植物资源与环境学报，2016，**25**(1)：81-87
Journal of Plant Resources and Environment

中国特有种天山猪毛菜的地理分布及潜在分布区预测

闻志彬[1]，张　杰[1,2]，张明理[1,3,①]
(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011；
2. 中国科学院大学，北京 100049；3. 中国科学院植物研究所，北京 100093)

摘要：基于野外调查的居群分布信息和20个环境变量(包括海拔及 19 个气候变量)，采用最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统(ArcGIS)对中国特有种天山猪毛菜(*Salsola junatovii* Botsch.)的潜在分布区进行预测；并采用受试者工作特征曲线(ROC)和刀切法(jackknife test)分别检验 MaxEnt 模型的精度和评估各环境变量在决定潜在分布区时的贡献量。结果显示：天山猪毛菜主要分布在中国新疆南部的 12 个县(包括托克逊县、和硕县、和静县、焉耆县、拜城县、库车县、温宿县、乌什县、阿合奇县、阿图什县、乌恰县和阿克陶县)，但在相关文献记载的曾有分布的阿克苏市、柯坪县和喀什市则本调查中没有发现。通过 MaxEnt 模型预测，天山猪毛菜的潜在适生区主要集中在新疆南部(包括天山南坡和塔里木盆地西南缘)以及甘肃的西部和东部等，新疆西部地区有零星分布；在调查的 15 个居群中，除居群 14(位于乌恰县西部)外，其他 14 个居群均位于潜在适生区内，其中的 7 个居群位于非常适宜的潜在适生区内，表明利用 MaxEnt 模型预测天山猪毛菜的潜在适生区效果较好。在 20 个环境变量中，对预测结果贡献量位居前 3 位的环境变量为最冷季度平均温度、最冷月最低温和最干季度平均温度，表明该种的分布与低温相关。此外，对天山猪毛菜潜在适生区与实际分布区差异的成因进行了分析。

关键词：天山猪毛菜；最大熵模型(MaxEnt)；潜在适生区；中国特有种；藜科；环境变量

中图分类号：Q948.2；Q949.745.1　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674-7895(2016)01-0081-07
DOI：10.3969/j.issn.1674-7895.2016.01.10

Geographical distribution and prediction on potential distribution areas of Chinese endemic species *Salsola junatovii*

WEN Zhibin[1], ZHANG Jie[1,2], ZHANG Mingli[1,3,①] (1. Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land of Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, **25**(1): 81-87

Abstract: Based on population distribution information and 20 environmental variables (including altitude and 19 climatic variables) in field investigation, potential distribution areas of Chinese endemic species *Salsola junatovii* Botsch. were predicted by the maximum entropy model (MaxEnt) and archaeological geographical information system (ArcGIS), MaxEnt model precision was tested by receiver operating characteristic curve (ROC), and contribution of each environmental variable in deciding potential distribution areas was evaluated by jackknife test. The results show that *S. junatovii* is mainly distributed in 12 counties (including Toksun County, Hoxud County, Hejing County, Yanqi County, Baicheng County, Kuche County, Wensu County, Wushi County, Akqi County, Artux County, Wuqia County and Akto County) of the south of Xinjiang of China, but *S. junatovii* ever distributed and recorded in related literatures is not found in Akesu City, Keping County and Kashi City in this investigation. Based on prediction of MaxEnt model, the potential suitable distribution areas of *S. junatovii* is mainly located in the south of Xinjiang (including the south slope of Tianshan Mountain and the southwest rim of Tarim Basin) and the west and east of Gansu, and is also sporadically distributed in

收稿日期：2015-09-01
基金项目：新疆维吾尔自治区青年科技创新人才培养工程“青年博士科技人才培养项目”(2013731030)
作者简介：闻志彬(1983—)，女，河南新乡人，博士，副研究员，主要从事藜科植物系统与进化方面的研究。
①通信作者 E-mail：zhangml@ibcas.ac.cn

the west of Xinjiang. Among 15 populations investigated, except population 14 (locating in the west of Wuqia County), other 14 populations all are located in potential suitable distribution areas, in which 7 populations are located in very suitable potential distribution areas. It is indicated that the effect of MaxEnt model using to predicting potential suitable distribution areas of *S. junatovii* is better. Among 20 environmental variables, the environmental variables ranked the top three of contribution to prediction results are mean temperature of the coldest quarter, the minimum temperature of the coldest month and mean temperature of the driest quarter, which means that distribution of *S. junatovii* is related to low temperature. Besides, reason for difference between potential suitable distribution areas and actual distribution areas of *S. junatovii* is analyzed.

Key words: *Salsola junatovii* Botsch.; the maximum entropy model (MaxEnt); potential suitable distribution areas; Chinese endemic species; Chenopodiaceae; environmental variable

天山猪毛菜(*Salsola junatovii* Botsch.)隶属于藜科(Chenopodiaceae)猪毛菜属(*Salsola* Linn.),为中国特有种,半灌木,仅狭域分布于新疆南部的8个市(县)(包括和硕县、焉耆县、库车县、拜城县、温宿县、阿克苏市、柯坪县和喀什市)[1]。目前在国内的各大标本馆中,天山猪毛菜的标本数量少,且采集年份久远(http://www.cvh.org.cn/splatin/99966)。虽然荒漠植物区系中的特有种以及单(寡)型分类群是地方政府重点研究和保护的对象[2],但自1987年以后并未对天山猪毛菜进行采集和摸底调查,因此,人们对天山猪毛菜的分布和生存状况等相关信息并没有进一步的深入了解。对于天然植被稀疏的南疆地区来说,木本植物尤为珍贵,因此开展天山猪毛菜的地理分布调查研究对了解南疆区域的植被分布状况具有重要意义。

在全球或区域尺度上,气候因素是影响物种分布的限制性因子[3-4],也是影响生物繁衍生息的关键因素。随着人类社会的发展,特别是工业革命以来,人类活动对物种的存在和分布产生了重大的影响:一方面人类活动通过直接破坏物种的生境影响其分布[5];另一方面,人类活动导致大气中温室气体效应逐年加重,引起全球气候呈现变暖的趋势特征,从而间接影响植物生长和分布区域[6]。因而,在全球气候变化的形势下,探讨物种分布格局与气候的关系以及预测物种的潜在分布区,具有重要的理论和应用价值。

最大熵模型(MaxEnt, the maximum entropy model)是目前最常用的预测物种潜在分布的生态位模型之一[7-9],与规则集遗传算法模型(GARP)、生态位因子分析模型(ENFA)和生物气候模型(BIOCLIM)等生态位模型相比,该模型预测结果更精确[10-11];更重要的是,MaxEnt模型非常适合模拟具有较少分布数据的稀有或濒危物种[12],在5个及以上样本的条件下即可成功模拟[13]。因此,MaxEnt模型可广泛应用于动植物保护尤其是濒危植物的调查研究[12,14]。

作者在研究前期对天山猪毛菜的地理分布进行本底调查,确定其实际分布区,然后依据实地调查和标本资料整理的结果,采用地理信息系统(ArcGIS)结合MaxEnt模型模拟并分析天山猪毛菜的潜在分布区及格局,揭示天山猪毛菜潜在分布区与实际分布区之间的差异,以期为摸清天山猪毛菜的分布状况和深入了解该中国特有种对全球气候变化的响应提供参考和依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

天山猪毛菜分布范围狭窄,仅分布于新疆南部天山南坡焉耆盆地至喀什间的中山带,海拔1 700~2 200 m的砾石洪积扇、山间盆地及干旱山坡[1]。研究区年平均气温10.1 ℃,1月份平均气温-7.8 ℃,7月份平均气温24.1 ℃;年平均降水量73.7 mm;年日照时数2 826 h[15];土壤为灰棕荒漠土或棕色荒漠土砾石戈壁;具有干旱少雨、日照强烈、温差大和风大沙多的特点。该区植被具有典型的温带荒漠属性,地面芽植物和一年生植物占据生活型的主导[16]。

1.2 研究方法

1.2.1 *数据来源* 采用的环境变量包括1个地形变量和19个气候变量,具体包括海拔(alt)、年平均气温(bio_1)、平均日温差(bio_2)、等温性(bio_3)、温度季节性变化的标准差(bio_4)、最暖月最高温(bio_5)、最冷月最低温(bio_6)、年均温变化范围(bio_7)、最湿季度平均温度(bio_8)、最干季度平均温度(bio_9)、最暖季度平均温度(bio_10)、最冷季度平均温度

(bio_11)、平均降水量(bio_12)、最湿月降水量(bio_13)、最干月降水量(bio_14)、降水量季节性的变异系数(bio_15)、最湿季度降水量(bio_16)、最干季度降水量(bio_17)、最暖季度降水量(bio_18)和最冷季度降水量(bio_19)。上述气候数据的分辨率为 2.5 分，免费下载于世界气候数据库(http://www.worldclim.org/)。

通过以下 2 种途径获取天山猪毛菜的分布地理信息：1)通过中国数字植物标本馆获得相关标本信息，标本采集地包括柯坪县、库车县、拜城县、乌恰县、阿图什县、和硕县和喀什市，仅覆盖《新疆植物志》[1]记载的部分分布区。但由于采集时间久远、采集地点不详细等原因，仅整理获得 1 份具有有效信息的标本，并据此实地调查了分布在和硕县的 1 个天山猪毛菜居群(表 1)并采集标本；2)于 2014 年 10 月进行实地调查，根据《新疆植物志》[1]的记载和天山猪毛菜的生境，共调查了 15 个居群，记录各分布点的经度、纬度和海拔等基本信息(表 1)。凭证标本存放于中国科学院新疆生态与地理研究所标本馆(XJBI)。

1.2.2　预测模型的建立　从国家基础地理信息系统下载 1:4 000 000 的中国地图作为分析地图，提取对应的中国环境图层。根据 MaxEnt 模型的要求，将天山猪毛菜 15 个居群的分布信息数据保存为“物种+经度+纬度”的 csv 格式。将天山猪毛菜 15 个居群的分布信息数据和 20 个环境变量导入 MaxEnt v3.3.3 程序(http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent)进行潜在分布区模拟。采用受试者工作特征曲线(ROC)对模型进行精度检验，其中，以 AUC 值(ROC 曲线与横坐标围成的面积)作为模型预测能力的准确性指标：AUC 值为 0.5~0.7 时模型的预测价值较低，AUC 值为 0.7~0.9 时模型的预测价值中等，AUC 值大于 0.9 时模型的预测价值优秀[17-18]。在 MaxEnt 模型中，利用刀切法(jackknife test)计算每个环境变量在决定潜在分布区时的贡献量，从而了解各环境变量

表 1　分布于新疆的 15 个天山猪毛菜居群的基本信息
Table 1　Basic information of 15 populations of *Salsola junatovii* Botsch. distributed in Xinjiang

编号 No.	居群 Population	地点 Location	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	生境[1)] Habitat[1)]
1	托克逊县 Toksun County	托克逊县城至库米什镇途中 On the road from Toksun County to Kumux Town	E88°24′	N42°23′	900	SS
2	和硕县 Hoxud County	和硕县曲惠乡至红蝶谷途中 On the road from Quhui Town of Hoxud County to Hongdie Valley	E87°05′	N42°20′	1 220	SS
3	和静县 Hejing County	和静县城至巴伦台镇途中 On the road from Hejing County to Baluntai Town	E86°15′	N42°26′	1 250	SS
4	焉耆县 Yanqi County	和静县巴伦台镇至焉耆县七星峡途中 On the road from Baluntai Town of Hejing County to Seven Star Gorge of Yanqi County	E86°17′	N41°59′	1 020	SS
5	拜城县 Baicheng County	拜城县盐水沟隧道旁 Near the Yanshuigou tunnel of Baicheng County	E82°49′	N41°51′	1 380	SS
6	库车县 Kuche County	库车县阿格乡至天山大峡谷途中 On the road from Age Town of Kuche County to Tianshan Grand Canyon	E83°02′	N42°05′	1 420	GAF
7	拜城县 Baicheng County	拜城县城至铁热克镇途中 On the road from Baicheng County to Tiereke Town	E81°42′	N41°50′	1 360	SS
8	温宿县 Wensu County	温宿县佳木镇至塔格拉克牧场途中 On the road from Jiamu Town of Wensu County to Tagelake Ranch	E80°30′	N41°31′	1 460	SD
9	乌什县 Wushi County	乌什县境内 S306 省道 23~24 km 之间 At 23-24 km of S306 highway in Wushi County	E79°59′	N41°08′	1 070	SS
10	乌什县 Wushi County	乌什县城旁 Near Wushi County	E79°15′	N41°13′	1 370	SS
11	阿合奇县 Akqi County	阿合奇县色帕尔乡 Sepaer Town of Akqi County	E78°35′	N40°56′	1 880	SS
12	阿图什县 Artux County	阿图什县哈拉峻乡 Halajun Town of Artux County	E76°44′	N40°05′	1 600	SD
13	乌恰县 Wuqia County	乌恰县巴音库鲁提乡 Bayinkuluti Town of Wuqia County	E75°34′	N39°50′	2 340	SS
14	乌恰县 Wuqia County	乌恰县乌鲁克恰提乡至吉根乡途中 On the road from Wulukeqiati Town to Jigen Town of Wuqia County	E74°26′	N39°49′	2 370	SS
15	阿克陶县 Akto County	阿克陶县城前往布伦口乡途中 On the road from Akto County to Bulunkou Town	E75°30′	N38°57′	1 740	SS

[1)] SS：砾石山坡 Stony slope；GAF：砾石洪积扇 Gravel diluvial fan；SD：砾石戈壁 Stony desert.

的重要性。采用 MaxEnt 模型计算出的预测图可自动划分适生性等级的间距,但为了直观且便于应用,将预测模拟图导入 DIVA-GIS 中,并根据需要重新设定适生性等级的间距。

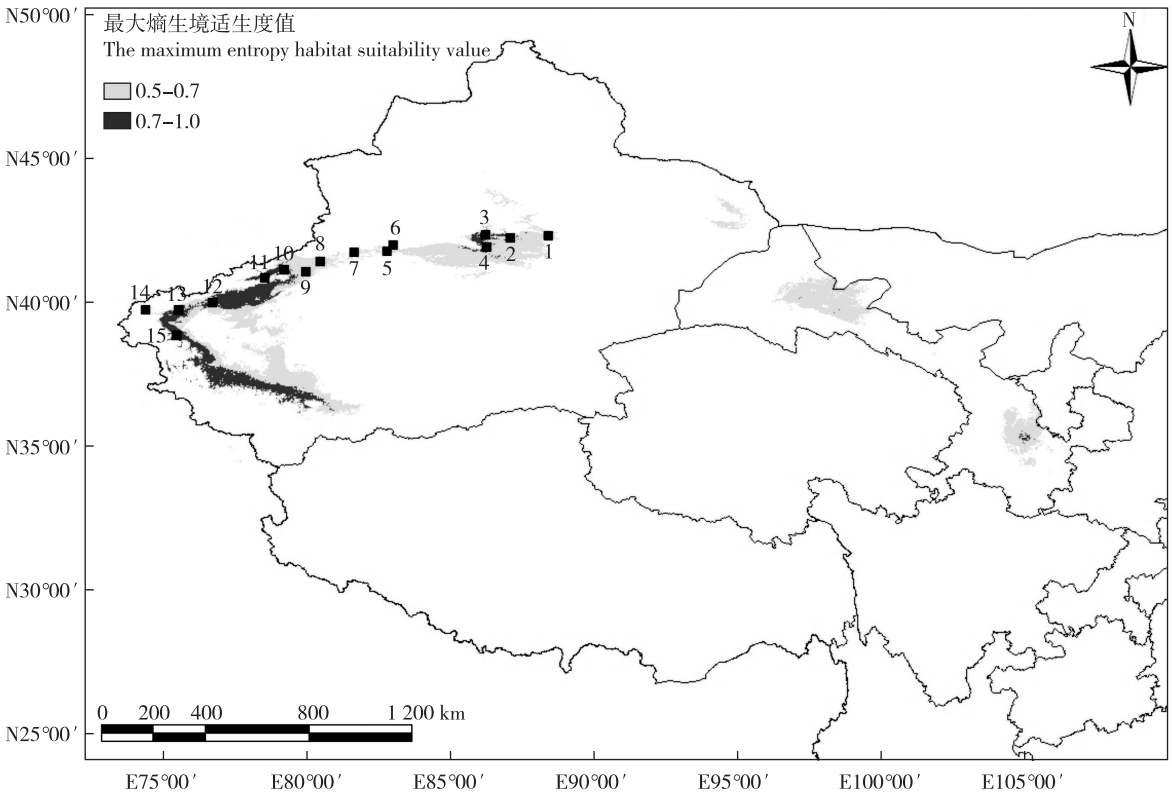
2 结果和分析

2.1 天山猪毛菜的实际分布区

根据标本记录及实地调查结果,确定天山猪毛菜的实际分布区(图 1)。天山猪毛菜的分布范围比较狭窄,分布区间为北纬 38°~43°、东经 74°~88°;其分布区的西界为乌恰县,东界为托克逊县。该种主要分布在新疆天山南坡的 12 个县,包括托克逊县、和硕县、和静县、焉耆县、拜城县、库车县、温宿县、乌什县、阿合奇县、阿图什县、乌恰县和阿克陶县,生于海拔 900~2 400 m 的砾石山坡、砾石洪积扇和砾石戈壁。伴生种主要有藜科合头草属(*Sympegma* Bunge)的合头草(*S. regelii* Bunge)和戈壁藜属(*Iljinia* Korov.)的戈壁藜〔*I. regelii* (Bunge) Korov.〕、蒺藜科(Zygophyllaceae)霸王属(*Zygophyllum* Linn.)的霸王〔*Z. xanthoxylon* (Bunge) Maxim.〕和石竹科(Caryophyllaceae)裸果木属(*Gymnocarpos* Forssk.)的裸果木(*G. przewalskii* Bunge ex Maxim.)等。

2.2 天山猪毛菜的潜在分布区及适生区

为了细致区分天山猪毛菜在各区域的适生程度并便于应用,根据最大熵生境适生度值将预测图的适生性分为 3 个等级:最大熵生境适生度值小于 0.5 为不适宜,最大熵生境适生度值在 0.5~0.7 之间为较适宜,最大熵生境适生度值大于 0.7 为非常适宜。在天山猪毛菜的潜在分布区中,适生区对探讨其分布与气候变化的格局意义较大,因此在预测图上仅显示天山猪毛菜潜在分布区中的适生区(最大熵生境适生度



1:托克逊县 Toksun County;2:和硕县 Hoxud County;3:和静县 Hejing County;4:焉耆县 Yanqi County;5:拜城县 Baicheng County;6:库车县 Kuche County;7:拜城县 Baicheng County;8:温宿县 Wensu County;9:乌什县 Wushi County;10:乌什县 Wushi County;11:阿合奇县 Akqi County;12:阿图什县 Artux County;13:乌恰县 Wuqia County;14:乌恰县 Wuqia County;15:阿克陶县 Akto County.

图 1 天山猪毛菜的实际分布区及其最大熵模型(MaxEnt)预测的潜在分布区

Fig. 1 Actual distribution areas of *Salsola junatovii* Botsch. and its potential distribution areas predicted by the maximum entropy model (MaxEnt)

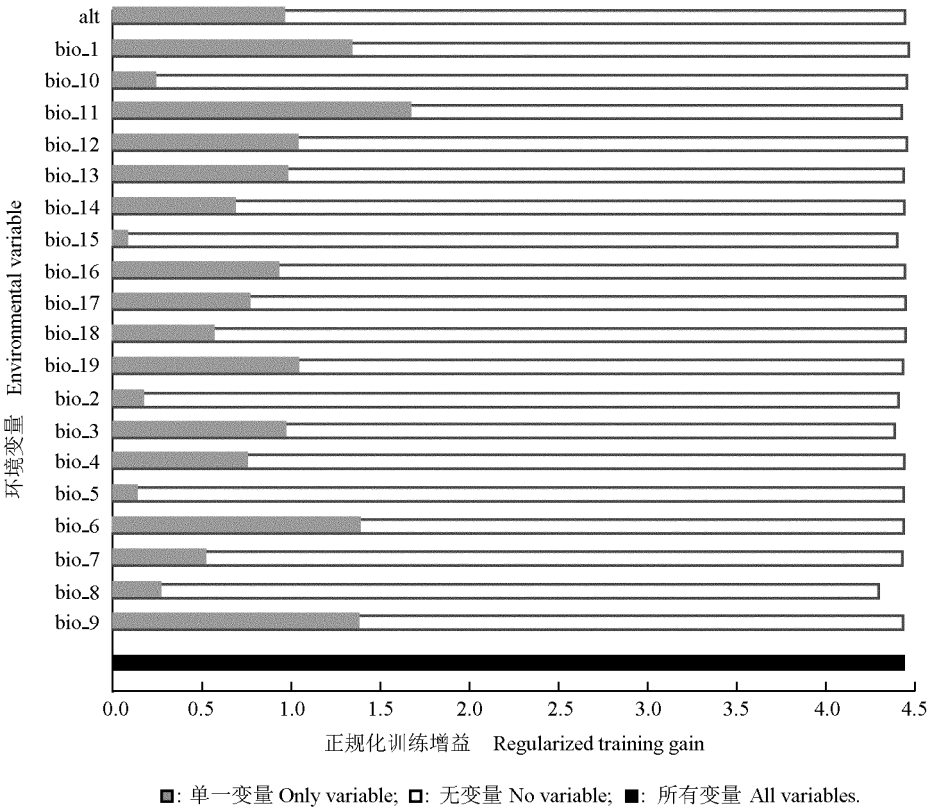
值大于 0.5)(图 1)。

根据 MaxEnt 模型获得的天山猪毛菜适生区包括新疆南部天山南坡的部分地区(主要从托克逊县到阿克陶县)和塔里木盆地西南缘的部分地区(主要从英吉沙县到于田县)以及甘肃西部(主要在酒泉市部分辖区)和东部的部分地区(主要在定西市部分辖区)，新疆西部有零星分布。除居群 14(位于乌恰县西部)外，实地调查中有 14 个居群的分布点均在 MaxEnt 模型预测的较适宜的潜在适生区内，其中有 7 个居群的分布点在 MaxEnt 模型预测的非常适宜的潜在适生区中，分别是居群 3(位于和静县)、居群 4(位于焉耆县)、居群 10(位于乌什县)、居群 11(位于阿合奇县)、居群 12(位于阿图什县)、居群 13(位于乌恰县)和居群 15(位于阿克陶县)。

2.3　天山猪毛菜潜在分布区的预测精度及主导环境变量分析

设定 25% 的天山猪毛菜的实际分布数据被随机抽取作为测试数据集，其余作为训练数据集，随机预算 10 次制作 ROC 曲线，得到的平均训练集 AUC 值为 0.999，表明 MaxEnt 模型对天山猪毛菜潜在分布区的预测效果非常好。

根据 20 个环境变量对 MaxEnt 模型的贡献量，对模拟结果的贡献量排列前 3 位的依次为：最冷季度平均温度(bio_11)、最冷月最低温(bio_6)和最干季度平均温度(bio_9)(图 2)，这 3 个环境变量均是与温度相关的变量。



alt：海拔 Altitude；bio_1：年平均气温 Annual mean temperature；bio_2：平均日温差 Mean diurnal range of temperature；bio_3：等温性 Isothermality；bio_4：温度季节性变化的标准差 Standard deviation of variation of temperature seasonality；bio_5：最暖月最高温 The maximum temperature of the warmest month；bio_6：最冷月最低温 The minimum temperature of the coldest month；bio_7：年均温变化范围 Annual mean temperature range；bio_8：最湿季度平均温度 Mean temperature of the wettest quarter；bio_9：最干季度平均温度 Mean temperature of the driest quarter；bio_10：最暖季度平均温度 Mean temperature of the warmest quarter；bio_11：最冷季度平均温度 Mean temperature of the coldest quarter；bio_12：平均降水量 Annual precipitation；bio_13：最湿月降水量 Precipitation of the wettest month；bio_14：最干月降水量 Precipitation of the driest month；bio_15：降水量季节性的变异系数 Coefficient of variation of precipitation seasonality；bio_16：最湿季度降水量 Precipitation of the wettest quarter；bio_17：最干季度降水量 Precipitation of the driest quarter；bio_18：最暖季度降水量 Precipitation of the warmest quarter；bio_19：最冷季度降水量 Precipitation of the coldest quarter.

图 2　基于刀切法检测 20 个环境变量对最大熵模型(Maxent)预测天山猪毛菜潜在分布区的贡献量

Fig. 2　Contributions of 20 environmental variables to potential distribution areas of *Salsola junatovii* Botsch. predicted by the maximum entropy model (Maxent) based on jackknife test

3 讨 论

3.1 天山猪毛菜的实际分布区与潜在适生区的差异及其成因分析

调查研究结果显示:天山猪毛菜主要分布在新疆南部的12个县(市),补充的分布地包括托克逊县、和静县、乌什县、阿合奇县、阿图什县、乌恰县和阿克陶县,扩大了《新疆植物志》[1]有关该种的分布记载。而在实际调查过程中,在《新疆植物志》中记载有天山猪毛菜分布的阿克苏市、柯坪县和喀什市并没有发现该种的分布居群,其可能原因为:一是由于这3个地方的标本信息不详且夹杂一些旧地名,使作者的实地调查区域内没有覆盖这些地点;二是环境变迁及人为活动破坏了天山猪毛菜的原栖息地,使该区域分布的天山猪毛菜居群遭到破坏;三是由于天山猪毛菜与其伴生种合头草形态相似,已有的标本信息可能有误。

利用MaxEnt模型获得的天山猪毛菜潜在适生区主要集中分布在新疆的南部(包括天山南坡和塔里木盆地西南缘)及甘肃的西部和东部等区域,新疆西部有零星分布。但作者对天山猪毛菜潜在适生区的甘肃和新疆西部进行实地调查,但均未发现有天山猪毛菜的分布,说明估测的天山猪毛菜潜在适生区与实际分布范围存在一定的差异,造成这一现象的主要原因包括:1)目前调查的天山猪毛菜实际分布点可能不全面,由此造成估测的潜在适生区与实际分布区有一定的差异;2)用MaxEnt模型进行预测时涉及的环境变量除海拔外,其余变量均为气候变量,均取自天山猪毛菜实际分布地的气候极值,即最大值和最小值,因而,MaxEnt模型所显示的是物种分布的最大可能性,无法准确表达物种在现实分布的主要地区[19];3)作者在用MaxEnt模型进行预测分析时选取了20个环境变量,仅包括海拔和气候因素2类环境因素,并不包括其他对物种分布有影响的环境变量,如土壤、基质和人为干扰等外界因素,导致估测结果有一定的误差。因此,上述预测结果更侧重于理解和展现天山猪毛菜的潜在地理分布以及揭示适于该种分布的生物气候特征。

3.2 MaxEnt模拟的有效性评价及影响分布的关键因子

ROC精度检验结果显示AUC值为0.999,表明通过MaxEnt模型,可以利用有限的数据对天山猪毛菜的潜在分布区进行有效预测。MaxEnt模型算法明确,而且其规则化的程序可以阻止在小样本的情景下发生过拟合[10,20],所以,MaxEnt模型更适合模拟分布数据有限的物种[12,21]。模拟结果显示:已有14个天山猪毛菜居群的分布记录均在最大熵生境适生度值大于0.5的高分布值预测区域内,因此,天山猪毛菜潜在适生区的预测结果对于进一步开展天山猪毛菜的深入调查具有指导作用。利用刀切法对20个环境变量的贡献量进行分析,结果表明:对预测结果贡献量最大的3个环境变量(最冷季节平均温度、最冷月最低温和最干季度平均温度)中,有2个环境变量与低温相关,即最冷季节平均温度和最冷月最低温。王娟等[22]的研究也显示:冬季低温是控制柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)和狭叶锦鸡儿(*C. stenophylla* Pojark.)地理分布差异的主导因子;而吴建国等[23]对荒漠植物潜在分布的研究结果则表明植物分布范围主要与水分因子和年均气温相关。

作者运用MaxEnt模型获得中国特有种天山猪毛菜的潜在分布区,为该种的深入调查、合理保护和利用提供了一定的参考依据。但预测结果仍存在一定的不足,因为物种的分布除了受海拔和气候因素的影响外,还受到其他非生物因子(如地形和土壤等)和生物因子(如竞争和捕食等)的共同影响。因此,若综合考虑诸多因子的作用,天山猪毛菜的潜在适应分布范围将会缩小,也会更加准确。因而,为了精确的模拟天山猪毛菜的潜在分布区,在今后的研究中应加入更多的变量或运用机制性的综合生物气候模型进行深入研究[6]。

参考文献:

[1] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志: 第二卷第一分册[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1994: 89-90.

[2] 尹林克. 中国温带荒漠区的植物多样性及其易地保护[J]. 生物多样性, 1997, 5(1): 40-48.

[3] 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. 生物多样性, 2013, 21(1): 90-98.

[4] WOODWARD F I, WILLIAMS B G. Climate and plant distribution at global and local scales[J]. Vegetatio, 1987, 69: 189-197.

[5] 王 婧, 王少波, 康宏樟, 等. 东亚地区栓皮栎的地理分布格局及其气候特征[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2009, 27(3): 235-241.

[6] 张兴旺, 李 垚, 方炎明. 麻栎在中国的地理分布及潜在分布区预测[J]. 西北植物学报, 2014, 34(8): 1685-1692.

[7] 王娟娟, 曹 博, 白成科, 等. 基于MaxEnt和ArcGIS预测川贝

母潜在分布及适宜性评价[J]. 植物研究，2014，34(5)：642-649.

[8] 王雷宏，杨俊仙，徐小牛. 基于 MaxEnt 分析金钱松适生的生物气候特征[J]. 林业科学，2015，51(1)：127-131.

[9] 于　晶，唐艳雪，郭水良. 基于 GIS 和 MaxEnt 比较中国砂藓属与紫萼藓属植物地理分布[J]. 植物科学学报，2012，30(5)：443-458.

[10] PHILLIPS S J，ANDERSON R P，SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling，2006，190：231-259.

[11] 雷军成，徐海根. 基于 MaxEnt 的加拿大一枝黄花在中国的潜在分布区预测[J]. 生态与农村环境学报，2010，26(2)：137-141.

[12] ADHIKARI D，BARIK S K，UPADHAYA K. Habitat distribution modelling for reintroduction of *Ilex khasiana* Purk.，a critically endangered tree species of northeastern India [J]. Ecological Engineering，2012，40：37-43.

[13] PEARSON R G，RAXWORTHY C J，NAKAMURA M，et al. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records：a test case using cryptic geckos in Madagascar[J]. Journal of Biogeography，2007，34：102-117.

[14] 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孑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.

[15] 苏培玺，解婷婷，周紫鹃. 我国荒漠植被中的 C_4 植物种类分布及其与气候的关系[J]. 中国沙漠，2011，31(2)：267-276.

[16] 潘晓玲. 塔里木盆地植物区系的研究[J]. 新疆大学学报：自然科学版，1994，11(4)：77-83.

[17] HANLEY J A，McNEIL B J. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve [J]. Radiology，1982，143：29-36.

[18] 胡　秀，吴福川，郭　微，等. 基于 MaxEnt 生态学模型的檀香在中国的潜在种植区预测[J]. 林业科学，2014，50(5)：27-33.

[19] 蒋　霞，倪　健. 西北干旱区 10 种荒漠植物地理分布与大气候的关系及其可能潜在分布的预测[J]. 植物生态学报，2005，29(1)：98-107.

[20] PHILLIPS S J，DUDÍK M. Modeling of species distributions with MaxEnt：new extensions and a comprehensive evaluation [J]. Ecography，2008，31：161-175.

[21] 陈新美，雷渊才，张雄清，等. 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.

[22] 王　娟，倪　健. 中国北方温带地区 5 种锦鸡儿植物的分布模拟[J]. 植物生态学报，2009，33(1)：12-24.

[23] 吴建国，吕佳佳，周巧富. 气候变化对 6 种荒漠植物分布的潜在影响[J]. 植物学报，2010，45(6)：723-738.

(责任编辑：张明霞)

《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流、充分实现信息资源共享，《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等网络文献资源数据库，凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索，作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付，不再另付。如作者不同意将文章收编入数据库，请在来稿时声明，本刊将做适当处理。

《植物资源与环境学报》仅接受网上投稿，惟一投稿网址：http://www.cnbg.net/Tg/Contribute/Login.aspx。投稿咨询电话：025-84347014；E-mail：zwzybjb@163.com；QQ：2219161478。

《植物资源与环境学报》编辑部

2016-02