

基于 MaxEnt 模型的喀什地区环颈雉潜在生境预测分析

苏比奴尔·艾力^{1,2} 姑丽孜巴·克热木¹ 王玉涛^{1,2}

1. 喀什大学, 中国·新疆 喀什 844000

2. 新疆帕米尔生物资源与生态重点实验室, 中国·新疆 喀什 844000

摘要: 本研究旨在利用 MaxEnt 模型对喀什地区环颈雉进行生境预测分析, 明确其生存的地理分布空间范围。通过收集环颈雉分布点数据和地形、气候、植被等 24 个环境变量数据, 构建模型并进行了 10 次的交叉验证。结果显示, 模型 ROC 曲线的 AUC 值是 0.944, 说明预测能力比较高。bio6 (最冷月最低温度)、bio4 (温度季节性变动率)、海拔和植被这几个因素对潜在生境预测的贡献比较大。喀什地区环颈雉的生存环境适宜性有明显的空间特点, 高适宜区占总面积 8.68%, 主要在莎车县、英吉沙等地, 中适宜区占 11.72%, 非适宜区占 48.10%, 本研究确定了关键环境因子和生存环境分布情况, 这能给环颈雉的保护与管理提供科学依据。

关键词: 环颈雉; MaxEnt 模型; 生境预测; 喀什地区; 环境变量

Potential Habitat Prediction and Analysis of Common Pheasants in Kashgar Prefecture Based on the MaxEnt Model

Subinuer·Aili^{1,2} Guliziba·Keremu¹ Yutao Wang^{1,2}

1. Kashgar University, Kashgar, Xinjiang, 844000, China

2. Key Laboratory of Pamir Biological Resources and Ecology in Xinjiang, Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: This study aims to use the MaxEnt model to conduct habitat prediction and analysis for the common pheasant in Kashgar Prefecture, and clarify the geographical distribution range of its survival. By collecting distribution point data of common pheasants and 24 environmental variable data including terrain, climate, and vegetation, the model was constructed and subjected to 10-fold cross-validation. The results showed that the AUC value of the model's ROC curve was 0.944, indicating a relatively high predictive ability. Factors such as bio6 (minimum temperature of the coldest month), bio4 (temperature seasonality), altitude, and vegetation made greater contributions to the prediction of potential habitats. The suitability of the survival environment for common pheasants in Kashgar Prefecture has obvious spatial characteristics, with highly suitable areas accounting for 8.68% of the total area, mainly in Shache County, Yingjisha County, and other regions; moderately suitable areas accounting for 11.72%; and unsuitable areas accounting for 48.10%. This study determined the key environmental factors and the distribution of survival environments, which can provide a scientific basis for the protection and management of common pheasants.

Keywords: ring-necked pheasant; MaxEnt model; habitat prediction; Kashgar Region; environmental variable

0 前言

环颈雉 (*Phasianus colchicus*) 是鸟纲 (*Aves*)、鸡形目 (*Galliformes*)、雉科 (*Phasianidae*) 和雉属 (*Phasianus*) 的成员。俗称作野鸡、雉鸡、山鸡。雄鸡颈部有明显的白色环纹, 所以又被称为环颈雉^[1]。环颈雉的体长范围为 50~90cm, 体重大致在 0.6~1.0kg, 两翅较小, 无法高飞。鸟跗跖上有短而锐利的距, 为格斗攻击的武器^[2]。环颈雉喜群居, 主要栖息于山脚、丘陵、水草丰茂的苇湖、杂草丛生地带, 对栖息地依赖性高。窝巢呈碗状或为盘状, 多数是雌性雉鸡在地面刨一个浅坑, 在里面垫以枯草、树叶和羽毛即成^[3]。环颈雉在全球范围内分布广泛。中国亚种已被列入

中国国家林业局 2000 年 8 月发布的《国家保护的有益的或者重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录》13 项^[4], 2016 年 10 月 1 日列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》(IUCN) 一无危 (LC)^[5]。

喀什地区在中国新疆的西南部, 其地理坐标在东经 71° 39' 到 79° 52' 之间, 北纬 35° 28' 至 40° 16' 之间, 全区土地总面积 16.2 万 km², 其独特的地理环境造就了丰富的生物多样性, 是环颈雉重要分布地之一。这里气候干旱且少雨, 光照充足, 昼夜温差极大 (能达 10℃~15℃)。喀什地区地形复杂又多样, 山地、平原以及沙漠都包含在内。山地植被大体上就是以耐旱灌丛和草甸为主^[6], 这些环境能

给环颈雉提供隐蔽的栖息地与食物来源。平原地区主要以农田和荒地为主, 这些区域所生长的作物和杂草种子, 是环颈雉所喜爱的食物来源。即便在沙漠边缘植被少的地方也常会有环颈雉活动的踪迹。

近年来, 喀什地区经济快速发展和人口增长, 大规模的农业扩张、城市化建设等人类活动对环颈雉的栖息地造成了一定程度的干扰。值得关注的是, 近年来环颈雉数量呈现增多趋势, 在此背景下, 评估其潜在生境不仅能明确环颈雉受威胁程度, 也有助于进一步探索科学保护和合理利用的路径, 从而更好的协调人类活动与物种保护的关系, 推动人与自然和谐共生。

当前, 物种适宜区预测研究里, 生态位模型 (ENM) 为主要研究方法。MaxEnt 模型, 全称为最大熵模型 (Maximum Entropy Model), PHILLIPS 等编写于 2006 年, 目前应用非常广泛。最大熵模型 (MaxEnt) 是以已知的分布点的单个像元为样点, 以已知样点的环境变量为约束条件, 探索该物种在此约束条件下的可能分布情况为基础, 以最大熵原理为基础的物种模型, 具体为研究区域的所有像元为构成最大熵的可能分布空间^[9]。MaxEnt 模型在预测物种潜在生境上优势明显, 常被用在自然保护区的规划与管理上。已有研究系统地解析了环境因子对物种分布优化设置以及不确定性分析, 持续提高模型预测的精度与可靠性。

本研究基于 MaxEnt 生态位模型, 预测喀什地区环颈雉潜在生境分布, 识别适生区, 探究关键环境与气候因子对其生境分布的影响及作用机制, 为环颈雉保护与管理提供科学依据, 同时为生态学研究提供新思路与方法。

1 数据与方法

1.1 环颈雉分布点数据

为了收集喀什地区环颈雉的分布数据, 从 2024 年 4 月至 2025 年 3 月前往喀什地区各个县, 收集环颈雉出现分布点 160 条。将以上分布点经纬度数据结合环境变量的空间分布率进行筛选, 共计选取 34 条有效数据, 利用 Excel 将其处理为十进制 csv 格式, 便于导入 arcGIS 中。从全国地理信息资源目录数据库下载喀什地区地图矢量图 .shp。将处理好的环颈雉分布点 csv 文件和文件导入 arcGIS10.8 进行可视化处理, 通过插入比例尺等导出地图, 获得环颈雉在喀什地区的分布图 (见图 1)。

1.2 环境变量数据

根据以往关于雉类物种生境研究的经验, 选择了包括地形 (坡向、坡度、海拔)、植被、水系因子、土地覆被的环境数据和气候数据等 5 类的 25 个环境变量用于环颈雉的潜在生境选择研究^[7]。力求从整体上反映喀什环颈雉的生态环境特征, 为环颈雉潜在生境预测提供数据支撑。

本研究从世界气象数据库 WorldClim 中获取了月平均气温、月降水量、年日照时数等气候数据^[8]。其中包括

bio1-bio19 的 19 个气候因子, 其分辨率高达 30arc-seconds (约等于 1km), 可以用于研究和预测全球气候变化。

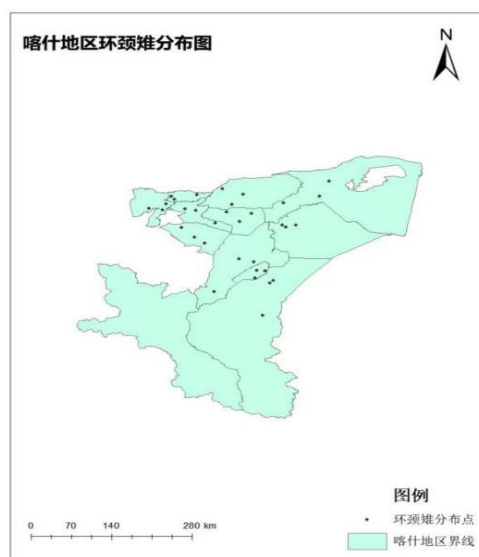


图 1 喀什地区环颈雉分布图

本研究从地理空间数据云平台下载了 30 米分辨率的 SRTM (航天飞机雷达测绘使命) 数字高程模型 (DEM) 数据。借助 ArcGIS10.8 软件处理 DEM 数据, 用表面分析工具成功提取海拔、坡度和坡向等地形因子。进一步利用 ArcGIS 软件, 以喀什地区矢量图为掩膜, 将下载的气候数据和环境数据裁剪至喀什地区范围。最后通过格式转换工具生成了 1 千米分辨率的栅格数据。

从中国科学院资源环境科学数据中心获取了中国植被矢量 shp 图, 利用 ArcGIS 10.8 软件提取分析工具将全国植被矢量图裁剪成喀什地区植被矢量 shp 图, 然后再利用转换工具将 shp 图转换为栅格数据 tif 格式, 再通过栅格转出 ASCII 工具, 将栅格数据转换成 MaxEnt 识别的 asc 格式的文件。

从地理国情监测云平台下载了喀什地区土地利用类型数据, 该数据分土地覆盖为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等 6 大类。

1.3 研究方法

1.3.1 MaxEnt 模型构建

本研究使用 MaxEnt 模型预测环颈雉的潜在分布, 将收集的环颈雉分布点数据转成 csv 格式, 用 ArcGIS10.8 软件处理环境变量数据, 批量处理存为 ASCII 格式, 包括 19 个气候变量因子、坡度、坡向、水系、土地覆被和植被等数据。将处理好的 ASCII 格式的环境变量数据及环颈雉分布点 csv 数据插入到 MaxEnt3.4.4 软件模型中, 设置模型参数。确定模型运行参数, 正规化系数为 1, 让模型最多迭代为 1000 次, 用 75% 随机样本构建模型并分析, 25% 数据用来评估模型。通过 10 次交叉验证测试模型性能。之后在设

置的文件夹里可以看到输出结果,里边有 0-9 次的结果和平均结果,就完成数据分析模型的运行。

1.3.2 MaxEnt 模型检验方法

MaxEnt 模型支持自主验证功能,可自动绘制 ROC 曲线(受试者工作特征曲线)进行模型的模拟预测,对动物生境进行评价与预测具有较高的精确度。采用 ROC 曲线对模型开展检验,ROC 曲线下的面积即为 AUC 值。AUC 值的大小作为模型预测效果的衡量指标,其取值范围为 0-1, AUC 值越大,表示环境变量与预测物种地理分布模型之间相关性越大,该物种分布的可能性越高,预测效果也就越好。评价标准为: AUC 值为 0.5~0.6,失败; 0.6~0.7,较差; 0.7~0.8,一般; 0.8~0.9,好; 0.90~1.0,非常好。本研究采用 10 次交叉验证来评估模型性能,使用受试者工作特征曲线下面积(AUC)作为评估指标。

2 结果与分析

2.1 MaxEnt 预测结果

模型 ROC 曲线最终 AUC 值为 0.944(见图 2)。AUC 值越接近 1,训练数据高于随机模型的 AUC 值(0.5)进一步证明模型有效。这说明模型具有较高的预测能力,能够较好的预测环颈雉的潜在生境。

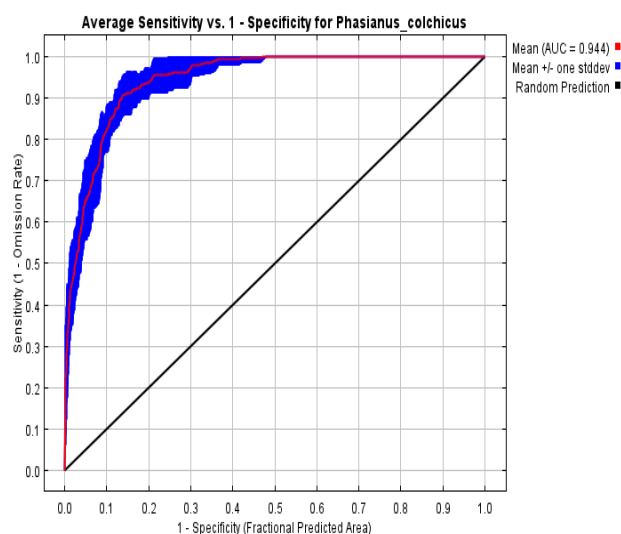


图 2 模型 ROC 曲线

2.2 关键环境因子分析

模型运行获得环境变量对 Maxent 模型的相对贡献值和排列重要性。bio6(最冷月最低温度)、植被、海拔、水系、bio7(年温度变化范围)、bio11(最冷季平均温度)等因子贡献百分比较高,说明这 6 个环境因子对环颈雉分布点的影响有重要作用。bio6、bio4(温度季节性变动率)两个气候变量和海拔、植被两个环境变量在模型预测中的重要性排列分别为 17.7、18.3、15.2、14.8,说明这四个因素是影响环颈雉生存的关键因素。因为温度季节的波动会影响环颈雉食物资源和活动规律,不同的海拔应对不同的植被类型、气候

条件,从而影响环颈雉的觅食和栖息。部分变量在单独使用时 AUC 值较低,这些变量之间可能存在相互作用,在综合应用时共同影响环颈雉的生境适宜性。

为了解环颈雉生境适宜性与环境变量之间的关系,选取影响环颈雉生境的 24 个主要环境变量的适宜范围。在一定范围内,环颈雉的存活率会随着温度、坡度和水位升高而增大,达到一定峰值后,存活率随环境变量值增大而降低。环颈雉的生存率随着 bio4(温度季节性变动率)、bio6(最冷月最低温度)、海拔和植被降低而减小。

2.3 适宜分布区划分

根据收集的环颈雉在喀什地区的分布点数据,运行 MaxEnt 软件获得模型结果。用 ArcGIS 10.8 对模型导出的数据做分级。根据自然间断分级法(Natural discontinuous classification method)对相关数据进行划分处理得到 0~1 的范围阈值,阈值越接近 1 说明物种越可能存在,根据这个结果绘制了环颈雉在喀什地区的生境适宜性等级分布图(见图 3)。

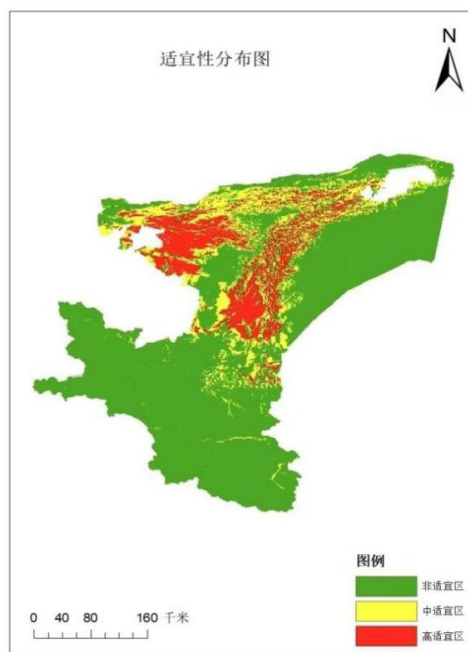


图 3 环颈雉适宜性等级分布图

根据统计显示数,设置划分类别为 3,确定的中断值分别为 0.148、0.419、0.856。基于此中断值将环颈雉在喀什地区的适宜性分布分为非适宜区(小于 0.16)、中适宜区(0.419, 0.856)和高适宜区(0.856, 1)等三个等级。最终形成适宜性分布图采用不同颜色适应性等级。经计算喀什地区环颈雉的高适宜区面积达 1.308 万 km^2 ,占喀什地区总面积的 8.68%、中适宜区为 1.872 万 km^2 ,占总面积 11.72%、非适宜区面积为 7.98 万 km^2 ,占喀什地区总面积 48.10%。环颈雉最佳适宜在喀什地区莎车县、英吉沙、岳普湖、疏勒等。这与当地的地形,气候、植被等环境要素有关。

3 结语

本研究借助 MaxEnt 模型对环颈雉生境适宜性进行分析,确定不同环境影响因子对环颈雉生境适宜性的影响程度以及喀什地区环颈雉生境的空间分布。研究表明,最冷月最低温度(Bio6)、温度季节性变动率(Bio4)、海拔和植被是决定环颈雉分布的主要因素,而降水的影响相对较小。喀什地区的环颈雉高适宜区集中于莎车县、英吉沙县等少数区域,需对这些核心栖息地针对性保护。本研究的成果可以为环颈雉的保护与管理提供参考。

参考文献:

- [1] 刘洵.环颈雉[J].河北林业,2023(12):27.
- [2] 美丽的山鸡——环颈雉[J].北京农业,2015(34):14.
- [3] 赵正阶.《中国鸟类志》上卷(非雀形目)[M].长春:吉林科学技术出版社,2001.
- [4] 新版国家“三有动物”名录公布[J].农村新技术,2023(8):43.
- [5] 李瑛.世界自然保护联盟(IUCN)的知识产品及其国内适用现状[J].中国土地,2021(2):12-16.
- [6] 马增辉,马钢.喀什地区生态环境现状、问题和生态保护修复措施探索[J].安徽农学通报,2019,25(18).
- [7] 李宏群,邢立刚,韩培士,等.陕西黄龙山褐马鸡和环颈雉适宜生境预测及重叠区域[J].东北林业大学学报,2021,49(12):84-89.
- [8] 孟永攀,廖金铃,赵晓艳,等.基于生态位模型的象耳豆根结线虫适生区预测研究[J].绿色科技,2024,26(16):39-47+54.
- [9] 李宏群,牛常会,韩培士,等.基于MaxEnt模型的褐马鸡西部种群适宜栖息地研究[J].生态与农村环境学报,2020,36(4):499-504.

作者简介:苏比奴尔·艾力(1994-),女,维吾尔族,中国新疆喀什人,硕士,实验师,从事野生动物分子生态学研究。

课题项目:新疆帕米尔高原生物资源与生态重点实验室开放课题“利用 RNA-seq 从转录组水平研究东帕米尔高原喜马拉雅雪鸡高海拔适应性分子机制”(项目编号: XJDX1714-2021-07)。