

基于 MaxEnt 分析我国羊草分布区的生物气候特征

陈积山^{1*}, 刘杰淋¹, 朱瑞芬¹, 李佶恺¹, 邸桂俐¹, 张 强¹, 毛东杰², 孔晓蕾¹

(1. 黑龙江省农业科学院草业研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 哈尔滨市动物卫生防疫站, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要:羊草(*Leymus chinensis*)是欧亚大陆草原区东部草甸草原及干旱草原上的重要建群种之一。利用生物气候数据分折我国羊草的适生气候特征,客观反映我国羊草的地理分布范围及主导其分布的生物气候因子,能为我国羊草的分布潜力提供科学依据。本研究从我国数字植物标本馆获取204个羊草标本记录数据,并从WorldClim获取生物气候数据(1950—2000年),用最大熵模型(MaxEnt)模拟羊草的地理分布,检测其生物气候主导因子及其适宜值。结果表明,冷季降雨量(bio19)对羊草分布的增益最大,干季降雨量(bio17)和最干月降水量(bio14)依次次之。同时羊草分布概率分别与冷季降雨量(bio19),干季降雨量(bio17)和最干月降水量(bio14)为单峰响应关系。较纬度和海拔因子,经度是影响我国羊草分布格局的主要因子。

关键词:羊草;MaxEnt 模型;生物气候

中图分类号:P464

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2019)01-0035-08

Analysis of Suitable Bioclimatic Characteristics of *Leymus chinensis* Using MaxEnt Model

CHEN Ji-shan^{1*}, LIU Jie-lin¹, ZHU Rui-fen¹, LI Ji-kai¹, DI Gui-li¹, ZHANG Qiang¹, MAO Dong-jie², KONG Xiao-lei¹

(1. Institute of Pratacultural Science, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Harbin, Heilongjiang Province 150086, China;

2. Harbin Animal Health and Epidemic Prevention Station, Harbin, Heilongjiang Province 150000, China)

Abstract: *Leymus chinensis* is one of the most important species in the meadow grassland and the steppe Grassland in the eastern part of Eurasian grassland. The climatic characteristics of *Leymus chinensis* region in China were analyzed by bioclimatic data, which objectively reflected the geographical distribution of *Leymus chinensis* and the main bioclimatic factors leading to its distribution, and provided scientific basis for the distribution potential of *Leymus chinensis* in China. This study obtained 204 specimens of *Leymus chinensis* record data from China's digital herbarium Herbarium and bioclimatic data from WorldClim (1950—2000 years), and the maximum entropy model (MaxEnt) was used to simulate the geographical distribution of *Leymus chinensis* and investigate its biological climate factor and appropriate value. The results showed that the cold season precipitation (bio19) had the maximum gain for the distribution of *Leymus chinensis*, dry season rainfall(bio17) followed and then dry precipitation (bio14). At the same time, the probability distribution of *Leymus chinensis* was the single peak response relationship with rainfall in cold season (bio19), dry season, (bio17) and the driest season (bio14). As for latitude and altitude, longitude was the main factor affecting the distribution pattern of *Leymus chinensis*. At the same time, the reliability of MaxEnt simulation was high, and the geographical distribution of *Leymus chinensis* could be accurately reflected. 3 bioclimatic quantitative conditions leading to the geographical distribution of *Leymus chinensis* were preliminarily revealed.

Key words: *Leymus chinensis*; Maximum entropy modeling (MaxEnt); Bioclimate

羊草(*Leymus chinensis*)是欧亚大陆草原区重要的建群种之一^[1]。它作为优质牧草,具有较高的社会经济价值,国内外对羊草及其生态生产的研究颇为关注^[2]。然而,作为一种典型的多年生根茎型禾本科牧草,羊草虽然具有较强的抗旱和耐盐碱能

力,但是长期以来在不断开垦和过度放牧等人类活动影响下,羊草赖以生存的生境面临严重的破碎化、岛屿化、盐碱化^[3]。根据目前全球气候预测模型的研究表明,世界各地均受不同程度的全球气候变化影响,位于我国东部松嫩草原也不例外,尤其是降雨

模式的变化和降雨量的减少加重了该区域的干旱化^[5-7]。因此,研究羊草对气候变化的适应机制以预测羊草潜在生境范围,可为物种区域环境变化的扩展研究提供重要的基础资料和科学依据。

气候是区域尺度上决定物种分布的主要因子,也是影响植物地理分布的重要因素之一^[8]。全球气候变化不仅影响到羊草的分布区域,而且也影响其生产潜力。植被生态学研究认为,陆地系统主要的植被类型与主要气候类型相适应,即每个气候分区都有一套相应的植被类型与之匹配。因此,气候相关模型被广泛用于植被分布的模拟研究^[15]。当前,随着地理信息系统、遥感技术、全球定位系统技术的发展,从区域尺度开展重要物种分布或进行生境研究备受关注^[16-17]。大量国内外文献表明,利用机理模型、回归模型和生态位模型结合地理信息系统、遥感技术、全球定位系统技术来对目标物种进行生境适宜性评价成为可能^[18-20]。最大熵理论构建了模拟物种分布的最大熵模型(MaxEnt),是一种生态位模型而具有良好的模拟效果和友好的使用界面^[26-27]。近年来 MaxEnt 模型被证明用于物种分布的预测性能表现极佳,已经广泛运用于生态学、系统与进化论、生物保护学等各学科^[28-29],但未发现对羊草物种在我国的潜在分布及适生性分析的研究报告。

潜在分布及适生性分析是指利用 MaxEnt 生态位模型将我国羊草在空间所有的分布点所关联的环境因子提取出来,并推算其生态需求,然后将结果投影到不同的时间和空间的地理区域中,以预测其在研究区域的潜在分布范围。本文以 DIVA-GIS 软件和 MaxEnt 软件开展我国羊草物种生境适宜性研究,分析我国羊草物种生存的主要生境因子并提取影响羊草物种分布的主导生物气候因子,预测我国羊草物种空间分布区域,并揭示适宜羊草物种分布的生物气候变量幅度,旨在为当前和未来加强我国羊草乡土种质资源保护、调查、区划研究提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本数据

有关羊草物种在中国的分布数据引自中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.org.cn/>),同时以全球生物多样性信息机构(Global Biodiversity Information Facility,<http://www.gbif.org/>)公布的全球原始生物多样性数据为补充,用 Google Earth 计算分布点的经纬坐标,获得有经纬度记录的样本 204 份(图 1),

通过 Excel 输入保存成 *.CSV 格式文件。研究表明模型的模拟精度在样本量达到 120 个之后趋于稳定^[30],因此以 204 个样本点为基数选取羊草物种分布的生物气候数据能充分满足本研究的科学性。

1.2 气候数据

从 WorldClim 获取 19 个生物气候变量的相关数据(<http://www.worldclim.org/>),分别是年均温(bio1)、温度日较差(bio2)、年均温占年温较差百分比[bio3=(bio1/bio7)×100%]、温度季节变化方差(bio4)、最热月极高温度(bio5)、最冷月极低温度(bio6)、年温较差(bio7)、雨季均温(bio8)、干季均温(bio9)、暖季均温(bio10)、冷季均温(bio11)、年降雨量(bio12)、最湿月降雨量(bio13)、最干月降水量(bio14)、季降雨量变异系数(bio15)、雨季降雨量(bio16)、干季降雨量(bio17)、暖季降雨量(bio18)、冷季降雨量(bio19)^[31-32]。将以上通用格式的生物气候变量用 DIVA-GIS 软件转换成 ASC II 格式文件,然后导入 MaxEnt 软件^[33-34]。分析底图为中国地图(<http://nfgis.nsdi.gov.cn>)。

1.3 模型介绍

最大熵原理(Maximum Entropy)是概率模型学习的一个准则,是 1957 年由 E. T. Jaynes 最早提出,后来广泛应用在许多学科中,近年来也引起了生态学家们的关注^[15]。MaxEnt 是一种基于生态位理论的预测模型,通过物种“出现点”的环境变量特征得出约束条件,并以此约束条件分析探寻数学最大熵的可能分布,进而预测目标物种在研究生境的分布。由于生态位模型表现出了良好的预测能力,近年来广泛用于各种物种生境适宜区的预测和评价^[29]。该模型通过自动生成受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)进行模型的模拟预测自检,具有较高的精度。

1.4 分析方法

按照数据格式要求整理羊草物种的地理分布数据和生物气候变量数据,并一起导入软件 MaxEnt。在软件 MaxEnt 操作界面,通过设置随机抽取 25% 的羊草物种分布数据作为测试集,剩余 75% 的羊草物种分布数据作为训练集进行分析,同时设置训练集数据中随机选取 10% 的数据计算分布阈值,其目的只允许训练集中小于等于 10% 的分布数据可以偏离主要分布范围^[34]。输出分布值表示分布概率

(简称为分布值),MaxEnt 软件给出分布值等级及相应的分布范围,并用不同颜色区分,2 种颜色相邻时,共有分布值就是它们的分界线,结果输出的数据为 ASC II 格式,用 DIVA-GIS 软件导入 ASC II 文件,生成 *.grd 格式,展现地理分布模拟图。MaxEnt 软件要求训练集的受试者工作特征曲线下面积(Area under the roc curve,AUC)大于测试集 AUC 值,而且二者 AUC 值都大于随机模型下 AUC 值。AUC 评价标准为:AUC 在 0.5~0.6 为不及格;AUC 在 0.6~0.7 为较差;AUC 在 0.7~0.8 为一般;AUC 在 0.8~0.9 为良好;AUC 在 0.9~1.0 为优秀。采用刀切法(Jackknife Test)检测生物气候变量与物种分布值增益之间的关系,建立 3 种模型进行对比,可识别出对物种分布值增益影响最大的生物气候变量。以上所有数据分析结果都自动保存于输出结果文件夹中。

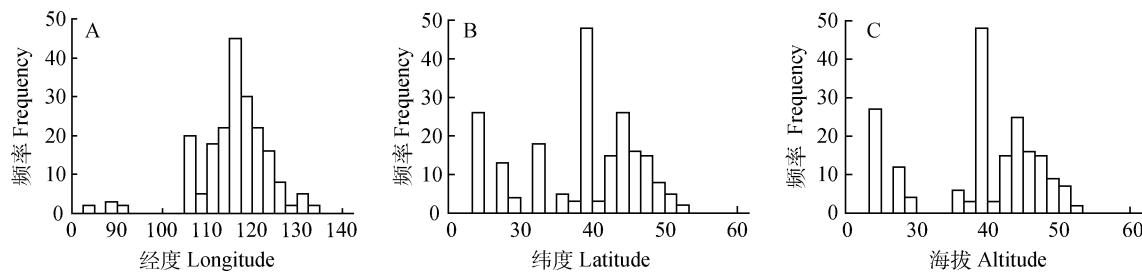


图 1 羊草经度、纬度、海拔频率分布

Fig. 1 Longitude, latitude and altitudinal frequency distribution of *Leymus chinensis*

2.2 降水量分析

根据羊草物种分布数据和气候因子数据库(表 1),8 个降水量因子中变异系数绝对值大小顺序为:季降雨量变异系数(bio15)<最湿月降雨量(bio13)<暖季降雨量(bio18)<雨季降雨量(bio16)<年降雨量(bio12)<干季降雨量(bio17)<最干月降水量(bio14)<冷季降雨量(bio19)。因此,季降雨量变异系数、最湿月降雨量和暖季降雨量为影响羊草分布的主要降水量因子。

2.3 温度因子分析

表 1 知,11 个温度因子中变异系数绝对值大小顺序为:最冷月极低温度(bio6)<最热月极高温(bio5)<年均温占年温较差百分比(bio3)<雨季均温(bio8)<暖季均温(bio10)<温度日较差(bio2)<年温较差(bio7)<温度季节变化方差(bio4)<年均温(bio1)<冷季均温(bio11)<干季均温(bio9)。因此,最冷月极低温度、最热月极高

2 结果与分析

2.1 我国羊草空间分布格局

羊草空间分布的经度范围为 84~133° E,其分布的平均经度为 115.98° E,标准偏差为 7.762(图 1A);羊草分布区纬度范围为 24~55° N,其分布的平均纬度为 38.50° N,标准偏差为 8.078(图 1B);羊草分布区海拔范围为 5~4 710 m,其分布的平均海拔为 511.09 m,标准偏差为 586.51(图 1C);这表明羊草在经度分布上范围狭窄,而纬度则较宽。经度的变异系数值为 0.067,纬度的变异系数值为 0.210,海拔的变异系数值为 1.148,作为刻画一组数据离散程度的变异系数表征经度、纬度和海拔数据的集中程度,较小的变异系数代表较大的稳定性(或不改变性),即经度因子的稳定性最大或不改变性最强,因此较纬度和海拔而言,我国羊草分布格主要受经度因子的影响。

温度和年均温占年温较差百分比为限制羊草分布的主要温度因子。

2.4 羊草分布区气候数据因子分析

应用因子分析方法研究羊草的气候数据,分析显示提取的 3 个公因子信息量达到了原数据的 93.726%(表 2)。根据特征根和方差贡献率的大小确立了对羊草分布有决定性作用的 3 个公因子,其中第一公因子可命名为“冷干季均温因子”,其中最冷月极低温度(bio6)、干季均温(bio9)及冷季均温(bio11)因子载荷量分别为 0.979,0.977,0.971,均与第一公因子相关性较高,是影响羊草分布的主要气候因子;第二个公因子可命名为“最热月降水因子”,其中季降雨量变异系数(bio15)、雨季均温(bio8)与第二公因子相关性较高,是影响羊草分布的第二个气候因子;第三公因子可命名为“年均温因子”,其中年均温占年温较差百分比(bio3)与第三公因子相关性较高(表 3)。

表 1 气候因子的描述统计结果

Table 1 The description of the statistical results of climate factors

气候指标 Climate factor	样点数 Sample point	均值 Average	标准误 Standard error	标准差 Standard deviation	极小值 Minimum value	极大值 Maximum value	变异系数 Variable coefficient
bio1	204	9.083	0.514	7.342	-3.200	20.867	0.808
bio2	204	11.339	0.145	2.071	6.375	14.167	0.183
bio3	204	27.420	0.263	3.756	20.902	38.491	0.137
bio4	204	1172.134	23.482	335.384	578.310	1741.351	0.286
bio5	204	29.011	0.218	3.116	14.300	33.600	0.107
bio6	204	-13.436	0.897	12.804	-32.900	8.000	-0.953
bio7	204	42.447	0.742	10.597	23.500	58.800	0.250
bio8	204	22.265	0.271	3.865	7.467	27.133	0.174
bio9	204	-5.528	0.816	11.656	-24.233	14.517	-2.108
bio10	204	22.720	0.280	4.001	7.467	27.417	0.176
bio11	204	-6.183	0.810	11.565	-24.233	13.067	-1.870
bio12	204	705.910	33.205	474.268	125.000	1723.000	0.672
bio13	204	160.610	4.470	63.839	18.000	309.000	0.397
bio14	204	10.900	0.948	13.547	1.000	51.000	1.243
bio15	204	102.811	2.108	30.113	43.411	147.562	0.293
bio16	204	395.230	13.040	186.241	51.000	836.000	0.471
bio17	204	40.200	3.477	49.658	4.000	186.000	1.236
bio18	204	384.750	12.038	171.934	46.000	752.000	0.447
bio19	204	44.790	4.126	58.926	4.000	192.000	1.316

注:降水量因子单位为 mm;温度因子单位为 °C

Note: The unit of precipitation factor is mm; the unit of temperature factor is centigrade

表 2 因子分析各气候因子的特征根及其贡献率

Table 2 Factor analysis of the characteristic root and contribution rate of each climatic factor

成份 Ingredient	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract the sum of squares and load		
	合计 Total	特征方差 Variance/%	累积 Cumulative/%	合计 Total	特征方差 Variance/%	累积 Cumulative/%
1	14.797	77.881	77.881	14.797	77.881	77.881
2	1.826	9.610	87.491	1.826	9.610	87.491
3	1.185	6.235	93.726	1.185	6.235	93.726
4	0.779	4.101	97.827			
5	0.177	0.933	98.760			
6	0.122	0.645	99.405			
7	0.062	0.328	99.733			
8	0.026	0.136	99.869			
9	0.012	0.065	99.934			
10	0.005	0.025	99.959			
11	0.003	0.015	99.973			
12	0.003	0.014	99.987			
13	0.001	0.006	99.993			
14	0.001	0.003	99.996			
15	0.001	0.003	99.999			
16	0.000	0.001	100.000			
17	6.246E-5	0.000	100.000			
18	1.615E-5	8.502E-5	100.000			
19	6.799E-16	3.578E-15	100.000			

表 3 旋转后的因子载荷系数

Table 3 Loading coefficient after rotation

	成份 Constituent		
	1	2	3
bio9	0.979	0.125	0.085
bio6	0.977	0.140	0.058
bio11	0.971	0.165	0.083
bio7	-0.963	-0.020	-0.189
bio1	0.961	0.250	-0.021
bio4	-0.943	-0.022	-0.261
bio12	0.936	-0.309	-0.014
bio2	-0.933	0.083	0.202
bio16	0.926	-0.084	0.157
bio18	0.912	-0.034	0.185
bio14	0.888	-0.420	-0.145
bio13	0.888	0.016	0.114
bio17	0.885	-0.420	-0.156
bio19	0.878	-0.427	-0.130
bio10	0.839	0.443	-0.306
bio8	0.797	0.518	-0.223
bio5	0.737	0.508	-0.403
bio15	-0.593	0.569	0.296
bio3	0.633	0.093	0.704

2.5 生态位模型结果检测

将羊草物种“出现点”的地理分布数据和生物气候变量数据通过 MaxEnt 软件建立模型，并将该模型进行内部验证。通过利用 Jackknife 方法检测变量的重要性，并对生境因子进行敏感性分析。结果表明，AUC 值不受阈值的影响，是公认的理想的评价指标。模型的训练集的 AUC 值为 0.998，测试集的 AUC 值 0.997，且二者均大于随机模型预测的 AUC 值 0.5，这表明模型的模拟效果良好，其结果更客观。将模型输出结果在 DIVA-GIS 中进行显示，表明生态位模型的预测结果达到优秀水平（图 2）。

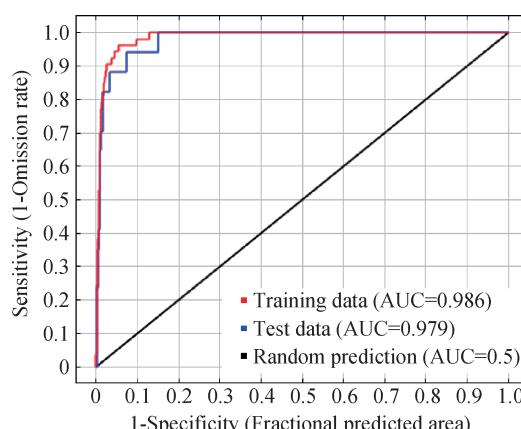


图 2 我国羊草生境评价结果的 ROC 曲线验证

Fig. 2 ROC curve verification of *Leymus Chinesis* in China

2.6 羊草物种地理分布与生物气候变量的关系

用刀切法检测(Jackknife)生物气候变量对于分布增益的贡献结果显示，冷季降雨量(bio19)对羊草分布的增益最大，干季降雨量(bio17)和最干月降水量(bio14)依次次之(图 3)。冷季降雨量(bio19)对羊草分布的增益最大，干季降雨量(bio17)和最干月降水量(bio14)与分布值之间的响应曲线，从图中可以看出，冷季降雨量(bio19)，干季降雨量(bio17)和最干月降水量(bio14)与羊草分布概率之间为单峰响应关系。以分布值 0.4 为阈(用训练集数据中随机选取 10% 来计算的分布阈值)，然后划出适合羊草分布的生物气候变量值表明，随冷季降雨量的升高，其分布值增大，当冷季降雨量在 44.53 mm 时，随降雨量增加分布值降低(图 4)，同理，干季降雨量(bio17)和最干月降水量(bio14)与其分布值呈现出相同规律。

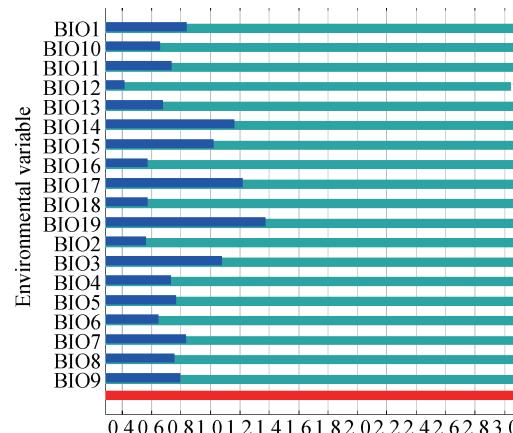


图 3 刀切法检测生物气候变量对分布增益的重要性

Fig. 3 Effects of bioclimatic variables on the gain of distribution using Jackknife test

2.7 羊草适宜性生境分布

通过生态位模型对羊草物种生境适宜性评价，其结果在 DIVA-GIS 中展示我国羊草的生境适宜性分布(图 5)，从图中可以看出，我国羊草的适宜生境主要分布于我国的东北三省、内蒙、河北山西陕西等省区，在新疆主要分布于北疆。经度范围为 84~133° E，纬度范围为 24~55° N。

3 讨论

关于生态位模型在内的机理模型、回归模型认为^[18-22]，这 3 种模型各有优劣，其中机理模型是仅仅依据生境因子对物种分布的影响建立相应的评价准则，而没有考虑生境的可达性，故在因子划分等级及

确定权重上存在主观性,因此具有一定局限性。相比回归模型,生态位模型只需物种“出现点”的数据而不需要“未出现点”的数据,因此利用生态位模型可信度更高。本研究的 AUC 值均大于 0.5 也证明了这一论断的正确性。当前气候背景下影响我国羊草的潜在气候因子由生态位模型的模拟表明,有 3 个主导生物气候因子显著影响我国羊草物种的地理分布,分别是季降雨量变异系数、最湿月降雨量和暖

季降雨量为影响羊草分布的主要降水量因子,这与羊草喜湿的生物学特性一致^[4,9,22]。温度因子分析表明最冷月极低温度、最热月极高温和年均温占年温较差百分比为限制羊草分布的主要温度因子^[22]。本研究的刀切法检测(Jackknife)进一步表明, bio19、bio17 和 bio14 与羊草分布概率之间为单峰响应关系,这与李夏子^[22]关于气候变化对内蒙古草原优势牧草生长发育研究的结论一致。

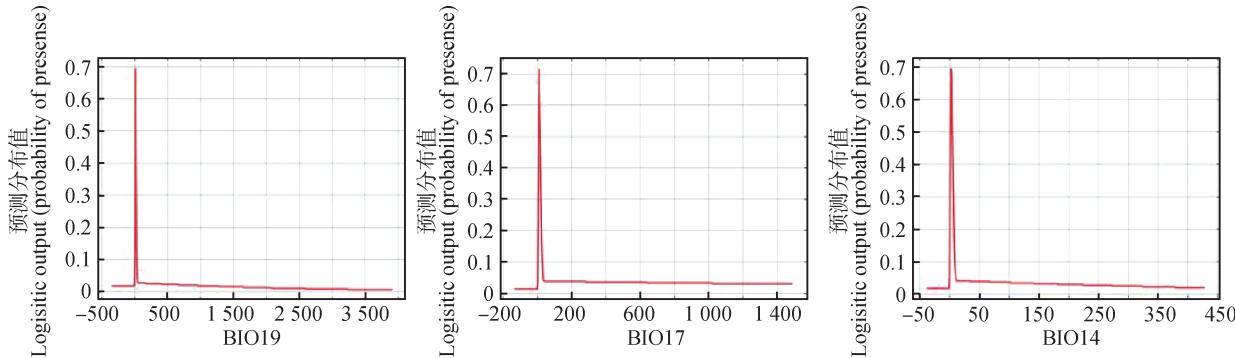


图 4 预测分布值与冷季均温(bio19)、干季降雨量(bio17)、最干月降水量(bio14)的响应曲线

Fig. 4 Response curves between prediction value and mean temperature of the coldest quarter (bio19), precipitation of the driest quarter (bio17) and the driest month (bio14)

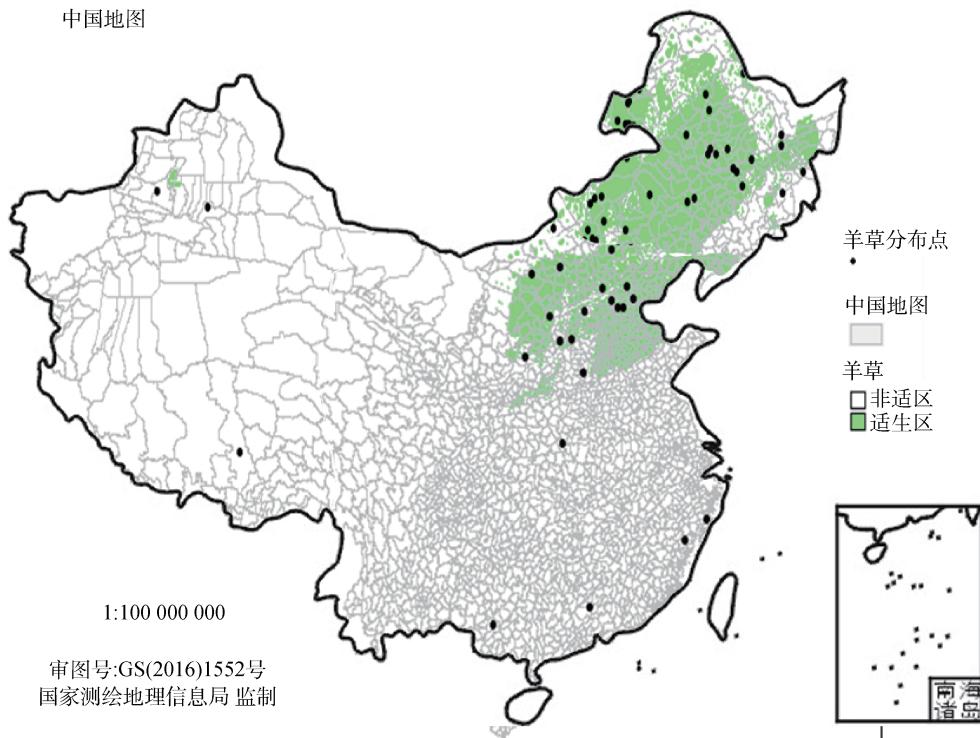


图 5 羊草采集标本分布记录和最大熵模拟分布

Fig. 5 Distribution of *Leymus Chinesis* samples and the maximum entropy

本次研究利用生态位模型对我国羊草物种生境适宜性评价,初步揭示了主导我国羊草在地理分布上的范围变异程度。根据羊草空间分布的经度范围

($84^{\circ}\sim 133^{\circ}$ E),纬度范围($24^{\circ}\sim 55^{\circ}$ N),海拔范围(5 m~4 710 m)及其变异系数值,在当前气候背景下羊草在经度分布上范围狭窄,即我国羊草分布格局

较大程度上受经度因子的影响,经度是主要影响我国羊草分布格局的因子。随着气候背景的改变,我国羊草的适宜性区域分布是否扩大、缩小或不变,本研究未能利用未来气候背景数据(2050、2070,典型浓度目标 rcp2.6)进行深入研究。通过本研究 MaxEnt 模拟并客观反映出我国羊草的地理分布范围,其模拟结果更偏向于解释、展现羊草在生态连续空间上的地理分布以及揭示羊草分布的生物气候特征,但对于未来我国羊草物种“出现点”的地理分布数据的采集方法仍需研究,以期进一步获得更准确的评价结果,从而更好地保护和利用羊草草原,为我国羊草乡土种质资源保护、调查、区划等研究工作提供基础资料和科学依据。

4 结论

生态位模型在我国羊草分布气候特征预测中仍然可信度高。当前空间分布中,我国羊草主要受经度因子的影响。在气候背景下影响我国羊草的潜在气候因子有 3 个,分别是季降雨量变异系数、最湿月降雨量和暖季降雨量,并且 bio19、bio17 和 bio14 与羊草分布概率之间为单峰响应关系。

参考文献

- [1] 李建东,杨允菲. 松嫩平原羊草草甸植物的生态及分布区型结构分析[J]. 草业学报,2002,11(4):10-20
- [2] 李建东,杨允菲. 松嫩平原植物群落时空变化及数据库[M]. 北京:科学出版社,2011
- [3] 韩大勇,杨永兴,杨允菲,等. 松嫩平原破碎化羊草草甸退化演替系列植物多样性的空间格局[J]. 应用生态学报,2012,23(3):666-672
- [4] 祝廷成主编. 羊草生物生态学[M]. 长春,吉林科学技术出版社,2004
- [5] Kharin V V,Zwiers F W,Zhang X,*et al.* Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the IPCC Ensemble of Global Coupled Model Simulations[J]. Journal of Climate, 2000,20(8):1419-1444
- [6] Kevin E. Trenberth, Aiguo Dai, Roy M. Rasmusson, *et al.* The changing character of precipitation[J]. Bull. amer. meteor. soc.,2003,84(9):1205-1217
- [7] Allan R P,Soden B J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. Science,2008,321(5895):1481-1484
- [8] 吴建国,周巧富. 中国嵩草属植物地理分布模式和适应的气候特征[J]. 植物生态学报,2012,36(3):199-221
- [9] 李镇清,刘振国,陈佐忠,杨宗贵. 中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响[J]. 草业学报,2003,12(1):4-10
- [10] 周广胜,王玉辉. 全球生态学[M]. 北京:气象出版社,2003
- [11] 叶永昌,周广胜,殷晓洁. 1961-2010 年内蒙古草原植被分布和生产力变化—基于 MaxEnt 模型和综合模型的模拟分析[J]. 生态学报,2016,36(15):4718-4728
- [12] Zhang G G,Kang Y M,Han G D,Sakurai K. Effect of climate change over the past half century on the distribution, extent and NPP of ecosystems of Inner Mongolia[J]. Global Change Biology,2011,17(1):377-399
- [13] Wang X M,Chen F H,Dong Z B. The relative role of climatic and human factors in desertification in semiarid China [J]. Global Environmental Change,2006,16(1):48-57
- [14] Zhou G,Wang Y,Wang S. Responses of grassland ecosystems to precipitation and land use along the Northeast China Transect[J]. Journal of Vegetation Science,2002,13(3):361-368
- [15] 邢丁亮,郝占庆. 最大熵原理及其在生态学研究中的应用[J]. 生物多样性,2011,19(3):295-302
- [16] 徐卫华,欧阳志云,李宇,刘建国. 基于遥感和 GIS 的秦岭系大熊猫生境评价[J]. 遥感技术与应用,2006,21(3):239-242
- [17] 李红梅,韩红香,薛大勇. 利用 GARP 生态位模型预测日本松干蚧在中国的地理分布[J]. 昆虫学报,2005,48(1):95-100
- [18] Ward D F. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand[J]. Biological Invasions, 2007,9 (6):723-735
- [19] Steven J P,Miroslav D,Robert E S. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modelling[J]. Banff, Alberta: Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning,2004:655-662
- [20] Li H M,Han H X,Xue D Y. Prediction of potential geographic distribution areas for the pine bark scale, *Matsucoccus matsumurae* (Kuwana) (Homoptera: Margarodidae) in China using GARP modelling system[J]. Acta Entomologica Sinica, 2005,48 (1):95-100
- [21] Xing D L,Hao Z Q. The principle of maximum entropy and its applications in ecology[J]. Biodiversity Science,2011,19(3):295-302
- [22] 李夏子. 气候变化对内蒙古草原优势牧草生长发育的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014
- [23] 谭丽萍,周广胜. 内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系[J]. 生态学报,2013,33(2):650-658
- [24] 张彩琴,杨持. 内蒙古典型草原生长季内不同植物生长动态的模拟[J]. 生态学报,2007,27(9):3618-3629
- [25] 王玉辉,周广胜. 内蒙古地区羊草草原植被对温度变化的动态响应[J]. 植物生态学报,2004,28(4):507-514
- [26] Luo C,Xu W H,Zhou Z X,Ouyang Z Y,Zhang L. Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model[J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(5):1211-1229
- [27] Li M Y,Ju Y W,Kumar S,Stohlgren T J. Modelling potential habitat for alien species of *Dreissena polymorpha* in the continental USA[J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(9):4253-4258
- [28] Stachura-Skierczynska K,Tumiel T,Skierczynski M. Habitat prediction model for three-toed woodpecker and its implication

- for the conservation of biologically valuable forests[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 258(5): 697-703
- [29] Haegeman B, Etienne R S. Entropy maximization and the spatial distribution of species[J]. The American Naturalist, 2010, 175(4): 74-90
- [30] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas[J]. International Journal of Climatology, 2005, 25: 1965-1978
- [31] Jarvis A, Guarino L, Williams D, et al. 2002. The use of GIS in the spatial analysis of wild peanut distributions and the implications for plant genetic resources conservation[J]. Plant Genetic Resources Newsletter, 131: 29-35
- [32] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modelling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190 (3/4): 231-259
- [33] Elith J, Phillips S J, Hastie T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists[J]. Diversity and Distributions, 2011, 17(1): 43-57
- [34] 陈新美, 蕾渊才, 张雄清, 贾宏炎. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响[J]. 林业科学, 2012, 48(1): 53-59

(责任编辑 郭建鑫)

全国优秀农业期刊、中国核心期刊(遴选)

数据库收录期刊

欢迎订阅 2019 年《中国种业》

《中国种业》是由农业部主管,中国农业科学院作物科学研究所和中国种子协会共同主办的全国性、专业性、技术性种业科技期刊。

刊物目标定位:以行业导刊的面目出现,并做到权威性、真实性和及时性。主要栏目有:种业论坛、专题综述、种业管理、研究论文、品种选育、良种良法等;报道内容范围:最新种业政策、各地种业管理经验、种业企业经营之道、新品种新技术等,信息量大,技术实用。

欢迎投稿、刊登广告

读者对象:各级种子管理、经营企业的领导和技术人员,各级农业科研、推广部门人员,大中专农业院校师生,农村专业户和广大农业生产经营者。

月刊,大 16 开,每期 20 元,全年 240 元。国内统一刊号:CN 11-4413/S,国际标准刊号:ISSN 1671-895X,全国各地邮局均可订阅,亦可直接汇款至编辑部订阅,挂号需每期另加 3 元。

邮发代号:82-132

地 址:(100081)北京市中关村南大街 12 号 中国种业编辑部

电 话:010-82105796(编辑部) 010-82105795(广告发行部)

传 真:010-82105796

网 址:www.chinaseedqks.cn

E-mail: chinaseedqks@163.com

微信公众号:中国种业

中国种业编辑部 QQ 群:115872093

中国种业读者 QQ 群:289113905