

不同共享社会经济路径对南美洲西北部小红短角鹿潜在适生区分布影响预测

孔垂澜¹ 王倩倩¹ 敖翔¹

(1. 中国生物多样性保护与绿色发展基金会)

摘要: 全球气候变化正在以前所未有的速度影响生物多样性,特别是物种栖息地分布。本研究利用物种分布模型预测了南美洲西北部小红短角鹿 (*Mazama rufina*) 在当前和未来两个时期内三个共享社会经济路径下的潜在适生区。结果显示,不同共享社会经济路径对2030年潜在适生区面积影响不大,但对2050年潜在适生区面积有着显著影响(分别为当前气候条件下适生区面积的62.45%、53.78%、48.20%)。因此有必要对该物种的潜在适生区进行保护,以降低小红短角鹿的灭绝风险。未来可以考虑综合使用多个气候模型,考虑气候、植被覆盖度和生物相互作用,使用非线性、机器学习或集合模型,以提高物种分布模型的可靠性。

关键词: 气候变化, 栖息地, 物种分布模型, 南美洲, 小红短角鹿

孔垂澜, 王倩倩, 敖翔. 不同共享社会经济路径对南美洲西北部小红短角鹿潜在适生区分布影响预测. 生物多样性保护与绿色发展. 第1卷, 2024年10月, 总第68期. ISSN2749-9065

1. 背景

当前,全球气候变化正以前所未有的速度发生。联合国政府间气候变化专门委员会在其于2023年发布的第六次评估报告中指出:2011-2020年间全球温度相较1850-1900年间升高了约1.1°C,加剧了极端气候事件发生的频率、强度和持续时间^[1]。评估气候变化对生物多样性的影响很困难,因为变化发生得很慢,且气候变化的影响与已经施加在环境中的其他压力因素相互作用^[2]。但此前的研究表明,气候变化已经导致了哺乳动物、鸟类、爬行动物和两栖动物等各种生物的地理分布发生重大变

化^[3]。各物种对气候变化的反应不同,栖息地的分布范围可能扩大、收缩或转移^[4]。通常,气温升高会迫使动物向更高的海拔或纬度迁移。这种迁移可能导致物种数量的快速下降,或对新栖息地生态平衡造成影响。因此,有必要对物种在气候变化条件下的栖息地分布进行研究。

物种分布模型 (Species Distribution Models, SDM) 被广泛应用于宏观生态学、生物地理学和生物多样性研究领域^[5],用于根据已知发生记录与发生地点的环境条件之间的相关性对物种地理分布进行建模^[6],也被认为是研究气候变化对物



种栖息地适宜性影响的最有效技术之一^[7]。

小红短角鹿 (*Mazama rufina*) 是偶蹄目、鹿科、短角鹿属的哺乳动物，是最小的鹿之一。小红短角鹿原产于哥伦比亚、厄瓜多尔和秘鲁北部的安第斯山脉，生活在海拔 1,400 至 3,600 米的森林和高山草原上^[8]。有学者怀疑小红短角鹿种群数量目前呈下降趋势^{[9][10]}。非法种植鸦片和古柯可能是哥伦比亚部分地区栖息地遭到破坏的主要原因^[11]。气候变化也可能导致未来该物种可用栖息地面积或质量下降，因为云雾林和高山草甸广泛受到大气温度升高的影响^[12]。

本研究将使用物种分布模型对南美洲西北部小红短角鹿在气候变化背景下的潜在分布区进行预测，主要目标包括：(a) 确定预测模型，(b) 确定小红短角鹿在当前和未来气候

下的潜在分布，以及(c) 比较未来和当前的分布模式。这些发现将为气候变化背景下的小红短角鹿保护策略提供见解。

2. 数据和方法

2.1 物种分布数据

本次研究区域为南美洲北部部分地区 (如图 1 所示范围)。物种分布数据来源于全球生物多样性信息网络 (GBIF)^[13]，并删除了缺失经纬度的数据以及重复记录，随后通过与世界自然保护联盟^[3]中的分布信息进行对比，手动剔除了具有明显地理编码错误的记录。最终获得了 427 个带有坐标的出现记录，样本量与此前使用物种分布模型预测国家或地区尺度下物种分布的研究相近^{[14][15][16]}。本次研究中的所有数据分析均在 R^[17] 中进行。

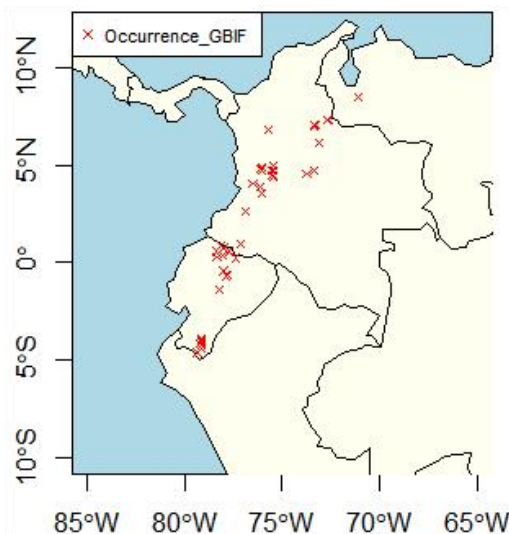


图 1 南美洲北部小红短角鹿记录分布 (数据来源: GBIF)



2.2 环境预测因子

历史数据是从 WorldClim 2.1 版本获取的 (<https://www.worldclim.org>)，分辨率为 10 弧分（即 0.1667 度），包含了 19 个生物气候变量，数值为 1970-2000 年的平均值^[18]。由于生物气候变量之间存在对物种分布格局产生相似的影响^[19]，为了避免冗余的影响，通过成对的皮尔逊相关系数(r)对 19 个生物气候变量中的变量进行筛选，从而选择出 $|r|$ 值小于 0.80 的限制性变量^[20]，最终得到 6 个不相关的环境预测变量。

2.3 未来气候情景

未来气候情景基于 HadGEM3-GC31-LL 全球气候模型，包括 2030 年（2021-2040 年的平均值）和 2050 年（2041-2060 年的平均值）两个时期下的三个共享社会经济路径（SSP）情景（SSP126、SSP245 和 SSP585）。这些路径用来推测不同气候变化调适与缓解政策下导致的温室气体排放情景^[21]，分别代表了温室气体排放浓度最低、中等和最高的路径，分辨率为 10 弧分，与历史数据一致。

2.4 建立模型

小红短角鹿的实际分布区被称为物种发生（presence）地区。为了对小红短角鹿的分布进行预测，在研究区域发生数据 20km 范围以外随机抽样了 427 个准不发生（pseudo-absence）数据（数量与发生数据相等）。使用广义线性模型进行建模^[22]，并使用五重交叉验证方法运行模型，其中 80% 的数据（发生和准不发生）被随机选择用于模型训练，余下 20% 的数据用于模型测试^[23]。为了更好地解释当前和未来气候下的分布变化，将潜在分布预测转换为二元图（即适宜或不适宜）。

2.5 模型评价

使用受试者工作特征曲线图（receiver operating characteristic curve，即 ROC 曲线图）对模型预测结果进行评价。ROC 曲线图以假阳性率为横坐标，灵敏度为纵坐标，ROC 曲线的曲线下面积（area under curve, AUC）可用于评价模型的预测能力^[24]。AUC 取值范围为 0 到 1，值越大代表模型的预测越准确。AUC 值低于 0.5 时模型被认为是失败的，在 0.6 至 0.7 时预测能力较差，为 0.7 至 0.8 时中等，0.8 至 0.9 时良好，大于 0.9 时优秀^[25]。



3. 结果

3.1 模型评价

根据皮尔逊相关系数选择出的6个不相关环境预测变量包括：年平均气温(°C)—BI01、平均气温日较差(°C)—BI02、等温性—BI03、气温季节性变动系数—BI04、年降水量(mm)—BI012、降水量季节性变化(mm)—BI015。

使用不同训练集进行建模并用余下数据进行测试，平均 AUC 值为 0.927，大于 0.9，证明该模型有着较为优秀的预测能力。

3.2 当前气候条件下小红短角鹿的潜在适生区

当前气候条件下，小红短角鹿的潜在适生区主要分布在南美洲西北部距离海岸线一定距离区域，包括哥伦比亚西部以及厄瓜多尔和秘鲁的部分地区。

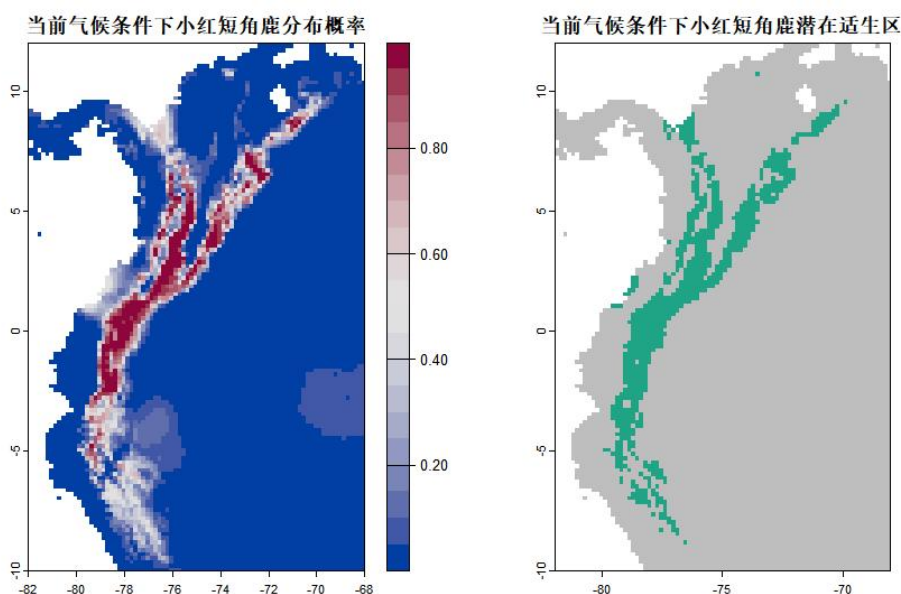


图2 当前气候条件下小红短角鹿分布概率与潜在适生区

3.3 SSP126 下小红短角鹿的潜在适生区

在 SSP126 共享社会经济路径下，2030 年和 2050 年潜在适生区面积分

别占当前气候条件下适生区面积的 72.00% 和 62.45%。新增适生区面积占比小于 1.50%，适生区未发生明显迁移，整体呈现收缩态势，有部分适生区呈现破碎化分布。



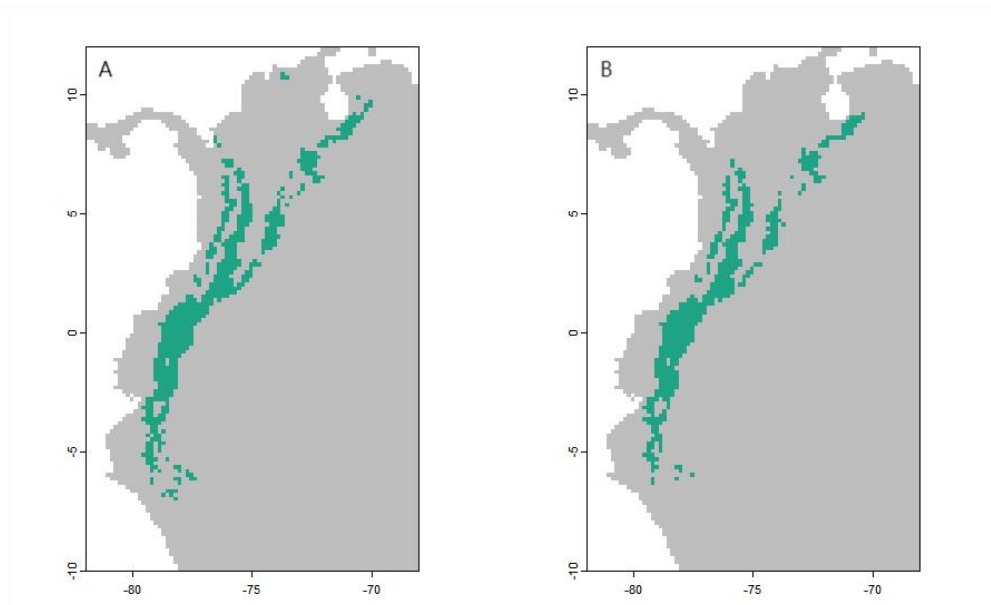


图3 SSP126下2030年与2050年小红短角鹿潜在适生区分布(绿色部分)
A: 2030; B: 2050

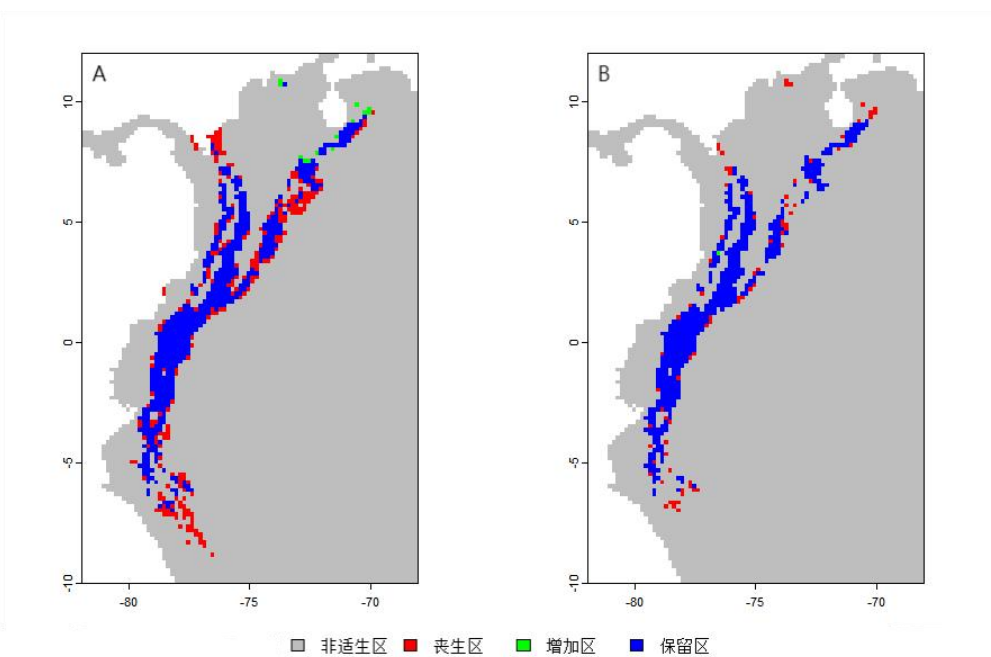


图4 SSP126下小红短角鹿潜在适生区变化
A: 2030-当前; B: 2050-2030

3.4 SSP245下小红短角鹿的潜在适生区

在SSP245共享社会经济路径下, 2030年和2050年潜在适生区面积分别占当前气候条件下适生区面积的

72.24%和53.78%。几乎没有新增适生区。2030年的适生区收缩程度与SSP126相近, 但在2030年至2050年间, 适生区收缩速度更快, 导致2050年适生区面积较SSP126同时期减少了8.67%。



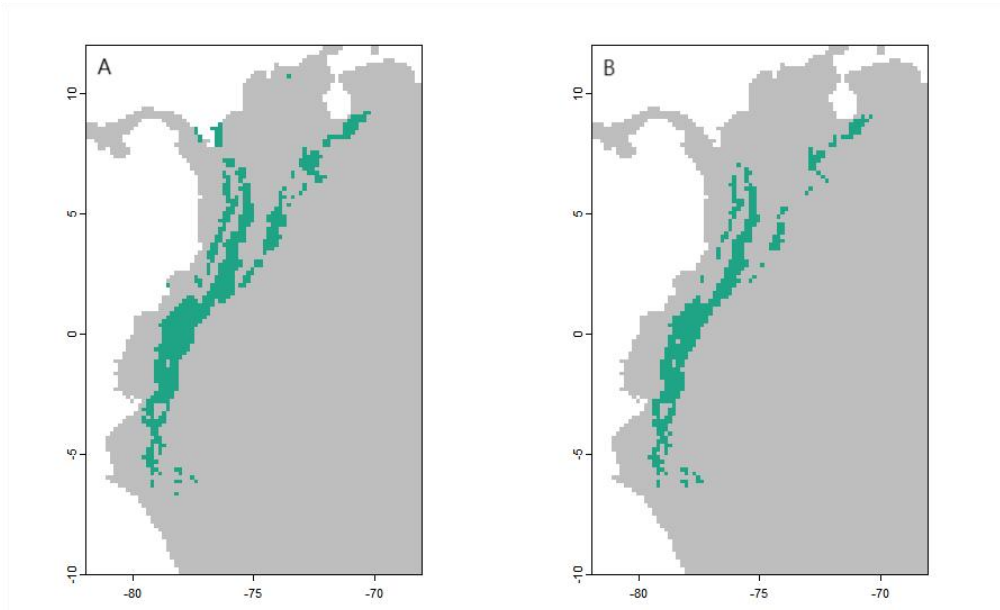


图5 SSP245下2030年与2050年小红短角鹿潜在适生区分布(绿色部分)
A: 2030; B: 2050

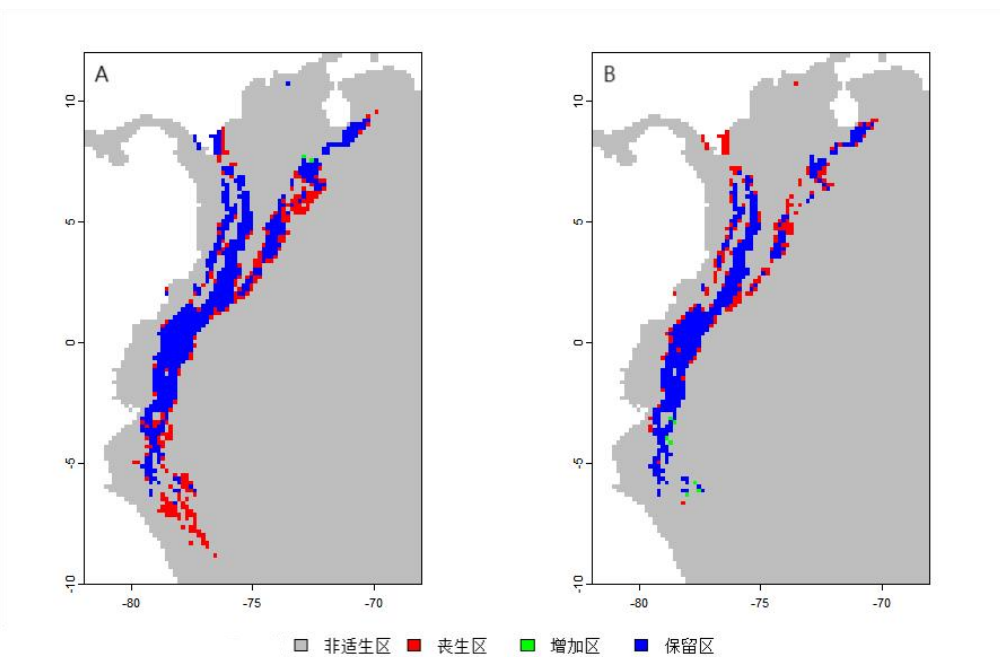


图6 SSP245下小红短角鹿潜在适生区变化
A: 2030-当前; B: 2050-2030

3.5 SSP585下小红短角鹿的潜在适生区

在 SSP585 共享社会经济路径下, 2030 年和 2050 年潜在适生区面积分别占当前气候条件下适生区面积的 74.72% 和 48.20%, 几乎没有新增适

生区。2030 年的适生区收缩程度与 SSP126 和 SSP245 相近, 但在 2030 年至 2050 年间, 适生区收缩速度更快, 2050 年适生区面积较 SSP126 和 SSP245 同时期分别减少了 14.25% 和 5.58%, 且适生区的破碎化更为明显。



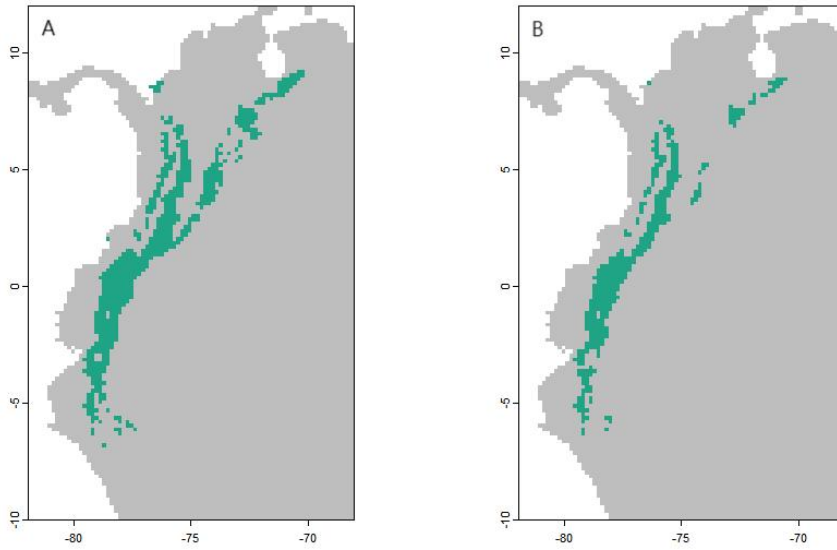


图7 SSP585 下 2030 年与 2050 年小红短角鹿潜在适生区分布 (绿色部分)
A: 2030; B: 2050

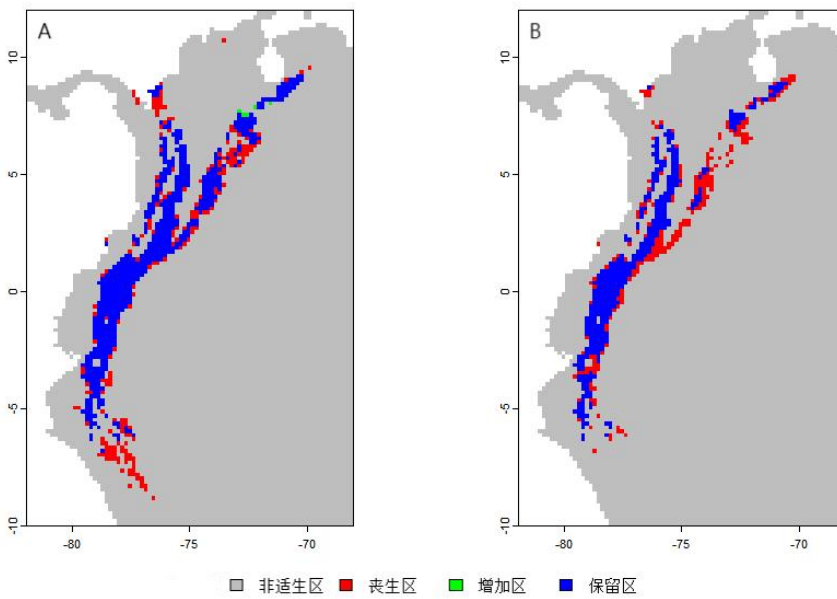


图8 SSP585 下小红短角鹿潜在适生区变化
A: 2030-当前; B: 2050-2030

3.6 保护策略

综上所述,不同共享社会经济路径对短期(即2021-2040年)小红短角鹿适生区的影响差异不明显,适生区面积均将收缩至当前气候条件下的73%左右。然而,从长期来看,不

同路径的影响差异显著。特别是在 SSP585 情景下,2050 年小红短角鹿的潜在适生区面积将较当前气候条件下减少超过 50%。此外,随着部分适生区消失,部分曾经连通的适生区呈现破碎化分布。考虑到土地利用类型的变化也会导致适生区面积的收



缩,有必要对该物种的潜在适生区进行保护,禁止对潜在适生区的违规占用,避免潜在适生区的进一步丧失,并通过适当规划提高各斑块连通性,以降低小红短角鹿的灭绝风险。

3.7 未来研究方向

未来可以考虑综合使用多个气候模型,如使用多个气候模型的平均值^[14],以提高未来气候情景的可靠性。此外,在模型的建立过程中,综合考虑气候、植被覆盖度、生物相互作用等因素^[26]。但在此过程中也应当在模型的简单性与复杂性间进行权衡,避免出现欠拟合或过拟合。同时,可以考虑使用非线性模型(如广义相加模型)、基于机器学习算法的模型(如随机森林模型)或能够利用多个模型信息的集合模型^[27],对比模型的表现并采用在研究区域以及重点关注的问题中表现更优秀的模型。

参考文献:

- [1] IPCC (2023). Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- [2] Kappelle, M., Van Vuuren, M. M., & Baas, P. (1999). Effects of climate change on biodiversity: a review and identification of key research issues. *Biodiversity & Conservation*, 8, 1383-1397.
- [3] Buckley, L. B., Khaliq, I., Swanson, D. L., & Hof, C. (2018). Does metabolism constrain bird and mammal ranges and predict shifts in response to climate change? *Ecology and Evolution*, 8(24), 12375 - 12385. 10.1002/ece3.4537
- [4] Yousefi, M., Jouladeh - Roudbar, A., & Kafash, A. (2020). Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicators*, 112, 106137. 10.1016/j.ecolind.2020.106137
- [5] Gomes, V.H., IJff, S.D., Raes, N. et al. Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Sci Rep* 8, 1003 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>
- [6] Elith, J. & Leathwick, J. R. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 40, 677 - 697 (2009).



- [7] Ara ú jo, M. B. , Anderson, R. P. , Márcia Barbosa, A. , Beale, C. M. , Dormann, C. F. , Early, R. , Garcia, R. A. , Guisan, A. , Maiorano, L. , Naimi, B. , O' Hara, R. B. , Zimmermann, N. E. , & Rahbek, C. (2019). Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Science Advances*, 5(1), eaat4858. [10.1126/sciadv.aat4858](https://doi.org/10.1126/sciadv.aat4858)
- [8] Lizcano, D. and Alvarez, S.J. (2016). "Mazama rufina". IUCN Red List of Threatened Species. 2016: e.T12914A22165586. [doi:10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T12914A22165586.en](https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T12914A22165586.en)
- [9] Lizcano, D. J. 2006. Ecology and conservation of large mammals in the northern Andes. University of Kent, Canterbury, UK.
- [10] Maravi, E. , Norgrove, L. , Amanzo, J. and Sissa, A. 2003. Identificación preliminar de prioridades para la conservación del Oso de Anteojos (*Tremarctos ornatus*) y el Tapir de Montaña (*Tapirus pinchaque*) en la Sub-división Perú de la Ecoregión de los Andes del Norte. World Wildlife Fund, Peru Programm Office, Lima, Peru.
- [11] Alvarez, M. D. 2007. Environmental damage from illicit crops in Colombia. In: W. D. Jong, D. Donovan and K. I. Abe (eds), *Extreme conflict and tropical forests*, pp. 133-147. Springer, Dordrecht.
- [12] Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1-2), 73-106.
- [13] *Mazama rufina* (Bourcier & Pucheran, 1852) in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-07-16.
- [14] Guo, K. , Yuan, S. , Wang, H. , Zhong, J. , Wu, Y. , Chen, W. , ... & Chang, Q. (2021). Species distribution models for predicting the habitat suitability of Chinese fire-bellied newt *Cynops orientalis* under climate change. *Ecology and evolution*, 11(15), 10147-10154.
- [15] Acevedo, P. , Jiménez - Valverde, A. , Lobo, J. M. , & Real, R. (2012). Delimiting the geographical background in species distribution modelling. *Journal of biogeography*, 39(8), 1383-1390.
- [16] Evcin, O. , Kucuk, O. , & Akturk, E. (2019). Habitat suitability model with maximum entropy approach for European roe deer (*Capreolus capreolus*) in the Black Sea Region. *Environmental monitoring and assessment*, 191(11), 669.



- [17] R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/> accessed on 2024-06-19.
- [18] Fick, S. E. and R. J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- [19] 叶兴状, 张明珠, 赖文峰, 杨森森, 范辉华, 张国防... & 刘宝. (2021). 基于MaxEnt优化模型的闽楠潜在适宜分布预测. *生态学报* (20), 8135-8144.
- [20] Dai, G. , Yang, J. , Lu, S. , Huang, C. , Jin, J. , Jiang, P. , & Yan, P. (2018). The potential impact of invasive woody oil plants on protected areas in China under future climate conditions. *Scientific Reports*, 8(1), 1-8.
10.1038/s41598-018-19477-w
- [21] Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., ... & Tavoni, M. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature climate change*, 8(4), 325-332.
- [22] 曹铭昌, 周广胜, 翁恩生. (2005). 广义模型及分类回归树在物种分布模拟中的应用与比较. *生态学报* (08), 2031-2040.
- [23] Guisan, A. , Thuiller, W. , & Zimmermann, N. E. (2017). Habitat suitability and distribution models. *With Applications in R*, Pirineos(173), 62 - 63.
- [24] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用[J]. *生物多样性*, 2007, 15(4): 365-372.
- [25] Swets JA (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285 - 1293.
- [26] 郭彦龙, 赵泽芳, 乔慧捷, 王然, 卫海燕, 王璐坤... & 李新. (2020). 物种分布模型面临的挑战与发展趋势. *地球科学进展* (12), 1292-1305.
- [27] Grenouillet, G., Buisson, L., Casajus, N., & Lek, S. (2011). Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges. *Ecography*, 34(1), 9-17.

