

基于MaxEnt模型预测冬虫夏草在青海省的潜在适生区

梁静^{1,2}, 李秀璋¹, 张振西¹, 陈建博¹, 唐楚煜¹, 王涛¹, 李玉玲^{1*}

(1. 青海大学畜牧兽医科学院, 青海大学农牧学院, 青海 西宁 810016; 2. 宁夏志辉源石葡萄酒庄有限公司, 宁夏 银川 750021)

摘要:【目的】预测冬虫夏草在青海省的潜在适生区分布, 对冬虫夏草资源可持续利用及稳定产区农牧民经济收入具有重要意义。【方法】利用62个冬虫夏草地理分布点和22个环境变量数据, 采用最大熵模型MaxEnt与地理信息系统ArcGIS模拟冬虫夏草的地理分布, 分析环境变量对冬虫夏草分布的影响, 并划分适生等级, 分析适生区环境特征。【结果】AUC(曲线下面积)值高于0.9, 模型具有较高的准确度, 适宜于冬虫夏草的生境适宜性预测。利用Jackknife刀切法计算得到影响冬虫夏草分布的主要环境变量为年降水量(613~727 mm)、年平均气温($-2\sim 3^{\circ}\text{C}$)、海拔(3 800~4 500 m)和最冷月最低温($-13\sim -11^{\circ}\text{C}$), 上述环境变量的累计贡献率为88.5%。适生区分析结果显示, 冬虫夏草主要集中于玉树藏族自治州的玉树市、杂多县、称多县、囊谦县、曲麻莱县, 果洛藏族自治州的玛多县、玛沁县、甘德县、达日县、久治县、班玛县, 海北藏族自治州的门源县, 海西藏族自治州的都兰县。【结论】MaxEnt模型能很好地模拟冬虫夏草的地理分布, 本次预测的潜在适生区分布范围大于已知分布区。

关键词: 青海省; 冬虫夏草; MaxEnt模型; 降水量; 海拔; 适生区

中图分类号: S567.35 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2025)01-0045-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2025.01.006



冬虫夏草为线虫草科(Ophiocordycipitaceae)真菌冬虫夏草菌(*Ophiocordyceps sinensis*)寄生在蝙蝠蛾科(Hepialidae)昆虫幼虫上的子座和幼虫尸体的干燥复合体^[1], 具有补肺、益肾、止咳化痰、调节免疫系统之功效^[2-3]。冬虫夏草主要分布在我国青海、四川、西藏、甘肃等地, 其中青海省由于特殊的地理位置和气候条件使得冬虫夏草的数量和质量均居全国之首, 青海冬虫夏草产量又以玉树和果洛藏族自治州最高^[4]。由于人类活动的影响, 其野生环境被严重破坏, 自然资源日益减少、面临枯竭, 加强对冬虫夏草适生环境

的研究和保护已刻不容缓。

冬虫夏草主要分布在高寒草甸地带, 影响其分布的关键因子包括海拔、土壤、气候、植被等^[5], 其中温度和降水量对产量影响最为显著^[6]。气候因素对虫草产区的分布和影响至关重要, 虫草生长在高海拔地区, 这些地区通常具有低温、较高湿度和充足降水。最佳生长温度范围在 $5\sim 20^{\circ}\text{C}$, 过高或过低的温度都会影响虫草生长和产量, 高湿度和充足降水对虫草的生长至关重要。研究发现矮生垫状灌丛为冬虫夏草生长地最为丰富的植被, 其次为草本植物, 乔木较少, 且植被盖度不高^[7]。不同地区土壤湿度、空气温度、湿度等条件的不同, 导致冬虫夏草分布海拔存在一定的差异, 一般认为冬虫夏草生长的适宜海拔高度为4 200~4 600 m, 上下限分别为5 000 m和3 000 m^[8-9]。近年来, 我国气温升高较快, 其中高海拔地区气温变暖显著, 特别是青藏高原出现了“放大效应”的增温。随着青藏高原气候变暖和草地生态环境的破坏, 冬虫夏草

收稿日期: 2023-12-27; **修回日期:** 2024-04-13

基金资助: 青海省科学技术厅项目(2021-SF-A4)

作者简介: 梁静(1996-), 女, 宁夏青铜峡人, 硕士研究生。

E-mail: lj2391761290@163.com

*通信作者, 研究方向为草地资源与利用。

E-mail: yulingli2000@163.com

分布格局出现了明显的两极分化,其分布海拔下限呈现上移趋势,分布范围正在缩小。冬虫夏草生长的地方海拔高、气候恶劣、地貌复杂,增加了其分布和生境调查的难度,因此通常局限在某一区域对其生态进行调查。青海玉树^[10]、西藏那曲^[11]、云南兰坪^[12]、四川康定^[13]、甘肃玛曲^[14],这些调查都是点状分布的格局。Wrinker^[15]通过调查统计冬虫夏草资源,绘制出了冬虫夏草分布的轮廓,实现了冬虫夏草由点到面的分布格局。

最大熵模型 MaxEnt(maximum entropy model)是使用最为广泛的生态位模型,利用已知物种分布点数据与环境变量数据,拟合具有熵值最大的概率分布值,并以此估计物种的适生分布^[16]。研究发现,Max-Ent模型的预测结果精度优于其他模型,具有较好的模拟效果^[17-18]。目前,已有研究将 MaxEnt 模型及空间分析技术应用至全球冬虫夏草的生态适宜性区划中,得到了可信度较高的分析结果^[8],此外在三七(*Panax notoginseng*)^[19]、何首乌(*Polygonum multiflorum*)^[20]、黄连(*Rhizoma coptidis*)^[21]、枸杞(*Lycium chinense*)^[22]、黄芪(*Astragalus membranaceus*)^[23]、党参(*Codonopsis pilosula*)^[24]等物种的适生区划分中也取得了较高的可信度。已有的研究为探索冬虫夏草资源的分布奠定了坚实的基础,然而有关青海省内冬虫夏草资源分布相关的研究较少,环境变量的选择也较为局限,且缺乏对其生长环境的综合考虑。因此,本研究在对冬虫夏草分布数据收集和整理的基础上,根据冬虫夏草的生境条件,利用 MaxEnt 模型及 ArcGIS 空间分析技术预测青海冬虫夏草的潜在适生区,分析影响冬虫夏草分布的主导环境变量,探明冬虫夏草地理分布与环境因子之间的关系,为合理利用及保护冬虫夏草资源提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 物种分布数据来源及处理

冬虫夏草地理分布数据由青海大学畜牧兽医学院李玉玲课题组野外实地调查获取,通过去除无效和重复数据,共计收集到冬虫夏草有效分布点 62 个。

1.2 环境变量

空间分辨率为 30 m×30 m 的高程数据(DEM),土壤数据为中国 1:100 万数字化土壤图,植被数据为

中国科学资源环境数据中心共享平台发布的 1:100 万中国植被类型空间分布数据,气候数据选取来源于世界气候数据库(<http://www.worldclim.org/>)的 19 个气候因子(表 1)。行政边界数据采用来自国家基础地理信息中心的 1:400 万中国行政区划数据。

表 1 用于模型预测的环境变量
Table 1 Variables used in the model prediction

指标	描述
Bio1	年平均气温
Bio2	平均气温日较差
Bio3	等温性 (Bio2/Bio7) (×100)
Bio4	温度季节性变化标准差
Bio5	最热月最高温
Bio6	最冷月最低温
Bio7	温度年较差 (Bio5—Bio6)
Bio8	最湿季平均温度
Bio9	最干季平均温度
Bio10	最热季平均温度
Bio11	最冷季平均温度
Bio12	年降水量
Bio13	最湿月降水量
Bio14	最干月降水量
Bio15	降水量季节性变异性系数
Bio16	最湿季降水量
Bio17	最干季降水量
Bio18	最热季降水量
Bio19	最冷季降水量
Vegetation	植被类型
Soil	土壤类型
Altitude	海拔

1.3 预测模型及评估

将冬虫夏草分布点和环境数据导入 MaxEnt 3.4.1 软件中建模运算,随机选取 75% 分布数据为训练集,剩余 25% 为测试集,开启刀切法(Jackknife)计算环境变量对冬虫夏草的影响,绘制各环境变量的响应曲线。设定模型运算 1 000 次,设置重复 10 次,其余选项采用默认设定^[25]。利用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)对 MaxEnt 模型运算结果进行检验,ROC 曲线以假阳性率(即 1—特异度)为横坐标,真阳性(敏感度)为纵坐标,计算曲线下的面积(AUC)值。当 AUC 值介于 0.70~0.80 时,认为预测结果较准确;当 AUC 值介于 0.80~0.90 时,认为预测结果很准确;当 AUC 值大于 0.90 时,认

为预测结果极准确^[26-28]。

1.4 适生等级划分和主导环境因子分析

将 MaxEnt 分析得到的 asc 文件在 Arcgis 10.2 中转化成 Raster 格式,利用 Arcgis 10.2 空间分析工具重分类工具进行适生区划分。参照 IPCC 报告有关评估可能性的划分方法^[29],并结合冬虫夏草实际分布情况,将冬虫夏草潜在地理分布划分为 3 个等级。将模型预测结果转化后导入 ArcGIS 10.2 绘制分布图,并利用 Raster Reclassify 功能,统计不同等级适生区分布面积。综合 Jackknife 检验和贡献率分析结果确定影响冬虫夏草适生分布的主导环境变量,根据冬虫夏草潜在分布概率在不同主导环境变量中的响应曲线,获得不同分布等级下主导环境因子的作用阈值^[25]。

2 结果与分析

2.1 MaxEnt 模型的准确性评估

基于 MaxEnt 模型建模并运行得出的 AUC 分析结果表明,冬虫夏草适生区预测模型训练数据的 AUC 值为 0.940,测试数据的 AUC 值为 0.942(图 1)。

2.2 影响青海省冬虫夏草分布的环境变量

刀切法检验 MaxEnt 模型对环境变量的重要性表明,当使用单独变量进行模型预测时,年降水量的正规化训练增益和测试增益最高,其测试增益大于 1,正

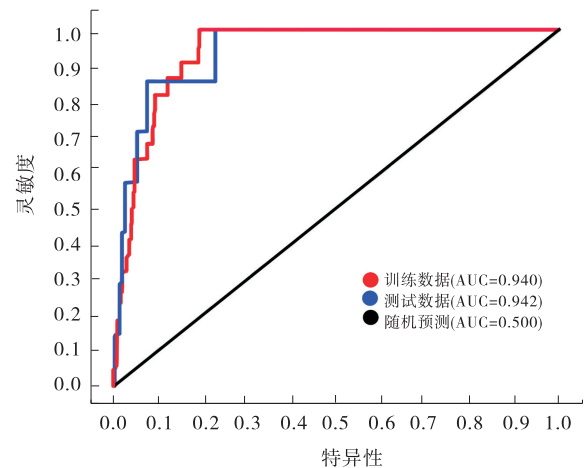


图 1 MaxEnt 模型的 ROC 检验

Fig. 1 ROC test of the MaxEnt model

规化训练增益大于 0.8,受试者工作特征曲线下的面积大于 0.87,因此年降水量被认为是影响冬虫夏草分布的主要气候限制条件(图 2)。结合环境变量对冬虫夏草分布影响的贡献率和置换重要值发现,年降水量、年平均气温、海拔、最冷月最低温的建模贡献率分别为 40.2%、17%、15.7%、15.6%,累计贡献率达 88.5%,显著高于剩余 8 个环境变量。比较置换重要值发现,年平均气温、海拔、最冷月最低温置换重要值分别为 40.7%、42.9%、8%,对建模有很大影响。因此,这 4 个环境变量是影响冬虫夏草分布的主导环境变量(表 2)。

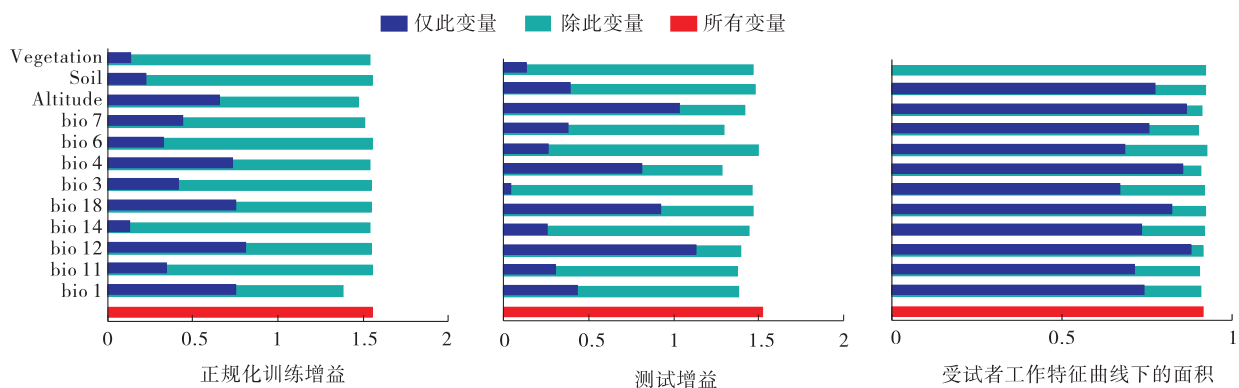


图 2 Maxent 模型对环境变量重要性的刀切法检验

Fig. 2 Jackknife test of the importance of environmental variables in MaxEnt

2.3 冬虫夏草最适环境条件

以存在概率大于 0.6 作为冬虫夏草最适宜区的条件,4 个主导环境变量的值域分别为:年降水量 613~727 mm(图 3-A)、年平均气温 $-2\sim 3^{\circ}\text{C}$ (图 3-B)、海拔 3 800~4 500 m(图 3-C)、最冷月最低温 $-13\sim -11^{\circ}\text{C}$

(图 3-D)。

2.4 冬虫夏草在青海省的潜在适生区分布

冬虫夏草在青海省的适宜区域自西向东,主要分布于 $92^{\circ}\sim 103^{\circ}\text{E}$, $32^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ 。适宜区主要集中于玉树藏族自治州的玉树市、杂多县、称多县、囊谦县、曲

表2 环境变量对最大信息熵模型的贡献率

Table 2 Contribution of the environmental variables to the MaxEnt model

变量	贡献率/%	置换重要值/%
年降水量	40.2	1.1
年平均气温	17	40.7
海拔	15.7	42.9
最冷月最低温	15.6	8
等温性 (Bio2/Bio7) (×100)	3.4	2.2
最冷季平均温度	2.1	0.7
温度年较差	1.8	2
最热季降水量	0.9	0.9
植被	0.9	0.3
温度季节性变化标准差	0.8	0.2
土壤类型	0.8	0.8
最干月降水量	0.8	0.1

麻莱县,果洛藏族自治州的玛多县、玛沁县、甘德县、达日县、久治县、班玛县,海北藏族自治州的门源县,海西藏族自治州的都兰县;次适宜区域主要分布在适宜区域的周边,在刚察县、兴海县、天峻县、尖扎县、曲麻莱县等地分布较多;不适宜区域在青海的西北方向,主要是治多县、格尔木市。适宜区、次适宜区和不适宜区均呈斑块状镶嵌分布(图4)。

统计不同适生区分布面积,发现不适宜区($2.73\times10^5\text{ km}^2$)>适宜区 $1.86\times10^5\text{ km}^2$ >次适宜区

$1.73\times10^5\text{ km}^2$ 分布面积,整个潜在适生分布面积达到了 $3.59\times10^5\text{ km}^2$ (表3)。

3 讨论

本研究运用 MaxEnt 模型预测青海冬虫夏草的潜在适宜区分布范围,划分了冬虫夏草在不同区域的适生等级,探明冬虫夏草在青海的地理分布状况。利用 MaxEnt 模型得到的训练数据和测试数据的 ROC 曲线均位于随机预测曲线的上方,且训练数据和测试数据的 AUC 值分别为 0.940、0.942,均比随机预测值 0.5 大,说明预测结果精确可信度高。

年降水量是影响冬虫夏草分布的重要因素^[30]。Shrestha 等^[31]发现,尼泊尔冬虫夏草分布受温度影响较大,生态位因子中年平均气温、最干月降水量、最冷季平均温度和季节性降水量对冬虫夏草分布有重要影响。而对全球冬虫夏草分布影响最大的生态位因子是最暖月最高温、年平均温、年降水量、最湿季平均温度等^[8]。与上述研究相似,青海冬虫夏草也受温度和降水量的影响。本研究发现影响青海冬虫夏草分布的环境变量主要为年降水量、年平均气温、海拔、最冷月最低温,上述环境变量累计贡献率达到 88.5%。刁治民等^[10]发现青海玉树冬虫夏草生境年平均气温

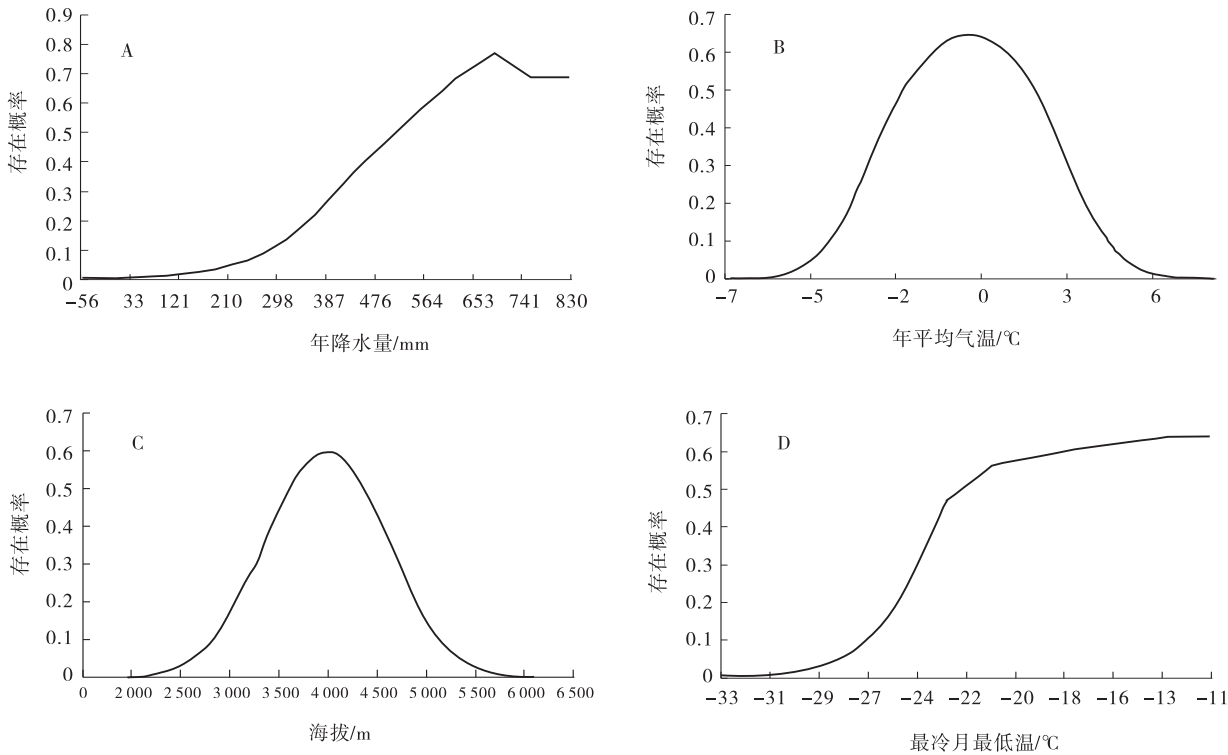
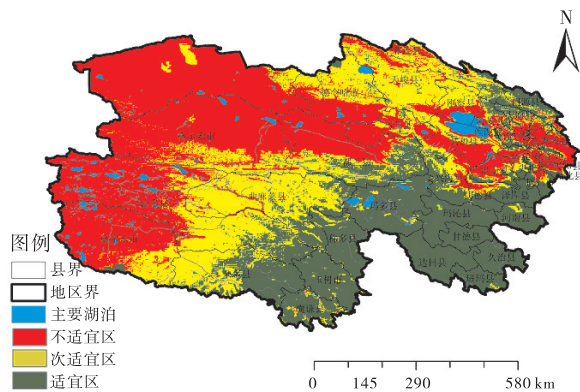


图3 冬虫夏草主导环境变量响应曲线

Fig. 3 The response curves on dominant environmental variables of Chinese Cordyceps



审图号: GS(2019)3333号

图 4 基于 MaxEnt 模型的青海冬虫夏草潜在
适生区分布示意图

Fig. 4 Potential suitable area of Chinese Cordyceps in Qinghai Province predicted by the MaxEnt model

注:该图基于中华人民共和国自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019)3333 号的标准地图制作,底图边界无修改。

表 3 青海冬虫夏草不同适生区下潜在分布面积

Table 3 Potential distribution area of Chinese Cordyceps in different suitable areas of Qinghai

适宜性	潜在适生区/km ²
适宜区	1.86×10^5
次适宜区	1.73×10^5
不适宜区	2.73×10^5

2.6℃左右,当空气温度低、土壤干燥时,冬虫夏草生长较为缓慢^[32]。本研究也发现,冬虫夏草对温度变化和低温较敏感,当年平均气温为-2~3℃、最冷月最低温为-13~-11℃时适宜冬虫夏草生长和分布,而当年平均气温和最冷月最低温较低时,不适宜冬虫夏草的生长和分布。青海冬虫夏草的分布也受到海拔的影响,海拔高度的差异将会影响到降水量,降水量和温度会随着海拔升高而下降^[33],导致生境地的温湿度等环境条件变化,对冬虫夏草的分布有直接影响^[34]。青海冬虫夏草主要分布于海拔 3 000~5 000 m^[5],与本研究结果基本一致。实际上,大多数冬虫夏草分布在海拔 3 000~5 000 m 范围内,超过这个范围,其生长条件和生存率可能会下降^[35]。作为冬虫夏草重要的寄主昆虫,蝙蝠蛾的种群动态和生态习性不仅是限制冬虫夏草蕴藏量的基础,也是冬虫夏草资源可持续利用的关键^[36]。冬虫夏草资源的产区变迁中的内因包括种群自身的适应能力和竞争能力,当

资源丰富时,冬虫夏草种群繁殖能力增强,并有可能向新的地区扩散^[37]。反之,资源匮乏或竞争加剧可能导致种群减少或迁移到更适宜的地区。内在的遗传变异和适应性也会影响冬虫夏草对不同环境的适应能力和生存繁衍能力。

通过对青海冬虫夏草潜在适生区预测,发现青海冬虫夏草适宜区主要集中于玉树藏族自治州的玉树市、杂多县、称多县、囊谦县、曲麻莱县,果洛藏族自治州的玛多县、玛沁县、甘德县、达日县、久治县、班玛县,海北藏族自治州的门源县,海西藏族自治州的都兰县,面积为 1.86×10^5 km²。根据野外调查,青海冬虫夏草分布较适宜的区域主要为玉树藏族自治州的玉树市、杂多县、曲麻莱县,果洛藏族自治州的玛沁县、达日县、甘德县。本次预测的潜在适生区分布范围大于已知的分布区,门源县、天峻县、都兰县等区域也存在冬虫夏草理想的适生地。这与目前调查结果相差较远,可能是由于全球气候变暖导致青藏高原冻土层的活动层增加及面积减小、高寒草甸和草原严重退化以及土壤持水能力下降,破坏了生态系统,使青藏高原冬虫夏草的分布范围及资源数量受到了影响。

4 结论

本研究基于 MaxEnt 模型选用降水量、温度等相关的 19 个生物气候变量和土壤类型、植被类型、地形因子中的海拔变量环境因子对青海省冬虫夏草潜在适生区进行预测,结果表明,AUC(曲线下面积)值高于 0.9,模型具有较高的准确度,适宜于冬虫夏草的生境适宜性预测。影响冬虫夏草分布的主要环境变量为年降水量(613~727 mm)、年平均气温(-2~3℃)、海拔(3 800~4 500 m)和最冷月最低温(-13~-11℃),上述环境变量的累计贡献率为 88.5%。冬虫夏草主要集中于玉树藏族自治州的玉树市、杂多县、称多县、囊谦县、曲麻莱县,果洛藏族自治州的玛多县、玛沁县、甘德县、达日县、久治县、班玛县,海北藏族自治州的门源县,海西藏族自治州的都兰县。尽管这个模型在其他生物资源的预测分析中经过了不断的检验,但是冬虫夏草物种的特殊性还是会造成一定的误差,因此未来在研究冬虫夏草潜在适生区分布时,可将人类活动、寄主类型等众多因素都纳入模型中,会使模型预测结果更加精确。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [2] 肖瑛,胡雪峰,陶盛昌,等. 鲜冬虫夏草药理作用研究进展[J]. 亚太传统医药,2018,14(4):80—85.
- [3] Wu F, Zhou L W, Yang Z L, *et al.* Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species[J]. Fungal Diversity, 2019, 9(5):1—76.
- [4] 李玉玲,刘欣,徐海峰,等. 青海冬虫夏草的研究进展及发展趋势[J]. 青海科技,2002,9(4):15—17.
- [5] 李玉玲. 青海省冬虫夏草研究及其资源保护、开发利用[J]. 特产研究,2007,29(3):61—64.
- [6] 高葵. 川西冬虫夏草分布及生境中种子植物区系研究[J]. 绵阳师范学院学报,2008,27(11):81—87.
- [7] 王玉华,谢超玲. 冬虫夏草在青藏高原生态中的地位[J]. 绿色科技,2019(2):29—30.
- [8] 袁峰. 冬虫夏草居群谱系地理与适生区分布研究[D]. 昆明:云南大学,2015.
- [9] 周刊社,洪健昌,罗珍,等. 青藏高原冬虫夏草产区气候变化特征分析[J]. 资源科学,2019,41(1):164—175.
- [10] 刁治民. 青海冬虫夏草资源及生物学特性的初步研究[J]. 生物学杂志,1996,14(2):20—22.
- [11] 陈仕江,尹定华,李黎,等. 西藏那曲地区冬虫夏草资源及分布[J]. 中药材,2000,23(11):673—675.
- [12] 吴长奎. 兰坪虫草及其寄主蝠蛾居群遗传学和适生区分布研究[D]. 昆明:云南大学,2016.
- [13] 徐平湘,张玉臣,熊杰,等. 西藏与四川产冬虫夏草的抗炎和应激作用比较[J]. 中药药理与临床,2007,23(5):139—140.
- [14] 康红梅,李花花,顾春华,等. 甘肃不同产地冬虫夏草品质特征研究[J]. 西部中医药,2016,29(8):11—14.
- [15] Winkler D. Yartsa Gunbu (*Cordyceps sinensis*) and the fungal commodification of Tibet's rural economy [J]. Economic Botany, 2008, 62:291—305.
- [16] Zhu G P, Gao Y B, ZHU L. Delimiting the coastal geographic background to predict potential distribution of *Spartina alterniflora* [J]. Hydrobiologia. 2013, 717 (1): 177—187.
- [17] 马松梅,张明理,张宏祥,等. 利用最大熵模型和规则集遗传算法模型预测子遗植物裸果木的潜在地理分布及格局[J]. 植物生态学报,2010,34(11):1327—1335.
- [18] 王茹琳,文刚,李庆,等. 美味猕猴桃地理分布模拟与气候变化影响分析[J]. 热带亚热带植物学报,2018,26(4):335—345.
- [19] 刘葵,黄万斌,何梦铃,等. 基于 GIS 和 MaxEnt 的弥勒市林下三七仿野生种植适生区分析[J]. 西部林业科学, 2022, 51(1):56—61.
- [20] 陈亚. 何首乌质量评价及产地适宜区划研究[D]. 南宁:广州中医药大学,2013.
- [21] 柳鑫,杨艳芳,宋红萍,等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的黄连生长适宜性区划研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(17):3186—3193.
- [22] 唐燕,赵儒楠,任钢,等. 基于 MaxEnt 模型的中华枸杞潜在分布预测及其重要影响因子分析[J]. 北京林业大学学报,2021,43(6):23—32.
- [23] 王莉,韦翡翠,成希,等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的定西市蒙古黄芪适宜性区划研究[J]. 中国药房, 2020, 31(3):321—324.
- [24] 陈博,王莉,韦翡翠,等. 定西市党参生态适宜性区划研究[J]. 中国现代中药,2020,22(6):845—848.
- [25] 刘攀峰,王璐,杜庆鑫,等. 杜仲在我国的潜在适生区估计及其生态特征分析[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5674—5684.
- [26] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 1988, 240(4857):1285—1293.
- [27] 邵慧,田佳倩,郭柯,等. 样本容量和物种特征对 BIOCLIM 模型模拟物种分布准确度的影响—以 12 个中国特有落叶栎树种为例[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5):870—877.
- [28] 高文强,王小菲,江泽平,等. 气候变化下栓皮栎潜在地理分布格局及其主导气候因子[J]. 生态学报, 2016, 36(14):4475—4484.
- [29] Mastrandrea M D, Field C B, Stocker T F, *et al.* Guidance note for lead authors of the ipcc fifth assessment report on consistent treatment of uncertainties. Jasper Ridge, CA, USA: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2010.
- [30] 张古忍,余俊锋,吴光国,等. 冬虫夏草发生的影响因子[J]. 生态学报,2011,31(14):4117—4125.
- [31] Shrestha U B, Bawa K S. Impact of climate change on potential distribution of Chinese caterpillar fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in Nepal Himalaya [J]. Plos One, 2014, e106405
- [32] 李玉玲. 冬虫夏草菌丝生长温度的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志,2001,31(6):8—9.
- [33] 张宇欣,李育,朱耿睿. 青藏高原海拔要素对温度、降水和气候型分布格局的影响[J]. 冰川冻土,2019,41(3):505—515.

- [34] 陈仕江,尹定华,丹增,等. 中国西藏那曲冬虫夏草的生态调查[J]. 西南农业大学学报, 2001, 45(4): 289—292+296.
- [35] 徐海峰. 青海杂多县冬虫夏草的生态调查[J]. 草业与畜牧, 2007, 28(2): 30—34.
- [36] 张宗豪,刘欣,徐海峰,等. 冬虫夏草采挖与土壤化学性质相关性研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2017, 47(2): 29—31+34.
- [37] 王涛,陈建博,李秀璋,等. 坡度和采挖强度对玉树冬虫夏草幼虫数量和采挖数量的影响[J]. 草原与草坪, 2023, 43(1): 144—149.

Predicting the potential habitat of Chinese Cordyceps in Qinghai Province based on MaxEnt model

LIANG Jing^{1,2}, LI Xiu-zhang¹, ZHANG Zheng-xi¹, CHEN Jian-bo¹, TANG Chu-yu¹,
WANG Tao¹, LI Yu-ling^{1*}

(1. College of Animal Husbandry and Veterinary Sciences, Qinghai University, College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai, Xining 810016; 2. Ningxia Zhihuiyuan Shi Winery Co., Ltd., Ningxia, Yinchuan 750021)

Abstract: 【Objective】 With human activities and global climate change, the province's Chinese Cordyceps resources are facing a risk reduction. It is important to predict the potential distribution of Chinese Cordyceps in Qinghai province for the sustainable use of Chinese Cordyceps resources and the stabilization of the economic income of farmers and herdsmen. 【Method】 Based on 62 geographical distribution points of Chinese Cordyceps and 22 environmental variables, the maximum entropy model MaxEnt and the geographic information system ArcGIS were used to simulate the geographical distribution of Chinese Cordyceps, analyze the impact of environmental variables on the distribution of Chinese Cordyceps, and divide the suitable growth grade and analyze the environmental characteristics of the suitable areas. 【Result】 The results showed that the AUC (area under the curve) value was higher than 0.9 and the model had high accuracy and was suitable for habitat suitability prediction of Chinese Cordyceps. The main environmental variables affecting the distribution of Chinese Cordyceps were calculated using the Jackknife cut method. The calculation demonstrated that the main environmental variables affecting the distribution of cordyceps sinensis were annual precipitation (613~727 mm), annual average temperature ($-2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$), altitude (3 800~4 500 m) and the lowest temperature in the coldest month ($-13\sim -11\text{ }^{\circ}\text{C}$). The cumulative contribution rate of the above environmental variables is 88.5%. The analysis of suitable areas showed that Chinese Cordyceps was mainly concentrated in Yushu City, Zadoi County, Chindu County, Nangqen County and Qumarleb County in Yushu Tibetan Autonomous Prefecture, Madoi County, Maqen County, Gade County, Darlag County, Jiuzhi County and Banma County in Guoluo Tibetan Autonomous Prefecture, Menyuan County in Haibei Tibetan Autonomous Prefecture, and Dulan County in Haixi Tibetan Autonomous Prefecture. 【Conclusion】 The results show that the MaxEnt model can well simulate the geographical distribution of Chinese Cordyceps, clarify the influence of environmental variables on the distribution of Chinese Cordyceps, and provide reference for the conservation of Chinese Cordyceps resources.

Key words: Qinghai Province; Chinese Cordyceps; MaxEnt model; precipitation; elevation; suitable area

(责任编辑:康宇坤)