求积法和主成分分析法对大相岭大熊猫的栖息地的适宜性评价^[12]。这些适宜性评价方法中的权重值是人为给定的,具有很大的主观性。具体应用表明,不同的适宜性评价方法会产生不同的物种分布范围,模型的精度还取决于所研究的物种。所以有必要对所选模型进行精度的检验,针对所研究物种选择合适的适宜性评价模型。研究方法逐渐由地面典型物种和生境调查到利用遥感技术和地理信息系统技术进行定量化分析,也有研究利用模型开展物种与生境关系的探讨^[13]。

鉴于合理性考虑,这项工作主要利用空间分析和现有的数据集来探讨栖息地质量进行快速评估方法。证据权重法是一种结合空间数据来描述和分析其相互作用的有效工具,并为决策者提供智力支持。该证据权重法是在某一特定的假设前提下,结合证据因子的一种定量分析方法。大部分的证据权重模型应用属于地质矿产方面,预测矿产资源可能分布的范围^[14,15]。为了提高现有的湿地管理计划,在栖息地适宜性方面,提供了在不同方面的一个客观的评价成果^[16]。利用指示物种和预测模型,可以找出物种分布,环境数据和生态条件之间的因果关系,为珍稀物种分布和评估适宜区域,是一个挑战。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

扎龙国家级湿地自然保护区位于松嫩平原西部,是我国首批被列入《国际重要湿地名录》的湿地之一,也是我国丹顶鹤重要的繁殖地^[17]。扎龙国家级自然保护区位于黑龙江省西部,乌裕尔河下游,齐齐哈尔市东南部,涉及齐齐哈尔市的富裕县、泰来县和大庆市的杜尔伯特蒙古族自治县、林甸县。总面积约 2100 km²,地理坐标为 46°52′~47°32′N,123°47′~124°37′E,其中湿地组成中以芦苇沼泽面积最大,总盖度 80%~90%,形成以芦苇(*Phragmites Australis*)沼泽为单优势种的植物群落,还有少量的香蒲(*Typhae latifolia*)沼泽、苔草(*Carex tristachya*)沼泽、漂筏苔草(*Carex pseudocuraica*)沼泽及草甸草原等。据调查,该地区有鸟类 269 种,尤以鹤类的种类多、数量大而闻名于世^[18]。扎龙保护区是中国北方同纬度地区保留最完整、最原始、最开阔的湿地保护区,其中丹顶鹤栖息数量约占全世界野生种群总量的 1/6。扎龙保护区地处寒温带大陆性季风气候半干旱区,全区平均海拔 144m。年平均气温为 2~4.2℃,最高气温为 36.6℃,最低气温为 -35.0℃,年降水量为 416mm,7~9 月份的降水量占全年降水量的 70%,水面年蒸发量为 900~1 000 mm。保护区地势低洼平坦处,分布着众多泡沼和湖泊,由于地下水位高,排水不畅,土壤盐渍化现象比较普遍。乌裕尔河是扎龙湿地的主要水源。乌裕尔河流至该区,已失去明显河道,河水漫溢形成大面积永久性 or 季节性淡水湿地,并以小型浅水湖泊、芦苇沼泽和草甸草原为主要类型。

1.2 数据源

本研究数据主要来源于白鹤全球环境基金(GEF)项目,利用 2004 年 1:10 万扎龙保护区土地利用图、2004 年 1:10 万扎龙植被分布图,将铁路、国道的缓冲距离分别设为 0~100m、100~500m、500~1000m 及 1000m 以上,建立扎龙铁路缓冲距离栅格图和扎龙国道缓冲距离栅格图,将居民点的缓冲距离分别设为 0~500m、500~1000m、1000~1500m 及 1500m 以上,建立扎龙居民点缓冲距离栅格图及 2004 年扎龙保护区丹顶鹤巢址分布数据(图 1)。丹顶鹤巢址数据由 GEF 项目组提供,结合研究区实际情况,丹顶鹤巢址为矢量数

据,其他的数据源均为栅格数据,土地利用类型主要包括沼泽地、居民地、未利用地、耕地、水域、林地、草地,植被类型主要包括芦苇湿地、水田、碱蓬、旱地、羊草草甸、盐碱地、灌木林、杨树林。

利用 Arcgis9.1、Arcview3.3 和 ERDAS8.6 软件实现数据整理、输入及空间分析等功能。根据丹顶鹤的生境特性,结合研究区的实际情况,调查得知丹顶鹤栖息环境主要分布在芦苇沼泽湿地,远离人类活动干扰区域,整理了与丹顶鹤栖息地适宜性密切相关的信息,其中包括土地利用类型,植被类型,人类活动的干扰因子(铁路、国道与居民点)信息作为预测变量。

本模型预测是在 Arcview 平台的证据权重法扩展模块(Wofe Extensions)完成的。预测步骤为:丹顶鹤巢址提取→前验概率计算→各证据层权重计算→条件独立性检验→后验概率计算(适宜区域预测)。

1.3 研究方法

证据权重法是一种基于数据驱动、离散多元统计方法,应用条件概率来决定证据因子的重要程度。证据权重法用于组合各种证据因子的空间数据,描述和分析数据之间的相互作用,建立预测模型,为决策者提供支持。证据权重法是加拿大数学地质学家 Agterberg 提出的基于二值图像的一种地学统计方法,是一种在假设条件独立的前提下综合证据因子的定量预测方法^[19]。基于二

值图像,通过对证据因子相关的信息的叠加分析进行预测,其中每一种证据信息都作为预测的一个证据因子,而每一个证据因子对预测结果的贡献由其权重值确定。设研究区域划分成等面积的 T 个单元,其中 D 个单元为存在物种单元。对任意一个证据因子,其权重:

$$W^+ = \ln \left[\frac{P(B|D)}{P(B|\bar{D})} \right], W^- = \ln \left[\frac{P(\bar{B}|D)}{P(\bar{B}|\bar{D})} \right]$$

式中, W^+ , W^- 分别代表证据因子存在区和不存在区的权重值,原始数据缺失区权重值为零, B 为因子存在区的单元数, $\bar{B}$ 为因子不存在区的单元数。

证据权重法要求各证据因子之间相对与物种分别满足条件独立。对于 n 个证据因子,若它们都关于物种分布条件独立,则研究区任一单元 k 为物种分布的可能性,即后验几率 Q ,用对数表示为:

$$\ln(Q) = \ln\left(\frac{D}{T-D}\right) + \sum_{j=1}^n W_j^k \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中, W_j^k 为第 j 个因子的权重:

$$W_j^k = \begin{cases} W_j^+ & \text{证据因子 } j \text{ 存在} \\ W_j^- & \text{证据因子 } j \text{ 不存在} \\ 0 & \text{数据缺失} \end{cases}$$

而后验概率为 $P = Q/(1+Q)$ 。

该模型并不要求对区域影响因素的重要性有先验的知识,它用统计学方法研究各影响因素与分布的关系。证据权重法属于数据驱动方法其优点是避免了权值选择的主观性,易于结合 GIS 组合多图件模式。后验

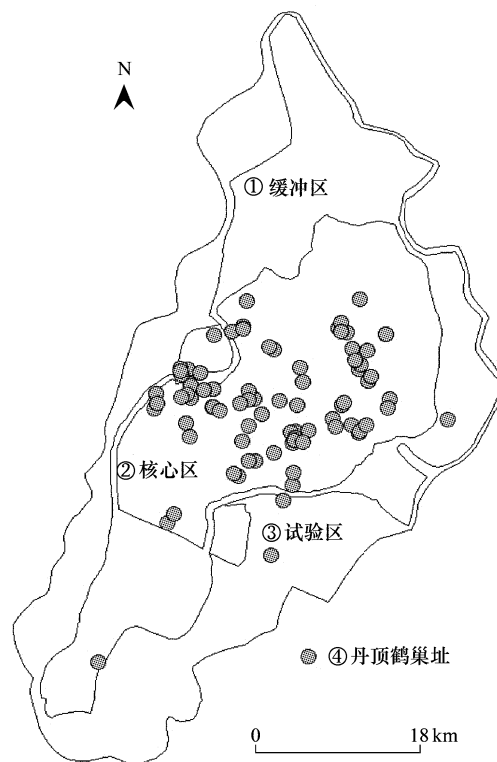


图1 2004年丹顶鹤巢址分布

Fig. 1 Distribution of Red-crowned Crane nest site in 2004

① Buffer zone; ② Core zone; ③ Experimental zone; ④ Red-crowned Crane nest site

概率图是依据已知的空间分布来预测物种的空间分布。

证据权重法包括响应变量的估计和一系列预测因子(如环境因子、社会因子、植被因子、土地利用等 GIS 图层)。就预测物种的分布而言,一系列二值图像为预测物种提供前提条件,物种的活动场所被看作点数据。证据因子由一系列空间数据及其他属性专题图组成,进而将其看作预测因子。

本文采用证据权重法来评价预测丹顶鹤栖息地适宜性。证据权重法主要实现步骤如下:

(1) 计算权重,生成证据专题图

证据权重分析结果中的统计分析量包括正权重、负权重、对比度和学生化对比度值。每个指标都可以反映证据因子和训练点的空间联系。正权重、负权重代表着已知点(丹顶鹤巢址)和证据因子专题图之间的空间联系。对比度衡量预测点和证据因子之间的空间关系,计算公式如下:

$$C = W^+ - W^-$$

对比度 C 值越大表明预测点与证据因子空间相关性越强。对比度图的间断点也可以识别重要的阈值,将数据分成不同的类别。如果满足正空间关系,则 C 是正值,通常情况下在 $0 \sim 2$ 之间,如果满足空间关系负相关, C 是负值,取值范围大致相同。在大面积和大量训练点的情况下,最大的对比度常常可以给出预测点最佳的空间相关方法。然而,在较小面积和少量数据点的时候,权重值的不确定性变大,对比度值就变得无意义了。学生化对比度值是一种有效的方法:

$$C_s = \frac{C}{\sigma(C)}$$

C_s 作为发生点和研究区域之间的空间联系的近似检验,在选择分类 C_s 比 C 更有效。考虑证据专题图每类中权重、对比度及学生化对比度,定义适当的断点来产生每个证据专题图。

(2) 检验条件独立性

预测专题图必须假定证据专题图的条件独立性。多种方法可以检验条件独立性。检验条件独立性的目的是拒绝或接受证据专题图

(3) 生成后验概率专题图

综合证据权重专题图生成最终的预测专题图,预测图用后验概率来表示。根据不同的阈值确定不同的分类。后验概率图大致分为三种类型:适宜性区域;次适宜性区域;非适宜性区域。

(4) 模型评价

在建模的过程中,模型评价是非常重要的步骤。理论上来说,模型评价应该采用独立的数据进行验证。关于模型评价有几类方法,大部分学者认同两个常规的模型评价方法:(i) 先利用单一数据来校正模型,然后再进行评价模型;(ii) 利用两个相互独立的数据集,一个数据进行校正,一个数据进行评价模型。当两个数据集来自原始的同一个数据集,这种方法被称为分离样本法。本文采用分离样本法来评价丹顶鹤栖息地的预测模型。85 个丹顶鹤巢址被随机的分成两部分。一部分占 75% 的巢址数据用来建立模型。利用其他的 25% 的巢址数据进行预测模型的评价。

2 结果与分析

证据权重模型可以模拟物种栖息地分布的空间关系。该模型结合空间数据来描述和分析其相互作用,并为决策者提供智力支持,是一个有效的工具。丹顶鹤作为一种湿地环境的典型指示物种,其栖息地的空间特征与丹顶鹤巢址的空间属性阈值之间关系,为恢复和维持生物多样性,提高湿地管理水平提供了有益的信息资源。

2.1 计算权重

基于 ArcView 平台的证据权重法扩展模块,计算各个证据因子的权重,利用丹顶鹤巢址数据作为计算权重因子的训练点专题,采用 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的网格单元,计算得到前验概率为 0.029,权重的大小主要根据已知丹顶鹤巢址数据和证据因子之间的空间位置关系来确定。各个证据因子栅格专题图,利用 Arc-wofe 模块功能实现各个专题权重的计算,通过已知点数据(丹顶鹤巢址)计算每一个证据因子的权重,利用点数据与专题图

不同类之间叠加关系计算每类一个权重值,计算权重方法见表 1,每个证据专题的权重、对比度及学生化对比度见表 2~表 5。

表 1 计算权重的方法

Table 1 Approaches used to calculate weights

证据专题 Evidential themes	计算权重的类型 Type of calculated weights	数据类型 Type of data
土地利用图 Land use map	分类权重 Categorical weights	有序变量 Ordinal variable
植被图 Vegetation map	分类权重 Categorical weights	有序变量 Ordinal variable
与国道距离 Distance to national road (m)	累积递减权重 Cumulative descending weights	有序变量 Ordinal variable
与铁路距离 Distance to railway (m)	累积递减权重 Cumulative descending weights	有序变量 Ordinal variable
与居民点距离 Distance to residential area (m)	累积递减权重 Cumulative descending weights	有序变量 Ordinal variable

表 2 土地利用类型的权重、对比度、学生化对比度

Table 2 Summary of weights, contrast and studentized C for land use

类别 Class	W^+	$\sigma(W^+)$	W^-	$\sigma(W^-)$	C	$\sigma(C)$	C_S
水域 Waters							
居民地 Residential area							
耕地 Cultivated land							
沼泽地 Marsh	0.5963	0.1143	-2.5861	0.5782	3.1824	0.5894	5.3994
林地 Forestland							
草地 Meadow							
未利用地 Unused land							

表 3 植被类型的权重、对比度、学生化对比度

Table 3 Summary of weights, contrast and studentized C for vegetation

类别 Class	W^+	$\sigma(W^+)$	W^-	$\sigma(W^-)$	C	$\sigma(C)$	C_S
水田 Paddy field							
碱蓬 Suaeda salsa							
旱地 Dry land							
芦苇湿地 Reed wetland	0.5477	0.1141	-2.5279	0.5783	3.0756	0.5894	5.2182
杨树林 Poplar forest							
羊草草甸 Chinensis steppe							
盐碱地 Saline-alkali soil							
灌木林 Shrubbery							

表 4 与铁路缓冲距离的权重、对比度、学生化对比度

Table 4 Summary of weights, contrast and studentized C for railway buffer

类别 Class	W^+	$\sigma(W^+)$	W^-	$\sigma(W^-)$	C	$\sigma(C)$	C_S
<100							
100~500							
500~1000							
>1000	0.0132	0.1106	-0.7430	1.0064	0.7562	1.0125	0.7468

表 5 与居民点缓冲距离的权重、对比度、学生化对比度

Table 5 Summary of weights, contrast and studentized C for residential areas buffer

类别 Class	W^+	$\sigma(W^+)$	W^-	$\sigma(W^-)$	C	$\sigma(C)$	C_S
<500							
500~1000							
1000~1500	0.1882	0.1166	-0.8956	0.3352	1.0839	0.3549	3.0543
>1500	0.1097	0.1114	-1.6698	0.7089	1.7795	0.7176	2.4798

证据权重法描述的是出现事件之间的空间统计计算方法。这些统计值有助于分析和理解研究区丹顶鹤栖息地空间特征。正权重与对比度值为正数,负权重值为负数,表明在此区域内丹顶鹤出现的可能性比预期发生的大,也表明丹顶鹤出现与证据专题图中此类有正相关性。通过 Arc-wofe 模块计算各证据因子的权重,得知土地利用类型中沼泽湿地是丹顶鹤巢址的最重要的指标,几乎所有的巢址都分布在沼泽湿地区域内;植被类型中芦苇沼泽是丹顶鹤的主要栖息环境,主要分布在河流中下游积水较多的低洼地带,其次是苔草沼泽也是丹顶鹤栖息的生境;巢址与国道缓冲距离中,大于 1000m 的区域是丹顶鹤筑巢的首选范围;同样与铁路缓冲距离中,小于 1000m 的缓冲范围为干扰区域,其生境几乎不能为繁殖期的丹顶鹤利用;与居民点距离大于 1000m 的范围,减小了人类活动对丹顶鹤栖息环境的影响(图 2)。

2.2 条件独立性检验

在进行后验概率计算之前,必须检验所选证据因子间相对于巢址分布的条件独立性。检验数值表示证据因子关于巢址间的条件独立检验概率值,数值越小,表示两相交专题间相对于巢址分布的条件独立性越好。本次证据权重分析的条件独立检验利用 Arcwofe 实现。从计算结果中可以看出(表 6),证据层之间的相关性都很小,均可以参与后验概率计算。利用 χ^2 检验通过关联表实现对所有的成对专题图,预测专题图的统计有效性。条件独立的检验结果是 0.56。因此,两两条件独立检验表明预测专题图是有效的。

2.3 生成后验概率专题图

不同证据层与丹顶鹤栖息地的相关性中,相关性最大的是土地利用类型,其次是植被类型、与居民点缓冲距离、与铁路缓冲距离、与国道缓冲距离(表 6)。在所有的证据专题图中均有较高的相关度,可以综合 5 个证据专题图,进而可以计算出后验概率图。

表 6 不同证据层和丹顶鹤栖息地相关性

Table 6 Contrast of Red-crowned Crane habitat and evidence theme

证据层专题 Evidential themes	Contrast	Confidence
与铁路缓冲距离 Buffer distance to railway (m)	4.4913	0.4490
与居民点缓冲距离 Buffer distance to residential area	5.8517	0.5851
与国道缓冲距离 Buffer distance to national road	4.4536	0.4452
植被类型 Vegetation types	7.5571	0.7556
土地利用 Land use	10.1341	0.5851

后验概率值代表各独立的单元格适宜丹顶鹤栖息概率大小,其值在 0~1 之间,数值越大,表明适宜丹顶鹤栖息的概率越大。图 3 表示的是丹顶鹤栖息地后验概率预测图。

采用作后验概率值与累积面积对数图求变形点的方法,得到后验概率拐点值,以此作为后验概率临界值。参照 D. E. Boleneus 等建立的确定临界值标准,并结合研究区实际,确定适宜性区域后验概率值为 0.07,次适宜性区域临界值为 0.03。将后验概率值大于 0.07 的单元格区域划为丹顶鹤栖息地适宜性区域,占研究区面积的 43.6%(图 4);后验概率值小于临界值 0.03 的单元区域为丹顶鹤栖息地非适宜性区域 48.12%;介于两者之间的为次适宜性区域,仅占研究区面积的 8.28%。

2.4 模型评价

以地理空间信息为基础,预测丹顶鹤栖息地适宜性区域。预测模型结果与待检验丹顶鹤巢址进行对比,

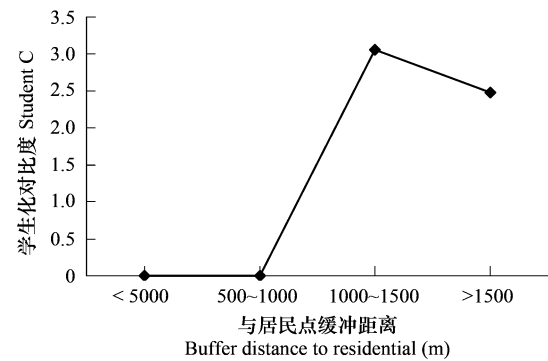


图 2 居民点缓冲距离的学生化对比度

Fig. 2 Generalization of residential areas buffer based on the Studentized C value

其中 60 个丹顶鹤巢址(94%)分布在栖息地适宜性区域,有 4 个巢址分布在次适宜性区域(表 7)。说明供预测的丹顶鹤巢址中有少数分布在次适宜性区域。栖息地其中待测巢址中有 17 处(占 85%)为丹顶鹤栖息地适宜性区域,有 3 处巢址位于次适宜性区域(表 7)。如果成功识别出至少 70% 的发生事件,则可以认为预测分布图是有效的^[20]。因此,说明证据权重模型的预测结果是可行的,有效的。

3 讨论

丹顶鹤栖息地适宜性模型主要通过环境变量及和人类活动影响变量来形成的预测方法。模型的主要优点是在生态应用方面使用证据权重法,它结合了空间数据来描述和分析的相互作用,在同一时间内它为决策者提供了决策支持并且生成了预测模型。证据权重法的大部分应用主要集中在预测潜在矿藏资源方面^[21]。证据权重法也是一种快速识别物种分布和环境数据之间的可能因果联系的方法。在识别、理解和定量分析证据因子和预测物种之间联系方面,证据权重法是一个有效的工具。该方法是客观的,尤其是在选择权重因素,这种衡量方法比回归系数更容易解释。此方法的优势,贝叶斯推理没有估算物种发生或物种丰富度广泛使用。如上所述,较少的证据权重法例子是利用生物指标和环境条件来预测物种栖息地的空间分布^[22~24]。证据因子中土地利用类型和植被类型专题进行分析,沼泽湿地区域是丹顶鹤巢址出现的最重要的因子。其中某些因子对丹顶鹤的巢址区域起到负面的影响,依据证据权重法得知,道路建设和其他人类活动对丹顶鹤的生境适宜性起到负面影响。研究结果表明,较高适宜性区域和沼泽湿地有着密不可分的关系。从预测图中显示了适宜生境主要集中在核心区内(图 4),且在核心区内的生境相对比较完整,但也出现了不少的非适宜生境;而在缓冲区和实验区内主要为次适宜生境和非适宜生境,且次适宜生境非常破碎,由于人类生产实践活动造成了扎龙保护区湿地面积的变化。

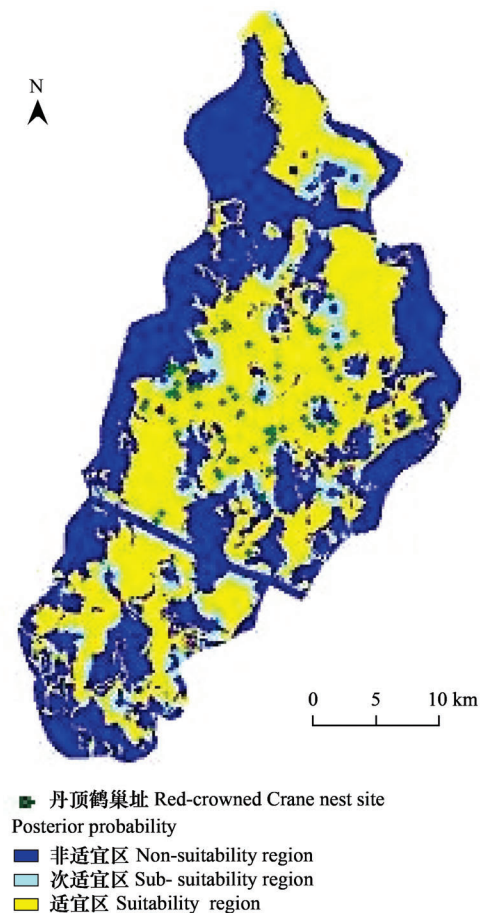


图 3 丹顶鹤栖息地适宜性预测

Fig. 3 Predictive map of Red - crowned Crane habitat suitability

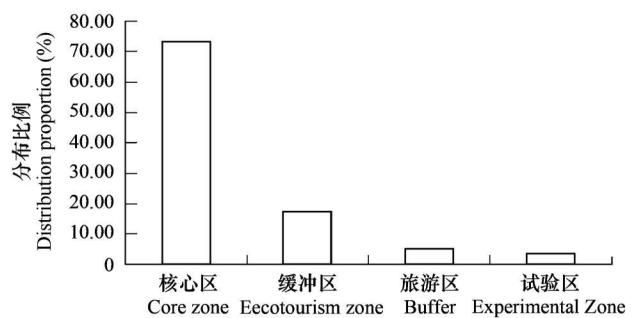


图 4 栖息地适宜性区域分布比例

Fig. 4 Distribution proportion of habitat suitability area

表 7 模型评价结果

Table 7 Model evaluation result

栖息地适宜区 Habitat suitable area	预测点 Predictive occurrences (75%) 个数 Num (%)	待测点 Control occurrences (25%) 个数 Num (%)
非适宜 Non-suitability region	0(0)	0(0)
次适宜 Sub- suitability region	4(6)	3(15)
适宜 Suitability region	60(94)	17(85)

证据权重方法的优点在于可以应用在较大的区域。相关例子表明在景观尺度上研究物种分布有良好的效果,通过更详细的资料或者使用多尺度方法进行栖息地模拟,可以提高预测的准确性^[25]。当今生物多样性数据、分布模型、栖息地质量评价等方面受到时间和金钱的限制。一个好的模型特别是良好的预测模型依靠好质量的数据。因此,利用现有的良好质量的数据,结合空间分析和地理指示数据将变成一个强大的分析工具,用于监测大面积的生物多样性水平。

4 结论

实现监测系统的有效性,集中分析生态系统改变和生态过程必然联系,完整的、详尽的景观空间知识是十分重要的。保护生物多样性和生物多样性的空间分布信息资源获取之间存在巨大的鸿沟,为形成生物多样性指标和区域保护规划提供了一个巨大的挑战。本研究的价值在于提高生态监测的景观水平,形成可操作的指标体系,不仅可以监测湿地环境,而且评估栖息地和湿地保护。在区域可持续发展中,栖息地的质量评价和物种分布模型起到一个至关重要的作用。因而,丹顶鹤适宜概率图可以适合其他鸟类适宜分布,该模型除了实现区域资源管理和生境适宜性地图,也可以应用在土地利用变化评价及其他方面。

栖息地质量评价和栖息地适宜性地图,可以有效设计管理计划,特别是在湿地管理方面,为了保护某些物种和栖息地,以改善区域规划,以扩大保护区或形成新的保护区。一个客观的生境适宜性评价为物种的栖息地管理决策提供了合理的基础。证据权重模型形成了合理的精确的预测,不仅可以分析物种的栖息地特征,而且可以利用这些特征解释鸟类巢址的分布格局,预测地图和自然保护区进行叠加,评估保护级别。从而可以看出,保护区的空间格局和生境破碎化对栖息地的影响十分严重,对丹顶鹤的栖息地选择产生了显著的影响,加强扎龙保护区丹顶鹤的栖息地保护和管理,尤其是严格控制引起生境破碎化的工程,成为扎龙保护区水禽栖息地管理的当务之急。

依据白鹤 GEF 项目调查数据和物种分布的信息,构造证据权重模型,以确定丹顶鹤潜在的适宜区域,也可以评估生物多样性价值水平,管理和保护湿地,为决策者保护珍稀水禽的栖息环境提供智力支持。预测丹顶鹤栖息地适宜性,对于了解保护区环境状况、保护丹顶鹤等水禽栖息环境和生物多样性资源,维护区域生态环境的可持续发展具有重要的指导意义。

References:

- [1] Augustin N H, Cummins R P, French D D. Exploring vegetation dynamics using logistic regression and multinomial logit model. *J. Appl. Ecol.*, 2001, 38 (5): 991—1103.
- [2] Guisan A, Weiss S B, Weiss A D. GLM versus CCA spatial modelling of plant species distribution. *Plant Ecol.*, 1999, 143: 107—122.
- [3] Seoane J, Carrascal L M, Alonso C L, Palomino D. Species-specific traits associated to prediction errors in bird habitat suitability modelling. *Ecol. Model.*, 2005, 185: 299—308.
- [4] Busby J R. BIOCLIM—a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Prot. Q.*, 1991, 6, 8—9.
- [5] Mason D C, Anderson G Q A, Bradbury R B, Cobby D M, Davenport I J, Vandepoll M, Wilson J D. Measurement of habitat predictor variables for organism-habitat models using remote sensing and image segmentation. *Int. J. Remote Sensing*, 2003, 24 (12), 2515—2532.
- [6] Carpenter G, Gillison A N, Winter J. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodivers. Conserv.*, 1997, 2: 667—680.
- [7] Hirtzel A H, Hausser J, Chessel D, Perrin N. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 2002, 83 (7): 2027—2036.
- [8] Fleishman E, Mac Nally R, Fay J P, Murphy D D. Modeling and predicting species occurrence using broad-scale environmental variables: an example with butterflies of the Great Basin. *Conserv. Biol.*, 2001, 15 (6): 1674—1685.
- [9] Ellison A M. Bayesian inference in ecology. *Ecol. Lett.*, 2004, 7(6): 509—520.
- [10] Raul Romero-Calcerrada, Sandra Luque. Habitat quality assessment using Weights-of-Evidence based GIS modelling: The case of *Picoides tridactylus* as species indicator of the biodiversity value of the Finnish forest. *Ecological Modelling*, 2006, 196: 62—76.
- [11] Zhang E D, Teng L W, Wu Y B. Habitat suitability evaluation for the Chinese water deer (*Hydropotes inermis*) in Yancheng Nature Reserve, China. *Acta Theriologica Sinica*, 2006, 26(4): 368—372.

- [12] Zhang W G, Tang Z H, Qi D W, *et al.* Comparison of two evaluation methods on wild animal habitat suitability: A case study of *Ailuropoda melanoleuca* in Daxiangling Mountains. *Chinese Journal of Ecology*. 2006, 25(12): 1456—1469.
- [13] Habin Li, David I, Gartner, Pu Mou, Carl C Trettin. A landscape model (LEEMATH) to evaluate effects of mangement impacts on timber and wildlife habitat. *Computers and eletronics in agriculture*, 2000, 27:263—292.
- [14] Bonham-Carter G F. *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modelling with GIS*. Computer Methods in Geosceinces. Pergamon, Tarrytwn, New York, 1994, 13, 398—402.
- [15] Bonham-Carter G F, Agterberg F P. Arc-Wof E: A GIS Tool for Statistical Integration of Mineral Exploration Datasets. The 52 Session of the International Statistical Institute. *Bulletin of the International Statistical Institute*, Helsinki, Finland, 1999. 4.
- [16] Aspinall R. An inductive modelling procedure based on Bayes' theorem for analysis of pattern in spatial data. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, 1992, 6, 105—121.
- [17] Li F, Yang H J, Zhang H M. The Nest-site Selection by Red-crowned Crane in the Zhalong Wetland. *Journal of Northeast Forestry University*, 1999, 27(6): 38—45.
- [18] Tian J L, He Y F, Wang J Q. Influence of fire in 2001 on the inhabit and breeding of red-crowned crane in Zhalong Nature Reserve. *Forestry Science & Technology*, 2004, 29(4): 29—31.
- [19] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Wright D F. Statistical pattern integration for mineral exploration. In: Gaal, G., Merriam, D. F. eds. *Computer Applications in Resource Estimation: Prediction and Assessment for Metals and Petroleum*. Pergamon Press, Oxford, 1990. 1—21.
- [20] Carranza E J M, Hale M. Geologically constrained probabilistic mapping of gold potential, Baguio District, Philippines. *Nat. Resour. Res.*, 2000, 9, 237—253.
- [21] Goodacre A K, Bonham-Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics*, 1993, 217, 285—305.
- [22] Aspinall R. inductive modelling procedure based on Bayes' theorem for analysis of pattern in spatial data. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, 1992. 6, 105—121.
- [23] Wintle B A, McCarthy M A, Volinsky C T, Kavanagh R P. The use of Bayesian model averaging to better represent uncertainty in ecological models. *Conserv. Biol.*, 2003, 17, 1579—1590.
- [24] Ellison A M. Bayesian inference in ecology. *Ecol. Lett.*, 2004, 7, 509—520.
- [25] Jaberg C, Guisan A. Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. *J. Appl. Ecol.*, 2001, 38, 1169—1181.

参考文献:

- [11] 张恩迪, 藤丽微, 吴咏蓓. 江苏盐城自然保护区獐栖息地的质量评价. *兽类学报*, 2006, 26(4): 368~372.
- [12] 张文广, 唐中海, 齐敦武等. 评估动物栖息地适应性的两种方法比较: 以大相岭山系大熊猫种群为例. *生态学杂志*, 2006, 25(12): 1456~1469.
- [17] 李枫, 杨红军, 张洪海, 等. 扎龙湿地丹顶鹤巢址选择研究. *东北林业大学学报*, 1999, 27(6): 38~45.
- [18] 田家龙, 贺福银, 王建强, 等. 2001 年大火对扎龙自然保护区丹顶鹤栖息与繁殖的影响. *林业科技*, 2004, 29(4): 29~31.