

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.04.009

入侵性杂草皱匕果芥在中国的适生区预测及分析

王亚锋¹, 付志玺², 郭云霞^{3*}, 陶振华¹, 马 蓓¹, 郑跃鸣¹
¹宜宾海关, 四川 宜宾 644000; ²四川师范大学生命科学学院, 四川 成都 610101;
³宜宾职业技术学院, 四川 宜宾 644000

摘要:【目的】对入侵性杂草皱匕果芥在我国的适生区进行预测,为入侵风险评估和损失预测提供数据支撑,同时为控制预案制定提供科学依据。【方法】先用 ENMTTools 和 SPSS 分别对分布数据和环境变量进行筛选,再调用 R 程序包 Kuenm 校准 MaxEnt 模型确定最优参数设置,然后使用 MaxEnt 和 ArcMap 对皱匕果芥在中国的适生区进行预测,并将已公布的进境粮食指定监管场地、进口粮食加工企业地理位置与皱匕果芥在中国的适生区进行匹配分析。【结果】最冷月份最低温度、温度季节变化标准差和最冷季度降水量是对 MaxEnt 模型拟合重要性排名前 3 位的环境变量,最冷月份最低温度可能是影响皱匕果芥发生分布的最重要的自然因素;皱匕果芥在中国的中度适生区占中国陆地总面积的 15.13%,主要集中在秦岭-淮河以南、龙门山-大凉山以东的亚热带季风气候区域;高度适生区占中国陆地总面积的 1.67%,主要形成川渝、湖北-湖南和长三角 3 个中心。在皱匕果芥的中、高度适生区分布有 901 个进口粮食加工企业和 57 个进境粮食指定监管场地。【结论】皱匕果芥的中、高度适生区内存在我国粮棉等作物的重要产区,一旦该杂草大面积发生,将给我国粮棉等作物种植造成非常不利的影响。进口粮食的国际贸易是皱匕果芥入侵中国的主要途径,应当加强对进口粮食接卸、运输、加工等高风险区域和环节的监管力度,并积极实施外来入侵杂草的监测和调查,确保做到早发现、早防除,防止进一步扩散和危害。

关键词: 皱匕果芥; MaxEnt; 适生区; 监管; 监测



Prediction and analysis of potential geographical distribution of an invasive weed *Rapistrum rugosum* in China

WANG Yafeng¹, FU Zhixi², GUO Yunxia^{3*}, TAO Zhenhua¹, MA Xu¹, ZHENG Yueming¹
¹Yibin Customs District, Yibin, Sichuan 644000, China; ²College of Life Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610101, China; ³Yibin Vocational and Technical College, Yibin, Sichuan 644000, China

Abstract: 【Aim】 To provide data support for invasion risk assessment and loss prediction, as well as the scientific basis for the development of control plans, by predicting the potential geographical distribution of the invasive weed, *Rapistrum rugosum*. 【Method】 ENMTTools and SPSS were used first to remove duplicate occurrences in the same environmental variable grid cell and eliminate one variable per pair with high correlations, respectively; and next Kuenm R package was called to models calibrate, in addition to select the optimal parameter settings of MaxEnt; then we ran MaxEnt and ArcMap to predict the potential geographical distribution of *R. rugosum* in China; at last, the positions of ports and processing enterprises designated by China's customs for imported grain were matched with the potential geographical distribution of *R. rugosum* in China and analyzed. 【Result】 The Min temperature of coldest month, temperature seasonality and precipitation of coldest quarter are the top three environmental variables for the fitting importance of MaxEnt model, while the first one might be the most important natural factor affecting the occurrence and distribution of *R. rugosum*. The moderately suitable area of *R. rugosum* in China accounts for 15.13% of the total land area of China, and is mainly concentrated in the subtropical monsoon climate regions, which in the south of Qinling-Huaihe line and east of Longmenshan-Daliangshan. The highly suitable area accounts for 1.67% of China's total land area, mainly forming three centers in Sichuan-Chongqing, Hubei-Hunan and Yangtze River Delta. There are 901 processing enterprises and 57 ports designated by China's customs for imported grain

收稿日期(Received): 2021-11-26 接受日期(Accepted): 2022-04-20
基金项目: 成都海关 2022 年度自立科研项目(2022CK001); 四川省教育厅人文社会科学重点研究基地沱江流域高质量发展研究中心项目(TJGZL2021-17); 四川师范大学川西资源环境与可持续发展研究中心科技项目(2020CXZX003); 宜宾职业技术学院科技创新团队项目(ybzy21extd-03)
作者简介: 王亚锋, 男, 硕士。研究方向: 口岸植物检疫及入侵性有害生物防控。E-mail: hgwangyf@126.com
* 通信作者(Author for correspondence), 郭云霞, E-mail: aww1209@126.com

in the moderately and highly suitable areas of *R. rugosum*. 【Conclusion】 The moderately and highly suitable areas of *R. rugosum* overlap with the vital production areas of grain and cotton crops in China, and once this weed occurs in a large area, it will have a great adverse effect on the cultivation of grain and cotton crops in China. The international trade of imported grain is the main way of the invasion of *R. rugosum* into China, hence it is essential to strengthen the supervision of imported grain receiving and unloading, transportation, processing, and other high-risk areas and links. Meanwhile, the monitoring and investigation of invasive foreign weeds must be actively implemented to ensure early detection and prevent further spread and harm.

Key words: *Rapistrum rugosum*; MaxEnt; potential geographical distribution; supervision; monitoring

2021 年 4 月 15 日起施行的《中华人民共和国生物安全法》正式将防范外来生物入侵与保护生物多样性纳入法律保障范围。外来生物入侵是继栖息地破碎化之后全球生物多样性丧失的第二大原因,外来入侵物种通过与本地物种竞争并夺取生态位从而改变原有的生物地理分布,扰乱生态系统的原有结构和功能,威胁农林牧渔业生产,危害人类的生存环境,降低人类的生活质量,进而影响各国的生态安全、经济发展和社会稳定(万方浩等, 2015; Jose *et al.*, 2013; Pimentel, 2011)。预防为主是防控外来生物入侵的重要原则,早期的风险评估和预警有助于提前明确某种外来有害生物的入侵风险并采取相应防范措施(万方浩等, 2015)。适生区预测和分析是风险分析的主要内容之一,通过预测和分析能够明确某种外来入侵生物在目标区域将来可能发生和分布情况,为评估潜在损失和制定控制预案提供科学参考。

皱匕果芥 *Rapistrum rugosum* (L.) All. 又名假芸薹,为十字花科匕果芥属(假芸薹属)草本植物,原产欧洲大陆,目前在欧洲、亚洲、非洲、北美洲、南美洲和大洋洲均有分布(印丽萍, 2018; 张则恭和郭琼霞, 1995; 中国科学院植物研究所, 2021), 2020 年之前中国尚无发生记载,但最近在我国西安市雁塔区发现该杂草(寻路路等, 2020)。皱匕果芥种子仅 1.5~2 mm 长,单株最高可产 77000 粒种子(Manalil *et al.*, 2018; Mobli *et al.*, 2020);种子被坚硬的果皮包裹,果实由近端和远端 2 个二态节组成,其中近端节在受到扰动时容易裂开释放出种子,而远端节果皮厚且坚硬,能在休眠状态下长期保持活力,有利于土壤种子库的长期维持,也有利于随作物、交通工具长距离传播(印丽萍, 2018; Manalil & Chauhan, 2019);种子对盐胁迫和渗透胁迫的耐受性较高,在 4~10 的 pH 范围内均可萌发,即使在铅浓度较高的重金属污染土壤中也能维持生长(Ali *et al.*, 2019; Chauhan *et al.*, 2006; Manalil

et al., 2018; Saghi *et al.*, 2016);皱匕果芥植株高大,平均株高 20~50 cm,部分可达 90 cm 以上,一般在早春开花从而增加授粉机会并有助于避开植食性昆虫的高发期(Simmons, 2005);植株抗药性强,基于代谢增强的非靶点机制和基于 ALS 基因突变的靶点机制均参与皱匕果芥的抗药性形成,据报道已对氯磺隆、苯磺隆和苯甲磺隆钠等多种除草剂产生了抗性(Adkins *et al.*, 1997; Hatami *et al.*, 2016; Pardo *et al.*, 2019)。皱匕果芥的上述生物学特性符合多数入侵性植物的基本特征,该杂草也正是借助这些特性成功入侵了澳大利亚、美国、伊朗等国家和地区。

皱匕果芥是澳大利亚作物种植区排名第 5 位的侵害性杂草(Mobli *et al.*, 2020),5 株·m⁻²的皱匕果芥能使鹰嘴豆 *Cicer arietinum* Linn. 产量下降至少 40%,皱匕果芥密度增加还导致小麦单位面积可育分蘖数和籽粒数减少,产量呈指数下降(Manalil & Chauhan, 2019; Whish *et al.*, 2002)。此外,皱匕果芥入侵后还会取代当地的野生植物,威胁生物多样性,甚至可能引发人或动物的甲状腺肿病(Simmons, 2005; Stocks *et al.*, 1984)。皱匕果芥作为检疫性杂草已被列入我国进口乌拉圭、阿根廷玉米和泰国大米的双边植物卫生议定书,其籽实多次被我国海关从进口的粮食油料、蔬菜种子、集装箱等货物中截获(陈宇, 2016; 郭琼霞, 1990; 韩玉春等, 2012; 李虹等, 1991; 李瑞法等, 2015; 袁俊杰等, 2020; 张学勤等, 2015)。目前,我国对皱匕果芥的研究和关注尚少。本文使用 MaxEnt 和 ArcMap 对皱匕果芥在中国的适生区进行预测和分析,并将已公布的进境粮食指定监管场地、进口粮食加工企业地理位置与皱匕果芥在中国的适生区进行匹配分析,以评估皱匕果芥的入侵风险,明确防控重点。

1 材料与方法

1.1 数据准备

物种分布数据:从全球生物多样性信息平台(ht-

tps://www.gbif.org/)采集 1970—2021 年基于馆藏标本的皱匕果芥分布数据 2245 条;从文献中获取位置信息并实地踏查确认后增加我国陕西西安分布数据一条。

环境变量:从世界气候网站(<https://www.worldclim.org/>)下载 1970—2000 年 2.5 min 精度的 19 个全球生物气候变量平均值数据和 1 个全球海拔数据;从联合国粮农组织世界土壤数据库(<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>)下载并提取 30 arc-second 精度的一个表层土壤碱度和一个表层土壤盐度数据。

企业名单:截至 2021 年 9 月 1 日已公布的全国进

口粮食加工企业名单和进境粮食指定监管场地名单来源于海关总署官网(<http://www.customs.gov.cn/>)。

1.2 数据处理与参数优化

1.2.1 分布数据筛选 用 ENMTools 1.0.4 软件剔除同一环境栅格内的冗余数据,保留有效分布数据 1486 条用于 MaxEnt 模型构建,避免模型过拟合。

1.2.2 环境变量相关性分析与筛选 用 ArcMap 10.4.1 提取各分布点的环境变量值并导入 SPSS 20.0 软件进行双变量相关性分析。2 个变量 $|r| \geq 0.8$ 时视为存在显著相关,将其中生物学意义相对较小的一个变量剔除,以减少模型的过度参数化,最后保留 15 个环境变量(表 1)参加 MaxEnt 运算。

表 1 环境变量列表
Table 1 List of environmental variables

代码 Field	全称 Description	单位 Units	代码 Field	全称 Description	单位 Units
Bio2	昼夜温差月均值 Mean diurnal range	℃	Bio16	最湿季度降水量 Precipitation of wettest quarter	mm
Bio3	等温性 Isothermality		Bio17	最干季度降水量 Precipitation of driest quarter	mm
Bio4	温度季节变化标准差 Temperature seasonality	℃	Bio18	最暖季度降水量 Precipitation of warmest quarter	mm
Bio5	最暖月份最高温度 Max temperature of warmest month	℃	Bio19	最冷季度降水量 Precipitation of coldest quarter	mm
Bio6	最冷月份最低温度 Min temperature of coldest month	℃	Elev	海拔 Elevation	m
Bio8	最湿季度平均温度 Mean temperature of wettest quarter	℃	Ece	表层土壤盐度 Topsoil salinity	dS · m ⁻¹
Bio9	最干季度平均温度 Mean temperature of driest quarter	℃	Esp	表层土壤碱度 Topsoil sodicity	%
Bio15	降水量季节变异系数 Precipitation seasonality				

1.2.3 企业位置坐标化 在两步路户外助手 APP 7.0.0 中输入进口粮食加工企业和进境粮食指定监管场地的位置,匹配经纬度信息,匹配不成功的少数地理位置,用 Google Earth 7.1 匹配。

1.2.4 MaxEnt 模型校准 特征组合(feature combination, FC)和正则化乘数(regularization multiplier, RM)是影响 MaxEnt 模型预测准确性的 2 个关键参数。FC 有 5 种设置可产生 31 种自由组合;RM 默认为 1,本试验从 0.1~4 每间隔 0.1 设置 40 个不同 RM 值供选。在 R 3.6.3 软件中运行 Kuenm 1.1.6 程序包进行 1240 个(31 种 FC 与 40 个 RM 值组合)不同参数的 MaxEnt 模型运算比较,R 软件将基于统计显著性、预测能力(用遗漏率衡量)和模型复杂性(用 Delta AICc 衡量)进行比较筛选,确定最佳的建模参数,即先筛选保留具有统计显著性的模型,再从其中挑出遗漏率≤5%的模型,最后在同时符合统计显著性和遗漏率标准的模型集中选择 Delta AICc 值≤2 的模型作为推荐模型,若推荐模型多于 1 个,则将其中 Delta AICc 值最小的作为最佳模型。

1.2.5 适生区预测 MaxEnt 软件的 FC 与 RM 2 个参数设置与 R 软件确定的最佳模型一致,以 25% 的分布点作测试集,勾选切刀测试评估环境变量重要性,最大迭代数设置为 5000,重复运算 10 次并以平均值作预测结果。MaxEnt 软件运算后将在每个环境栅格中生成一个 0~1 之间的逻辑输出值(logistic output, LO),LO 值越高则代表皱匕果芥在该环境中适生性越高,并按照 LO 值的高低给环境栅格赋色,组成 ASC 格式的图层文件。采用 ArcMap 软件的自然断点法将 ASC 格式的预测结果重分为 3 类:高度适生区(highly suitable area)、中度适生区(moderately suitable area)和低度适生区(lowly suitable area)。用 ArcMap 将企业位置坐标与皱匕果芥在中国的中、高度适生区进行匹配分析。

2 结果与分析

2.1 最佳 FC 与 RM 参数

经 R 软件分析,所有 1240 个参选模型统计学上均显著,其中遗漏率≤5%的模型有 389 个,遗漏率遗漏率≤5%且 Delta AICc 值≤2 的模型仅有一

个,该模型 Delta AICc = 0, 为最佳模型, 相应 FC 设置为 Linear+Quadratic+Product+Hinge, RM 设置值为 1.2。

2.2 全球适生区预测结果

经 MaxEnt 模型运算,皱匕果芥在全球适生区的 LO 值处于 0~0.879809, ArcMap 软件用自然断点法将 LO 值 0~0.109976 的地理区间划分为低度适生区, 0.109976~0.347112 的区间划分为中度适生区, 0.347112~0.879809 的区间划分为高度适生区。皱匕果芥在全球的中度和高度适生区主要分布在

欧洲大部、非洲南部、大洋洲的澳大利亚南部和新西兰、亚洲的中国和日本、北美洲南部和南美洲南部等地(图 1)。本研究所用的 1486 个分布点中, 有 194 个分布在中度适生区, 占比 13.06%, 有 1260 个分布在高度适生区, 占比 84.79%, 说明模型预测和划分的适生区能够较好地代表皱匕果芥实际可能发生状况。除中国以外, 全球其他地区的中、高度适生区绝大多数已存在于皱匕果芥的实际分布中。

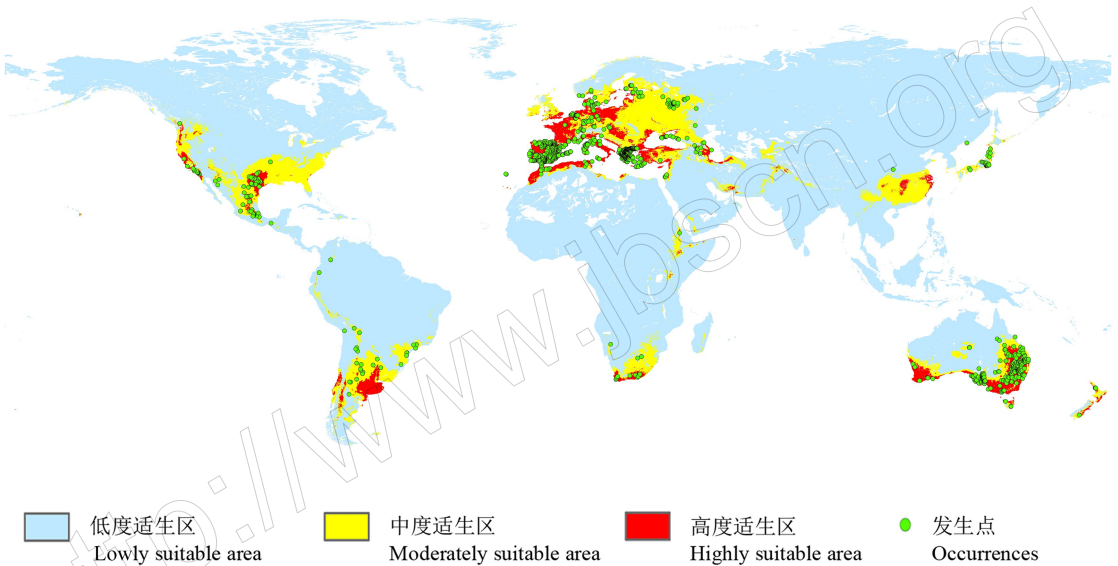


图 1 MaxEnt 模型预测的皱匕果芥全球适生区(不含南极洲)[审图号 GS(2022)3513 号]

Fig.1 Prediction of potential geographical distribution of *R. rugosum* based on MaxEnt model (excluding Antarctica)

2.3 环境变量重要性

在切刀测试中,对模型拟合重要性排名前 3 位的环境变量依次是 Bio6(最冷月份最低温度)、Bio4(温度季节变化标准差)和 Bio19(最冷季度降水量)(图 2),且无论使用正则化训练增益(regularized training gain)、测试增益(test gain)还是 AUC 作切刀测试的评价指标,上述 3 个环境变量的重要性排序均相同。

Bio6(最冷月份最低温度)是对模型拟合最重要的环境变量,在切刀测试中,仅使用 Bio6 构建模型时,正则化训练增益最高,并且如果省略 Bio6 并用其他 14 个环境变量进行模型构建,模型的正则化增益减少得也最多(图 2),因此, Bio6 可能含有其他变量所缺少的重要信息(Phillips, 2021),该变量能较大地影响模型预测结果。最冷月份最低温

度可能是影响皱匕果芥全球分布的最重要的自然因素,这也可以和皱匕果芥在全球的适生区预测范围相印证,皱匕果芥的中、高度适生区主要位于最冷月份最低温度在-16.6~15.8℃的偏暖性气候区域,且有研究表明,过低的温度会导致皱匕果芥种子发生生理性休眠,不利于其萌发和生长(Cousens et al., 1994)。而 Bio2(昼夜温差月均值)、Elev(海拔)、Esp(表层土壤碱度)和 Ece(表层土壤盐度)4 个环境变量本身对于 MaxEnt 的预测几乎是无用的(Phillips, 2021),如果分别仅用上述 4 个变量构建单变量模型,模型增益非常低(<0.2),并且分别省略它们时,模型增益也并未显著减少(图 2),说明昼夜温差、海拔、表层土壤碱度和盐度可能不是皱匕果芥分布的限制性因素,且有研究发现,皱匕果芥对盐胁迫、渗透胁迫和不适 pH 条件的耐受性很

强(Ali *et al.* ,2019; Chauhan *et al.* ,2006; Manalil *et al.* ,2018)。

在 MaxEnt 模型预测的皱匕果芥全球中度适生区, Bio6 (最冷月份最低温度) 在 -16.6~15.8℃, Bio4 (温度季节变化标准差) 在 0.1~12.4℃, Bio19 (最冷季度降水量) 在 1~1348 mm; 在全球高度适生区, Bio6 在 -10.9~11.9℃, Bio4 在 0.1~10.5℃, Bio19 在 17~787 mm。若用 Bio6、Bio4 和 Bio19 分别创建单变量模型, 响应曲线均呈单峰型, 其中 Bio6 为 0.3℃、Bio4 为 6.5℃、Bio19 为 226 mm 时模型的 LO 值最高(图 3), 最高 LO 值落在皱匕果芥高度适生区 LO 区间内。

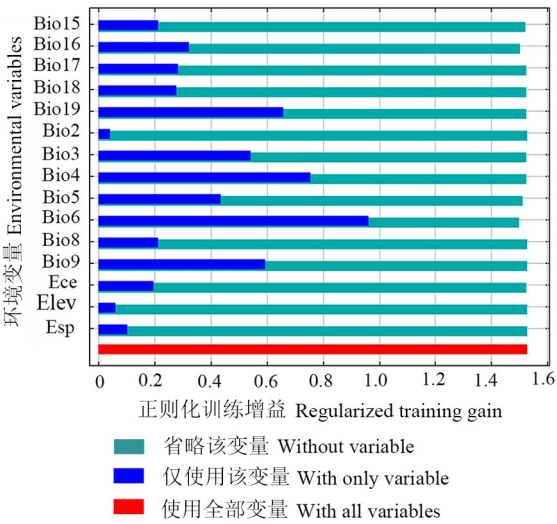


图 2 环境变量切刀测试结果
Fig.2 Jackknife test of environmental variables

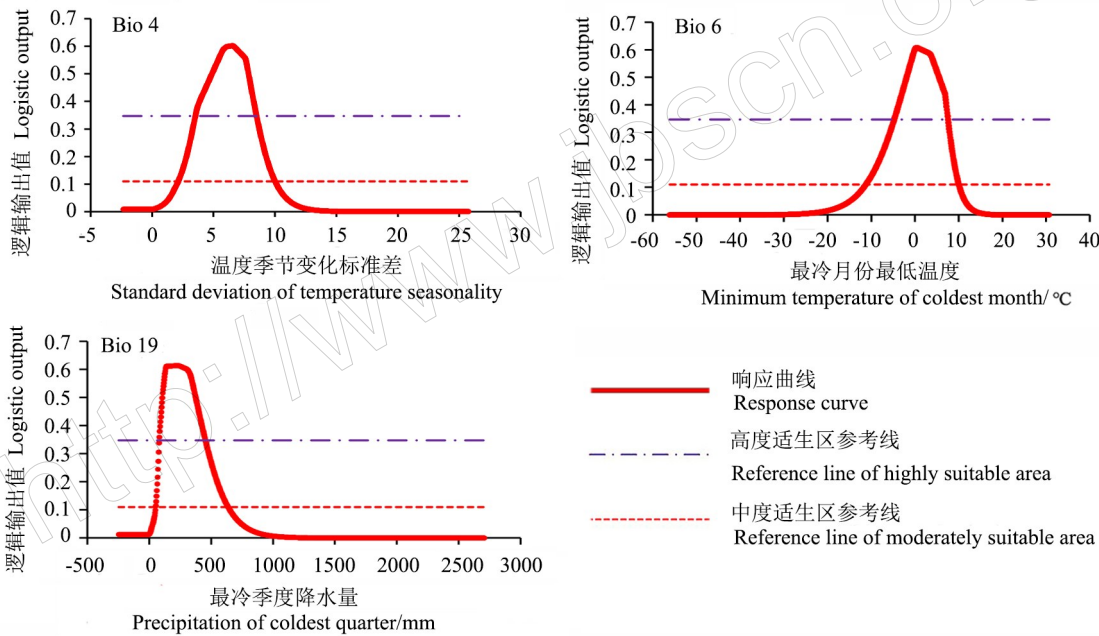


图 3 单环境变量 MaxEnt 模型的响应曲线
Fig.3 Response curve of MaxEnt model created using only the corresponding variable

2.4 中国适生区分布

皱匕果芥中国适生区的 LO 值为 0~0.787873 (图 4)。中度适生区占中国陆地总面积的 15.13%, 约 145.25 万 km², 主要集中在秦岭-淮河以南、龙门山-大凉山以东的亚热带季风气候区域, 涉及陕西、四川、重庆、云南、湖北、湖南、贵州、广西、广东、福建、江西、安徽、河南、山东、江苏、浙江、上海等地区; 高度适生区占中国陆地总面积的 1.67%, 约 16 万 km² 并形成 3 个中心, 由西向东分别为川渝中心、湖北-湖南中心和长三角中心(图 5)。陕西西

安皱匕果芥发生点的 LO 值在 0.024057~0.079045 (图 4, 灰色部分), 根据自然断点法划分为低度适生区。

截至 2021 年 9 月 1 日, 已公布的全国 2353 个进口粮食加工企业和 163 个进境粮食指定监管场地中, 有 901 个进口粮食加工企业和 57 个进境粮食指定监管场地位于皱匕果芥的中、高度适生区, 分别占比 38.3% 和 35%, 并且进境粮食指定监管场地在长三角和东南沿海区域的集中趋势比较明显。

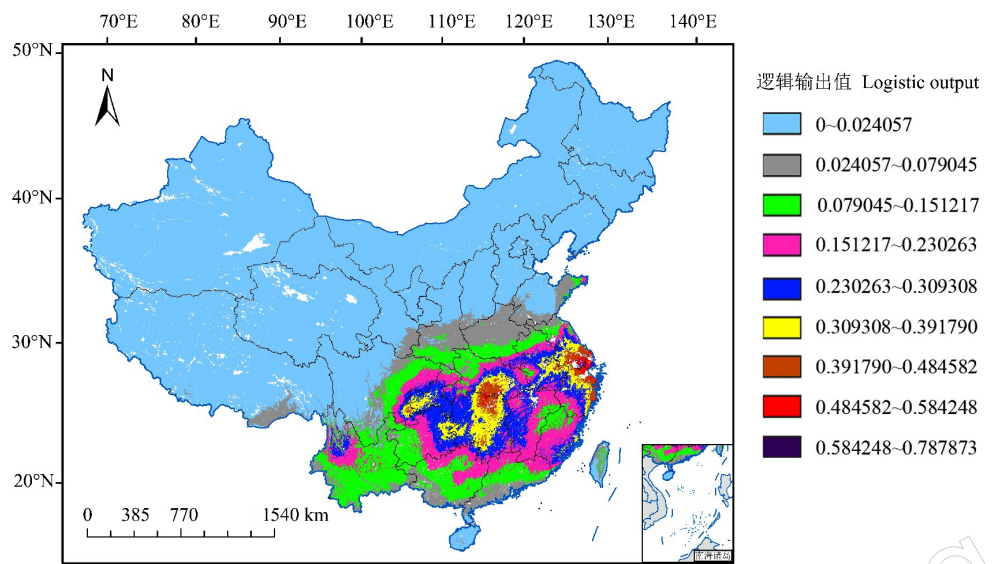


图 4 MaxEnt 模型在中国区域的逻辑输出值[审图号 GS(2022)3513 号]
Fig.4 Logistic output of MaxEnt model in China region

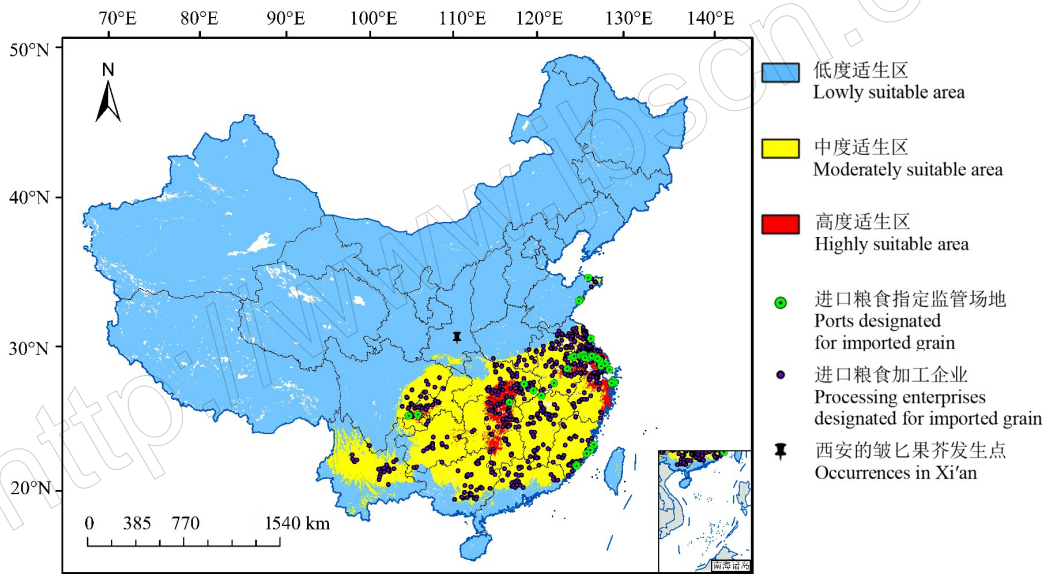


图 5 MaxEnt 模型预测的皱匕果芥中国适生区[审图号 GS(2022)3513 号]
Fig.5 Prediction of potential geographical distribution of *R. rugosum* in China based on MaxEnt model

3 讨论

适生区也称潜在地理分布区,通过适生区预测评估,能够确定某种入侵性有害生物在目标区域特定的气候、海拔等条件下可能的地理分布范围,为入侵的可能性和潜在损失评估提供数据支撑,同时也能为控制预案制定提供科学依据(万方浩等, 2015)。MaxEnt 软件由于预测准确、简便易用而成为目前最受欢迎的物种适生区预测分析工具之一,但物种分布数据的预处理与软件的参数设置对预测结果影响较大。以往的多数研究并未对物种分布数据进行科学筛选并且选择了 MaxEnt 默认设置,有可能导致预测结果偏差,本研究用 ENMTools

对皱匕果芥的全球分布数据进行了筛选,在每个环境栅格中仅保留一个有效分布信息,有效避免了某些地区的环境变量被过度倚重从而导致模型过拟合,同时,采用 R 软件和 Kuenm 程序包对 1240 个 MaxEnt 模型进行了筛选,根据赤池信息量准则确定了最佳的 FC 和 RM 设置,确保预测结果的科学性。

以往学者较多采用训练数据 AUC 值(AUC_{train})作为 MaxEnt 模型预测性能的评价指标,认为 AUC_{train} 值越大表明模型预测效果越好。但越来越多的研究表明, AUC_{train} 值越高并不一定意味着模型越好,该值只是 AUC 统计的产物(Phillips, 2021)。 AUC_{train} 统计可能更倾向于支持过度参数化的模型,

且 AUC_{train} 值的大小与目标物种的分布范围有关, 相对于环境变量所代表的研究区域而言, 分布范围越窄、分布数据越少的物种 AUC_{train} 值往往越高 (Warren & Seifert, 2011)。相比之下, AICc 标准在模型性能评价与选择方面表现出了显著优势, 基于 AICc 标准能选择出参数化适当的模型, 可以更准确地估计变量的相对重要性和模型由训练数据向测试数据的转移能力 (Warren & Seifert, 2011)。因此, 本研究基于显著性、遗漏率和 AICc 标准选择了最适合的模型参数。

适生等级划分是适生区分析的重要内容之一, 本研究采用自然断点法来实现这一步骤。自然断点法是一种数据聚类分析方法, 目前已广泛应用于很多自然灾害的分级研究, 该算法旨在通过不断地迭代计算, 寻找数集中具有统计学意义的、非人为的自然转折点, 并用这些转折点把研究对象分为指定数目的群组, 使每一组内部的相似性最大, 而组与组之间具有最大的相异性 (Jenks, 1967)。陕西西安皱匕果芥发生点的 LO 值虽然高于中国东北、华北、西北大部分地区的 LO 值, 但在数理统计学上该发生点的 LO 值与上述地区的相似性仍然最大, 且与秦岭-淮河以南、龙门山-大凉山以东的亚热带季风气候区域 LO 值的相异性最高, 因此被 ArcMap 软件划分为低度适生区。植物具有较强的环境适应性和生理可塑性, 因此, 低度适生区并不意味着目标植物在该区域绝对不能生长, 而是从概率学上而言其在低度适生区面临的不适环境胁迫可能更强, 生长状态可能不很理想, 扩散速度可能相对更慢, 发生概率也相对较低。因此, MaxEnt 和 ArcMap 软件虽然预测和划分西安市雁塔区为低度适生区, 但该区域仍然发现皱匕果芥的发生, 两者并不矛盾。

我国长江流域产棉区、南方冬小麦 *Triticum aestivum* L. 产区等作物重要产区很多分布在在秦岭-淮河以南, 适合皱匕果芥定殖和扩散, 国外研究表明, 皱匕果芥会严重危害棉花 *Gossypium* spp、小麦等作物生产 (Manalil & Chauhan, 2019; Manalil *et al.*, 2017), 该杂草入侵并大面积发生后, 将给我国粮棉等作物种植造成不利影响。

进口粮谷油料类作物的国际贸易是皱匕果芥入侵中国的主要途径之一, 2013—2015 年全国海关从进口粮食中共截获皱匕果芥籽实 1213 次 (陈宇, 2016), 2011—2014 年京唐港口岸进境巴西大豆

Glycine max (Linn.) Merr. 中皱匕果芥截获率高达 60% (张学勤等, 2015)。进境粮食指定监管场地 (原称“进口粮食指定口岸”) 是进口的禾谷类、豆类、油料类货物 (简称进口粮食) 进境后在海关监管下实施检验检疫、卸载、转运的场所, 然后再将进口粮食运往已在海关备案的加工企业开展生产。在皱匕果芥的中、高度适生区, 进口粮食加工企业和指定监管场地星罗棋布, 进境粮食指定监管场地在长三角和东南沿海地区尤为密集, 皱匕果芥一旦在上述区域入侵, 扩散速度将会加快。长三角及东南沿海地区的进境粮食指定监管场地是全国进口粮食的主要集散中心, 内地企业使用的进口粮食中, 有很大一部分先在上述监管场地卸载通关后, 再分装并经汽车、火车、轮船等工具运输到加工厂, 运输距离跨度大, 接卸、运输、过筛等环节多, 各环节均可能发生撒漏, 且装载过进口粮食的货车车轮、车厢等部位常常残存未清扫干净的粮食和杂草籽粒, 皱匕果芥混杂在进口粮食中入侵和长距离扩散的风险较高。因此, 有必要加强对进境粮食指定监管场地、进口粮食加工企业等高风险区域以及接卸、运输、下脚料处理等高风险环节的监管力度, 防止入侵性杂草随进口粮食传入我国; 同时, 加强监测和调查, 并切实推进海关、农业农村部、生态环境部等部门的信息共享和联防联控, 确保做到早发现、早防除, 防止进一步扩散和危害。

经实地踏查, 西安市雁塔区的皱匕果芥入侵地点为一处撂荒地, 周围并无进境粮食指定监管场地或加工企业, 但堆存了大量的建筑垃圾等废旧物品, 且频繁有货车往来倾卸, 因此推断, 该地区的皱匕果芥入侵也可能与货物运输相关; 虽然该地点被 MaxEnt 模型预测并划分为皱匕果芥低度适生区, 但仍应引起足够重视, 及早予以铲除, 防止该地的皱匕果芥籽实通过运输工具夹带而向其他地区扩散。

参考文献

- 陈宇, 2016. 我国进口粮食截获检疫性有毒杂草疫情分析及建议——以 2013—2015 年为例. 农业与技术, 36(23): 23—27.
- 郭琼霞, 1990. 福州口岸进口小麦的杂草检疫. 植物检疫, 4(4): 306—307.
- 韩玉春, 刘福秀, 徐卫, 蔡波, 李伟东, 林明光, 黄炳均, 2012. 海南口岸首次从进境香港空集装箱中截获检疫性

- 杂草——皱匕果芥. 植物检疫, 26(5): 94.
- 李虹, 周志强, 朱琪芳, 1991. 从伊朗引进甜菜种子中检出皱匕果芥. 植物检疫, 5(6): 450.
- 李瑞法, 楚伟, 柳之光, 张学勤, 靳帅, 陈莹, 范光辉, 2015. 2003—2014 年进境大豆携带杂草疫情分析. 中国植保导刊, 35(11): 64–69.
- 万方浩, 侯有明, 蒋明星, 2015. 入侵生物学. 北京: 科学出版社.
- 寻路路, 李思锋, 李为民, 周亚福, 卢元, 毛少利, 丛晓峰, 2020. 陕西省十字花科植物新记录. 西北植物学报, 40(8): 1428–1435.
- 印丽萍, 2018. 中国进境植物检疫性有害生物杂草卷. 北京: 中国农业出版社.
- 袁俊杰, 卢乃会, 魏霜, 马新华, 杨卓瑜, 张娜, 渭婷玉, 陈文, 龙阳, 2020. 2005—2019 年进境油菜籽携带杂草疫情分析. 中国植保导刊, 40(12): 86–89.
- 张学勤, 吴伟萍, 陈莹, 范光辉, 2015. 京唐港口岸进境大豆截获杂草种子情况分析和建议. 杂草科学, 33(1): 45–47.
- 张则恭, 郭琼霞, 1995. 杂草种子鉴定图说第一册. 北京: 中国农业出版社.
- 中国科学院植物研究所, 2021. 中国植物物种名录 2021 版. (2021-05-17) [2021-11-30]. https://www.cvh.ac.cn/species/taxon_tree.php?type=gen¶m=Rapistrum.
- ADKINS S W, WILLS D, BOERSMA M, WALKER S R, ROBINSON G, MCLEOD R J, EINAM J P, 1997. Weeds resistant to chlorsulfuron and atrazine from the north-east grain region of Australia. *Weed Research*, 37: 343–349.
- ALI H H, KEBASO L, MANALIL S, CHAUHAN B S, 2019. Emergence and germination response of *Sonchus oleraceus* and *Rapistrum rugosum* to different temperatures and moisture stress regimes. *Plant Species Biology*, 2019: 1–8.
- CHAUHAN B S, GILL G, PRESTON C, 2006. Factors affecting turnipweed (*Rapistrum rugosum*) seed germination in southern Australia. *Weed Science*, 54(6): 1032–1036.
- COUSENS R, ARMAS G, BAWEJA R, 1994. Germination of *Rapistrum rugosum* (L.) All. from New South Wales, Australia. *Weed Research*, 34: 127–135.
- HATAMI Z M, GHEREKHLOO J, ROJANO-DELGADO A M, OSUNA M D, ALCÁNTARA R, FERNÁNDEZ P, SADEGHIPOUR H R, PRADO R D, 2016. Multiple mechanisms increase levels of resistance in *Rapistrum rugosum* to ALS herbicides. *Frontiers in Plant Science*, 7: 169.
- JENKS G F, 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7: 186–190.
- JOSE S, SINGH H P, BATISH D R, KOHLI R K, 2013. *Invasive plant ecology*. Florida: CRC Press.
- MANALIL S, ALI H H, CHAUHAN B S, 2018. Germination ecology of turnip weed (*Rapistrum rugosum* (L.) All.) in the northern regions of Australia. *PLoS ONE*, 13(7): e0201023.
- MANALIL S, CHAUHAN B S, 2019. Interference of turnipweed (*Rapistrum rugosum*) and Mexican pricklepoppy (*Argemone mexicana*) in wheat. *Weed Science*, 67: 666–672.
- MANALIL S, WERTH J, JACKSON R, CHAUHAN B S, PRESTON C, 2017. An assessment of weed flora 14 years after the introduction of glyphosate-tolerant cotton in Australia. *Crop & Pasture Science*, 68: 773–780.
- MOBLI A, MANALIL S, KHAN A M, JHA P, CHAUHAN B S, 2020. Effect of emergence time on growth and fecundity of *Rapistrum rugosum* and *Brassica tournefortii* in the northern region of Australia. *Scientific Reports*, 10: 15979.
- PARDO G, MARÍ A I, AIBAR J, VILAPLANA L, CIRUJEDA A, 2019. Bastard cabbage (*Rapistrum rugosum* L.) resistance to tribenuron-methyl and iodosulfuron-methyl-sodium in Spain and alternative herbicides for its control. *Agronomy*, 9: 492.
- PHILLIPS S J, 2021. *A brief tutorial on Maxent*. (2021-01-25) [2021-11-30]. https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/Maxent_tutorial_2021.pdf.
- PIMENTEL D, 2011. *Biological invasions*. 2nd ed.. Florida: CRC Press.
- SAGHI A, RASHED MOHASSEL M H, PARSA M, HAMMI H, 2016. Phytoremediation of lead-contaminated soil by *Sinapis arvensis* and *Rapistrum rugosum*. *International Journal of Phytoremediation*, 18(4): 387–392.
- SIMMONS M T, 2005. Bullying the bullies: the selective control of an exotic, invasive annual (*Rapistrum rugosum*) by oversowing with a competitive native species (*Gaillardia pulchella*). *Restoration Ecology*, 13(4): 609–615.
- STOCKS D C, DUNSTER P J, GIBSON J A, 1984. Observations of the effects of *Rapistrum rugosum* on thyroid function. *Australian Veterinary Journal*, 61(8): 264–265.
- WARREN D L, SEIFERT S N, 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21(2): 335–342.
- WHISH J P M, SINDEL B M, JESSOP R S, FELTON W L, 2002. The effect of row spacing and weed density on yield loss of chickpea. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53: 1335–1340.