

## 蛛网萁的地理分布模拟及迁移趋势预测

夏侯佐英<sup>1</sup>, 朱 弘<sup>2,3</sup>, 金桂宏<sup>1</sup>, 王佳佳<sup>1</sup>, 范晓月<sup>1</sup>, 周洁昕<sup>1</sup>, 张明如<sup>1</sup>, 何云核<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300; 2. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 3. 南京林业大学 生物与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 为探究国家Ⅱ级野生保护植物蛛网萁 *Platycrater arguta* 的地理分布格局, 了解它在气候变化下地理迁移的趋势, 运用 DIVA-GIS 软件及其整合的 BIOCLIM 和 DOMAIN 模型, 结合经过筛选的 80 个精确分布点信息, 对其潜在分布区进行预测并分析影响其分布的主要气候因子。2 种模型的预测结果均表明: 当下蛛网萁的潜在分布区集中在中国浙赣闽交界处和日本四国岛, 且未来气候下蛛网萁的最适生活区有明显的缩小, 低度适生区整体向西偏移, 并有向高海拔迁移的趋势。受试者工作特征曲线(ROC 曲线)检验表明: 2 种模型的 ROC 曲线下的面积(AUC 值)均达到 0.9 以上, 说明模型预测结果可信。对 19 个气候变量的主成分分析表明: 第 1 主成分方差贡献率为 95% 以上, 其中年降水量(BIO12), 最湿季降水量(BIO16)和最暖季降水量(BIO18)载荷值较高, 是影响蛛网萁分布的主要气候因子, 表明水分是影响蛛网萁分布的主要因素。建议基于其预测的分布区域开展相应的调查与保护工作。图 1 表 4 参 30

**关键词:** 植物学; 蛛网萁; 潜在地理分布; DIVA-GIS; BIOCLIM 模型; DOMAIN 模型

**中图分类号:** S718.3; Q948.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2019)02-0247-08

## Modeling the geographic distribution of *Platycrater arguta*

XIAHOU Zuoying<sup>1</sup>, ZHU Hong<sup>2,3</sup>, JIN Guihong<sup>1</sup>, WANG Jiajia<sup>1</sup>, FAN Xiaoyue<sup>1</sup>, ZHOU Jiexin<sup>1</sup>,  
ZHANG Mingru<sup>1</sup>, HE Yunhe<sup>1</sup>

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** To find the geographical distribution pattern of the National Level II wild protected plant *Platycrater arguta* and to understand its geographical migration patterns with climate change, DIVA-GIS software and its integrated BIOCLIM and DOMAIN models were used in combination with 80 precision distribution points. Distribution point information was used to forecast the potential distribution area and analysis included the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve test for the main climatic factors affecting distribution and a principal component analysis. The precise distribution information of *P. arguta* was imported into DIVA-GIS software, and the potential distribution area of *P. arguta* was predicted through the modelling panel. Prediction results from the two models both indicated that current potential distribution areas of *P. arguta* were concentrated at the junction of Zhejiang, Jiangxi, and Fujian Provinces in China as well as Shikoku Island in Japan. The optimum living area for *P. arguta* was greatly reduced with future climate estimates, and the low-grade habitat area shifted overall to the west and to higher altitudes. The ROC curve test showed that the area under the curve (AUC) values of both models reached more than 0.9 indicating that model prediction results were credible. The principal component analysis of 19 climatic variables showed that annual precipitation (BIO12), the most humid seasonal precipitation (BIO16), and the warmest seasonal precipitation (BIO18) were the major

收稿日期: 2018-03-01; 修回日期: 2018-04-16

作者简介: 夏侯佐英, 从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: 542042930@qq.com。通信作者: 何云核, 教授, 从事园林植物与观赏园艺等研究。E-mail: yunhhe@163.com

climatic factors that affected distribution of *Platycrater arguta* indicating that water was the main factor. Thus, research and protection strategies should be carried out based on predicted distribution areas. [Ch, 1 fig. 4 tab. 30 ref.]

**Key words:** botany; *Platycrater arguta*; potential geographic distribution; DIVA-GIS; BIOCLIM model; DOMAIN model

气候变化与植物物种地理分布之间的相互关系,不仅是传统的植物生态学和生物地理学的重点研究领域,也是目前全球生态学的研究热点之一。从植物生长环境的角度出发,植物种的地理分布受到土壤、气候、地形等生态因子的影响,其中气候是决定植物种分布的最主要因素,同时植物地理分布区的动态变化也是全球气候变化的最直接反应<sup>[1]</sup>。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第5次评估报告(AR5)指出,自1980年以来,全球平均气温呈上升趋势,至2012年为止,全球平均气温升高 $(0.85 \pm 0.20) ^\circ\text{C}$ ,并且近60 a升高了 $0.72 ^\circ\text{C}$ 。根据政府间气候变化专门委员会第5次报告的预测,全球平均气温将升高 $0.30\sim 4.80 ^\circ\text{C}$ <sup>[2]</sup>。全球气温升高必然改变生态环境,从而对植物种的地理分布格局造成影响。蛛网萼 *Platycrater arguta* 为绣球花科 Hydrangeaceae 蛛网萼属 *Platycrater* 的落叶灌木,第三纪孑遗植物,分布于中国浙江南部、江西东北部和福建北部,日本九州、四国等地也有,是东亚植物区系中典型的中国—日本间断分布物种<sup>[3]</sup>,属于国家Ⅱ级保护植物。蛛网萼夏季开花,具二型花,花型优美,具有良好的观赏价值;叶片代茶饮用,有较好的开发前景。根据多年的野外调查,蛛网萼分布区域极其狭窄,对生境要求极其苛刻,必须要在荫蔽度较高且常年有水分的石壁上才能生长。物种分布模型(SDMs),又称生态位模型,是根据物种的分布信息和相应环境变量信息,通过特定的算法计算出两者之间的关系,从而将这种关系应用于所研究的地理区域,并对物种可能的生态位进行估计<sup>[4-5]</sup>。目前,物种分布模型已经被广泛用于外来生物的入侵机制研究<sup>[6-7]</sup>,珍稀濒危植物保护<sup>[8-10]</sup>,生物多样性监测<sup>[11-13]</sup>等领域。DIVA-GIS是国际马铃薯中心(CIP)开发的一款结合地理信息系统和物种分布数据处理的软件,兼具绘图功能,操作简便,其整合的BIOCLIM模型和DOMAIN模型已经被广泛用于预测物种的潜在分布区<sup>[14-15]</sup>。本研究利用该软件分析蛛网萼的分布格局,并预测其在气候变化条件下可能的分布区,丰富蛛网萼的生物地理学研究内容,为其保护工作提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据收集

1.1.1 物种分布信息 蛛网萼实际地理分布点通过查阅标本信息、相关文献和实地调查获得。标本信息通过中国数字植物标本馆(CVH, <http://www.cvh.ac.cn/>),教学标本资源共享平台(MNH, <http://mnh.scu.edu.cn/>)和全球生物多样性信息网络(GBIF, <https://www.gbif.org/>)筛选。同时查阅相关文献<sup>[16-17]</sup>,将每份标本的地理位置尽量精确到乡镇及以下区域,排除重复记录和模糊记录,去除引种记录,利用百度地图拾取坐标系统(<http://api.map.baidu.com/lbsapi/getpoint/index.html>)析出每份标本的精确坐标,并结合Google Earth确认,最终获得蛛网萼80个精确的有效实际地理分布点。由于用于预测的空间插值气候数据精度为 $2.5'$ ,所以为了消除误差,在做分布区预测时每个 $2.5'\times 2.5'$ 的网格只取1条有效记录。

1.1.2 气候数据 气候数据来源于世界气候数据库(WorldClim, <http://www.worldclim.org/>)。目前的气候数据是根据1950-2000年世界各地的气象站观测信息,利用空间插值法生成的全球气候数据,空间分辨率为 $2.5'$ ;未来气候数据是由美国国家大气研究中心(NCAR)研发的全球大气环流谱模式CCM3模型,在二氧化碳倍增情境下模拟的2100年气候数据<sup>[18]</sup>,空间分辨率为 $2.5'$ 。数据内包含的19个气候环境变量用作预测物种分布的主要变量,包括年平均气温(BIO1),昼夜温差月平均值(BIO2),等温性(BIO3),温度季节性变化(BIO4),最暖月最高气温(BIO5),最冷月最低气温(BIO6),气温年较差(BIO7),最湿季平均气温(BIO8),最干季平均气温(BIO9),最暖季平均气温(BIO10),最冷季平均气温(BIO11),年降水量(BIO12),最湿月降水量(BIO13),最干月降水量(BIO14),降水量季节性变化(BIO15),最湿季降水量(BIO16),最干季降水量(BIO17),最暖季降水量(BIO18),最冷季降水量(BIO19)。世界各国地图数据来源于DIVA-GIS官方网站(<http://www.diva-gis.org/>)。

## 1.2 数据分析

1.2.1 多度分析 将蛛网萼的精确坐标导入 DIVA-GIS 7.5.0 软件包, 1 个分布点代表 1 个蛛网萼群落, 利用 Analysis-Point to Grid-Richness 功能, 统计每个  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  网格内出现的蛛网萼群落的数量。利用其内置的 Design 功能绘制多度分析图。

1.2.2 主要气候因子分析 利用 DIVA-GIS 软件包的 Data-Extract Values by Points-From Climate Data 功能, 提取蛛网萼分布点的 19 个气候因子数据, 将所有 80 个分布点按纬度分为 3 个样本较为均匀的梯度, 分别为  $33.50^{\circ} \sim 36.00^{\circ}$ ,  $28.00^{\circ} \sim 33.50^{\circ}$  和  $26.50^{\circ} \sim 28.00^{\circ}$ , 对其气候数据进行方差分析; 将气候数据导入 PAST 3.16(<http://folk.uio.no/ohammer/past/>) 软件, 通过 Multivariate-Ordination-Principal components (PCA) 功能对其进行主成分分析, 得出影响蛛网萼分布的主要气候因子。

1.2.3 物种分布区预测 BIOCLIM 模型利用已知的物种分布信息和环境信息, 确定物种分布所需的环境变化范围, 只要在这个范围的区域就认为是适物种存在的<sup>[19]</sup>。DOMAIN 模型则是利用 Gower 算法, 生成分布点和分布点之间的相似矩阵, 通过矩阵计算目标点上的环境变量的适宜程度, 从而确定物种的分布范围<sup>[20]</sup>。BIOCLIM 模型和 DOMAIN 模型的操作通过 DIVA-GIS 软件实现。将蛛网萼精确坐标处理成 CSV 格式, 导入 DIVA-GIS, 然后在 Tools-Options 选项卡中将气候数据导入, 在 Modeling-Bioclim/Domain-Predict 选项卡中实现物种分布预测。

1.2.4 模型精度检验 受试者工作特征曲线 (ROC, receiver operating characteristic curve) 被广泛用于各种物种分布模型的精度检验<sup>[21-22]</sup>, ROC 曲线下的面积即为 AUC 值 (area under curve), AUC 值的取值范围为  $[0.5 \sim 1.0]$ , 值越大代表模型预测结果越可信, 因其不受阈值影响, 是目前公认的评价物种分布模型预测结果的最优方法之一<sup>[23]</sup>。具体操作方法为: 在 Modeling-Evaluation 模块中, 将随机取样获得的物种分布点的 75% 作为训练子集 (sample size training data), 剩余的 25% 作为测试子集 (sample size test data), 训练子集用于训练模型, 测试子集用于验证模型, 重复 3 次 (表 1)。

## 2 结果与分析

### 2.1 地理分布分析

多度分析结果表明: 蛛网萼在中国的分布点主要集中在江西、浙江、福建 3 个省份, 在江西与福建交界的武夷山脉一带分布尤为集中; 而在日本, 九州、本州、四国均有分布, 其中在四国高知一带分布较为集中。结合当地的地理情况, 可知蛛网萼的生长环境是需要一定海拔的。

### 2.2 主要气候因子分析

由表 2 可知: 各气候因子之间的差异性不大, 可知气候因子对蛛网萼分布的影响与纬度的关系不大; 而主成分分析表明, 第 1 主成分的方差贡献率为 95% 以上, 可以代表蛛网萼分布点的主要气候变量信息 (表 3)。从表 4 可知: 第 1 主成分中年降水量 (BIO12), 最湿季降水量 (BIO16) 和最暖季降水量 (BIO18) 的载荷值较高, 可将其定义为“水分因子”。由此可见, 水分是对蛛网萼分布影响较为显著的气候限制因子。

### 2.3 潜在分布区预测

BIOCLIM 模型对蛛网萼当下分布区的预测结果表明: 目前适宜蛛网萼生存的区域除了已知的武夷山一带、雁荡山一带, 在桂林、吉安和黄山一带也有较高的分布可能性。日本的尾鹫一带、长门一带、四国整体以及九州北部均有较高的潜在分布可能性。韩国济州也有极高的分布可能。DOMAIN 模型对当下的预测表明蛛网萼的潜在最适区分布在建德和长沙等地, 而在日本的潜在最适分布区则与目前已知的分布区域无甚差异。

在二氧化碳倍增的未来气候背景下, BIOCLIM 模型对蛛网萼的预测显示其最适分布区逐步向东南方向偏移, 主要在云和、丽水一带, 并且日本的最适分布区整体向东迁移, 集中在四万十市和和歌山; DOMAIN 模型则表示未来蛛网萼的分布区与当下相比有一定的缩小。

### 2.4 模型精度检验

以 1-特异度为横坐标, 灵敏度为纵坐标绘制 ROC 曲线, 结果如图 1 所示。BIOCLIM 模型的 ROC 检验结果显示其 AUC 值为 0.967, DOMAIN 模型的 AUC 值则为 0.997, 均显著高于随机测试 AUC

表1 蛛网萼精确分布点

Table 1 Distribution records of *Platycrater arguta*

序号	分布点	纬度/(°)	经度/(°)	序号	分布点	纬度/(°)	经度/(°)
1	中国浙江	30.32	119.43	41	中国江西	26.51	114.17
2	中国浙江	29.48	119.53	42	日本九州	32.82	131.37
3	中国江西	28.63	117.68	43	日本九州	32.57	131.10
4	中国江西	28.58	117.64	44	日本九州	31.43	131.27
5	中国浙江	28.42	121.26	45	日本四国	32.72	131.18
6	中国浙江	28.37	121.11	46	日本四国	33.55	133.52
7	中国浙江	28.37	121.07	47	日本四国	33.58	133.17
8	中国浙江	28.37	121.10	48	日本本州	33.72	135.98
9	中国浙江	28.37	121.10	49	日本本州	34.98	137.78
10	中国浙江	28.36	121.06	50	日本本州	35.10	137.82
11	中国浙江	28.20	118.91	51	日本九州	32.11	131.40
12	中国浙江	28.18	118.91	52	日本九州	35.43	136.78
13	中国江西	28.10	118.12	53	日本本州	33.65	135.67
14	中国浙江	28.06	119.77	54	日本四国	33.67	133.83
15	中国浙江	28.03	121.00	55	日本本州	36.00	138.00
16	中国浙江	28.03	119.51	56	日本九州	32.10	130.88
17	中国福建	28.00	118.17	57	日本九州	31.72	131.37
18	中国江西	27.99	117.04	58	日本九州	33.20	129.95
19	中国浙江	27.94	119.18	59	日本九州	31.74	131.37
20	中国江西	27.94	117.38	60	日本本州	35.65	139.27
21	中国江西	27.94	117.68	61	日本本州	35.67	139.32
22	中国福建	27.94	117.85	62	日本本州	35.02	137.84
23	中国江西	27.93	117.37	63	日本本州	33.63	135.94
24	中国浙江	27.93	119.22	64	日本九州	33.35	131.19
25	中国江西	27.91	117.35	65	日本本州	34.41	135.80
26	中国江西	27.91	117.26	66	日本四国	33.56	133.12
27	中国江西	27.90	117.33	67	日本四国	33.52	133.06
28	中国浙江	27.89	119.19	68	日本四国	33.17	132.63
29	中国浙江	27.85	119.15	69	日本四国	33.53	133.21
30	中国江西	27.80	117.22	70	日本四国	33.80	133.97
31	中国江西	27.80	117.50	71	日本四国	33.73	134.04
32	中国福建	27.76	117.58	72	日本四国	33.48	133.08
33	中国浙江	27.76	119.21	73	日本四国	33.65	133.24
34	中国江西	27.75	117.19	74	日本四国	33.53	133.06
35	中国福建	27.73	117.72	75	日本四国	33.81	133.44
36	中国福建	27.73	117.78	76	日本四国	33.51	133.24
37	中国浙江	27.69	119.14	77	日本四国	33.74	133.94
38	中国福建	27.63	117.90	78	日本四国	33.70	133.36
39	中国福建	27.45	118.02	79	日本四国	33.45	133.21
40	中国浙江	27.05	119.15	80	日本四国	33.81	133.97

(0.500), 说明这2种模型预测的结果都是较为可信的。

### 3 结论与讨论

蛛网萼繁育系统为兼性异交类型与专性异交类型且需要传粉者<sup>[24]</sup>, 其繁殖策略是产生大量的小种子用来占据更多适宜的生活位。但张丽芳等<sup>[25]</sup>的研究发现: 蛛网萼种子的发芽条件极其苛刻, 导致其发芽率低下。同时我们在野外观察发现蛛网萼的生境要求非常严格, 必须在常年有水的石壁附近才能生长,

表 2 蛛网萼分布的气候指标

Table 2 Climatic indexes of *Platycrater arguta*

气候 指标	33.50°~36.00°N			28.00°~33.50°N			26.50°~28.00°N		
	平均值±标准差	最小值	最大值	平均值±标准差	最小值	最大值	平均值±标准差	最小值	最大值
BIO1	13.19 ± 2.21 b	8.62	16.78	15.07 ± 2.45 a	8.92	17.51	15.28 ± 1.73 a	11.72	18.25
BIO2	8.15 ± 1.05 a	6.75	10.65	7.82 ± 1.01	6.36	9.63	7.64 ± 0.49 a	6.41	8.73
BIO3	27.14 ± 1.94 a	23.84	29.92	26.8 ± 2.78 a	23.29	32.00	27.25 ± 1.20 a	23.73	29.88
BIO4	795.69 ± 37.84 a	723.60	914.83	780.63 ± 38.96 a	694.42	877.20	739.66 ± 30.86 b	674.42	799.19
BIO5	28.03 ± 2.35 a	22.70	32.10	29.37 ± 2.62 a	22.50	33.20	28.85 ± 2.17 a	24.40	32.50
BIO6	-1.89 ± 2.54 b	-8.20	2.80	0.23 ± 2.55 a	-5.70	3.70	0.81 ± 1.45 a	-2.00	4.70
BIO7	29.92 ± 1.93 a	27.00	35.60	29.14 ± 1.43 a	27.30	32.50	28.04 ± 1.11 b	26.20	30.00
BIO8	21.25 ± 2.25 ab	17.87	25.63	22.28 ± 2.63 a	17.45	26.07	19.83 ± 1.98 b	17.67	27.18
BIO9	4.09 ± 2.66 b	-1.68	7.93	7.43 ± 2.71 a	1.25	12.90	8.51 ± 2.85 a	4.68	14.55
BIO10	23.02 ± 2.05 b	18.55	26.23	24.54 ± 2.36 a	18.48	27.33	24.03 ± 1.97 ab	19.90	27.42
BIO11	3.45 ± 2.53 b	-1.68	7.93	5.34 ± 2.62 a	-1.13	8.97	5.86 ± 1.48 a	2.92	8.97
BIO12	2 207.15 ± 402.63 a	1 420.00	3 254.00	2 159.81 ± 553.20 a	1 453.00	3 424.00	1 979.33 ± 136.29 a	1 611.00	2 131.00
BIO13	325.08 ± 57.21 a	203.00	442.00	355.15 ± 114.36 a	222.00	623.00	326.89 ± 29.50 a	221.00	353.00
BIO14	60.77 ± 15.04 a	43.00	101.00	59.96 ± 15.48 a	38.00	98.00	48.96 ± 3.38 b	40.00	52.00
BIO15	50.19 ± 3.38 b	42.71	53.39	55.34 ± 5.22 a	48.43	64.00	57.18 ± 4.82 a	49.59	66.77
BIO16	859.19 ± 137.88 a	562.00	1 156.00	925.19 ± 301.14 a	568.00	1 622.00	876.33 ± 94.39 a	587.00	958.00
BIO17	221.77 ± 42.88 a	142.00	327.00	216.48 ± 44.17 a	163.00	331.00	186.59 ± 9.36 b	163.00	197.00
BIO18	801.96 ± 134.29 a	550.00	1 137.00	803.89 ± 253.23 a	486.00	1 384.00	686.52 ± 63.26 b	533.00	798.00
BIO19	222.69 ± 42.86 a	142.00	327.00	236.41 ± 42.39 a	185.00	348.00	240.22 ± 19.22 a	184.00	259.00

说明：同行两两之间若有 1 个相同字母则代表差异性不显著 ( $P>0.05$ )，反之则代表差异显著 ( $P<0.05$ )

且其种群自我更新绝大部分是以根蘖的形式，极难见到实生苗。这导致了蛛网萼种群遗传多样性的缺失，加之人为等因素使其生境破碎化，蛛网萼种群很难进行大面积的扩张，这也是其种群数量有限的原因之一。生境要求的苛刻，加之自我更新能力有限，推测是导致其如今极其狭窄的分布格局的部分原因。

一般来说，气候因素是决定物种大尺度空间分布的主要因素<sup>[26]</sup>，气候的变化往往会影响物种的分布格局。朱弘等<sup>[27]</sup>对浙闽樱桃 *Cerasus schneideriana* 分布相关的气候因子做主成分分析，得出年降水量和夏季降水量是影响其分布的主要气候因子。王娟等<sup>[13]</sup>研究了 5 种锦鸡儿属 *Caragana* 的植物分布与 15 个气候指标之间的关系，得出年降水量、湿润指数等对其中 2 种锦鸡儿属植物的地理分布有重要影响。以上结果均表明，水分对植物的地理分布有不可忽视的作用。本研究通过差异性分析和主成分分析法分析了与蛛网萼相关的 19 个气候因子，结果显示：19 个气候因子之间的差异并不是很大，表明纬度对于蛛网萼的地理分布影响不大；在足以代表 19 个气候变量信息的第 1 主成分中，年降水量的载荷值最高，

表 3 前 3 个主成分方差贡献

Table 3 Contribution of variance of first three principal component

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
PC1	238 016.00	95.414 0	95.414 0
PC2	6 891.52	2.762 6	98.176 6
PC3	2 676.09	1.072 8	99.249 4

表 4 第 1 主成分 19 个气候因子的得分系数

Table 4 Loadings of first principal component relative to 19 environmental variable

气候因子	PC1	气候因子	PC1	气候因子	PC1
BIO1	-0.001 630 0	BIO8	-0.000 180 0	BIO15	0.002 295 0
BIO2	-0.000 110 0	BIO9	-0.002 300 0	BIO16	0.380 960 0
BIO3	0.000 444 0	BIO10	-0.001 760 0	BIO17	0.072 615 0
BIO4	-0.022 710 0	BIO11	-0.001 310 0	BIO18	0.349 890 0
BIO5	-0.002 220 0	BIO12	0.837 050 0	BIO19	0.059 784 0
BIO6	-0.001 390 0	BIO13	0.147 850 0		
BIO7	-0.000 830 0	BIO14	0.023 403 0		

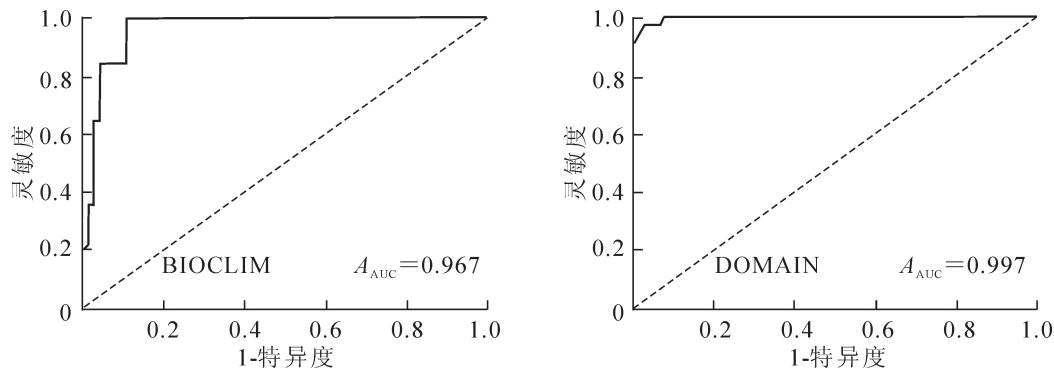


图1 2种模型的ROC曲线

Figure 1 ROC curve based on the predict of BIOCLIM and DOMAIN models

结合实地对其生境的调查,可知该气候变量对蛛网萼的地理分布影响较大。可推测蛛网萼分布格局与水分的关系较为密切。

基于当下气候数据的预测结果表明:蛛网萼的分布需要一定海拔,除了已知的分布带以外,中国广西南湖交界、湖南江西交界、湖南西北部以及韩国济州一带都是适生区。目前,蛛网萼的标本信息都较陈旧,缺乏分布信息的更新,而模型预测结果显示江西湖南交界的北部以及湖南广西交界处存在蛛网萼的可能性较大,可作为野外调查的重点区域。由于算法的不同<sup>[19-20]</sup>,2种模型预测出的结果不尽相同,但高度适生区都显示出破碎化,反映出蛛网萼的生存现状已经极其恶劣。BIOCLIM模型中对于蛛网萼中低度适生区的预测集中在赣湘交界和赣浙皖交界区,因为算法的原因,DOMAIN模型对于蛛网萼中低度适生区的预测较为连续,且DOMAIN模型的结果基本覆盖了BIOCLIM模型的结果,两者的预测结果较为接近;2种结果均表明蛛网萼的中低度适生区范围较大,一定程度上反应了这些地区的生境有成为蛛网萼生活区的潜力。陶晓瑜<sup>[17]</sup>对蛛网萼的群体遗传结构研究表明,蛛网萼的种群之间有一定程度的分化,在保护其遗传多样性的前提下,就地保护的措施是较为妥当的。

在未来气候背景的预测结果中,2种模型均显示蛛网萼的适生区有明显的缩小,且高度适生区有向东部高海拔地区迁移的趋势,这与曹福祥等<sup>[28]</sup>的报道中提到的全球变暖环境下物种向高海拔地区迁移的结论一致。对于中低度适生区的预测,2种模型均显示有向西迁移的趋势。邵慧等<sup>[29]</sup>研究表明: BIOCLIM模型用于狭域分布型的物种预测具有较高的模拟准确度;而张琴等<sup>[30]</sup>对天麻 *Gastrodia elata* 的研究表明:对于广布型物种的预测,DOMAIN模型比BIOCLIM模型表现更为出色。尽管两者对不同分布型物种的预测结果不一致,但在本研究中,两者对于蛛网萼的分布区迁移趋势预测基本一致。根据本研究结果,建议对蛛网萼可能的分布区域开展专项调查,以完善其地理分布与资源信息;在做好已有资源保护的同时,加强对浙江东部和福建北部潜在分布地区的生态保护,为其分布扩散提供有利条件。

#### 4 参考文献

- [1] 倪健, 宋永昌. 中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种分布与气候的相关分析[J]. 植物生态学报, 1997, **21**(2): 115 - 129.  
NI Jian, SONG Yongchang. Relationship between climate and distribution of main species of subtropical evergreen broad-leaved forest in China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 1997, **21**(2): 115 - 129.
- [2] IPCC. IPCC, 2013, Technical summary [G]//STOCKER T, QIN D, PLATTNER G, et al. *IPCC, Climate Change 2013: the Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 710 - 719.
- [3] 祁新帅. 东亚特有间断分布植物蛛网萼属的生物地理学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.  
QI Xinshuai. *Biogeographic Studies on the Genus Platycrater (Hydrangeaceae) Endemic to East China and South Japan* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [4] 李国庆, 刘长成, 刘玉国, 等. 物种分布模型理论研究进展[J]. 生态学报, 2013, **33**(16): 4827 - 4835.  
LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguo, et al. Advances in theoretical issues of species distribution models [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, **33**(16): 4827 - 4835.

- [5] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法[J]. 生态学报, 2015, **35**(2): 557 – 567.  
XU Zhonglin, PENG Huanhua, PENG Shouzhong. The development and evaluation of species distribution models [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(2): 557 – 567.
- [6] 陆建忠, 翁恩生, 吴晓雯, 等. 加拿大一枝黄花在中国的潜在入侵区预测[J]. 植物分类学报, 2007, **45**(5): 670 – 674.  
LU Jianzhong, WENG Ensheng, WU Xiaowen, *et al.* Potential distribution of *Colidago canadensis* in China [J]. *Acta Phytotaxon Sin*, 2007, **45**(5): 670 – 674.
- [7] 张海涛, 罗渡, 牟希东, 等. 应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报, 2016, **27**(4): 1227 – 1284.  
ZHANG Haitao, LUO Du, MU Xidong, *et al.* Predicting the potential suitable distribution area of the apple snail *Pomacea canaliculata* in China based on multiple ecological niche models [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2016, **27**(4): 1277 – 1284.
- [8] 龚维, 夏青, 陈红锋, 等. 珍稀濒危植物伯乐树的潜在适生区预测[J]. 华南农业大学学报, 2015, **36**(4): 98 – 104.  
GONG Wei, XIA Qing, CHEN Hongfeng, *et al.* Prediction of potential distributions of *Bretschneidera sinensis*, an rare and endangered plant species in China [J]. *J South China Agric Univ*, 2015, **36**(4): 98 – 104.
- [9] 高蓓, 卫海燕, 郭彦龙, 等. 应用 GIS 和最大熵模型分析秦岭冷杉潜在地理分布[J]. 生态学杂志, 2015, **34**(3): 843 – 852.  
GAO Bei, WEI Haiyan, GUO Yanlong, *et al.* Using GIS and MaxEnt to analyze the potential distribution of *Abies chensiensis* [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34**(3): 843 – 852.
- [10] 马松梅, 聂迎彬, 段霞, 等. 蒙古扁桃植物的潜在地理分布及居群保护优先性[J]. 生态学报, 2015, **35**(9): 2960 – 2966.  
MA Songmei, NIE Yingbin, DUAN Xia, *et al.* The potential distribution and population protection priority of *Amygdalus mongolica* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(9): 2960 – 2966.
- [11] 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.  
ZHANG Xingwang, LI Yao, FANG Yanming. Geographical distribution and prediction of potential ranges of *Quercus acutissima* in China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2014, **34**(8): 1685 – 1692.
- [12] 王刚, 孟艳琼, 孙婧, 等. 麻花杜鹃的地理分布模拟[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, **41**(5): 173 – 177.  
WANG Gang, MENG Yanqiong, SUN Jing, *et al.* Modeling the geographic distribution of *Rhododendron maculiferum* [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2013, **41**(5): 173 – 177.
- [13] 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.  
WANG Juan, NI Jian. Modeling the distribution of five *Caragana* species in temperate northern China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, **33**(1): 12 – 24.
- [14] 徐晓婷, 杨永, 王利松. 白豆杉的地理分布及潜在分布区估计[J]. 植物生态学报, 2008, **32**(5): 1134 – 1145.  
XU Xiaoting, YANG Yong, WANG Lisong. Geographic distribution and potential distribution estimation of *Pseudotsaxus chienii* [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2008, **32**(5): 1134 – 1145.
- [15] 李垚, 张兴旺, 方炎明. 气候变暖对中国栓皮栎地理分布格局影响的预测[J]. 应用生态学报, 2014, **25**(12): 3381 – 3389.  
LI Yao, ZHANG Xingwang, FANG Yanming. Predicting the impact of global warming on the geographical distribution pattern of *Quercus variabilis* in China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, **25**(12): 3381 – 3389.
- [16] 乐新贵, 谭策铭, 李林海, 等. 贵溪市际峰自然保护区新发现成片蛛网萼群落[J]. 江西林业科技, 2008(4): 42 – 43.  
LE Xingui, TAN Ceming, LI Linhai, *et al.* New discovery on flaky community of *Platycrater arguta* of Yangjifeng Nature Reserve in Guixi City, Jiangxi, China [J]. *J Jiangxi For Sci Technol*, 2008(4): 42 – 43.
- [17] 陶晓瑜. 东亚特有濒危植物蛛网萼的遗传多样性与亲缘地理学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.  
TAO Xiaoyu. *Genetic Diversity and Phylogeography of Genus Platycrater (Hydrangeaceae) Endemic to East China*

- and South Japan* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [18] GOVINDASAMY B, DUFFY P B, COQUARD J. High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse cases [J]. *Clim Dynam*, 2003, **21**(5/6): 391 – 404.
- [19] BUSBY J R. BIOCLIM: a bioclimate analysis and prediction system [J]. *Plant Protect Quart*, 1991, **6**(1): 64 – 68.
- [20] CARPENTER G, GILLISON A N, WINTER J. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals [J]. *Biodiv Conserv*, 1993, **2**(6): 667 – 680.
- [21] 曹向锋, 钱国良, 胡白石, 等. 采用生态位模型预测黄顶菊在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(12): 3063 – 3069.  
CAO Xiangfeng, QIAN Guoliang, HU Baishi, *et al.* Prediction of potential suitable distribution area of *Flaveria bidentis* in China based on niche models [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, **21**(12): 3063 – 3069.
- [22] RAES N, ter STEEGE H. A null-model for significance testing of presence-only species distribution models [J]. *Ecography*, 2007, **30**(5): 727 – 736.
- [23] CHEN Pingfu, WILEY E O, MCNYSET K M. Ecological niche modeling as a predictive tool: silver and bighead carps in North America [J]. *Biol Invas*, 2007, **9**(1): 43 – 51.
- [24] 张丽芳, 裘利洪. 蛛网萼开花物候、花部特征及繁育系统研究[J]. 广西植物, 2017, **37**(10): 1301 – 1311.  
ZHANG Lifang, QIU Lihong. Flowering phenology, floral traits and breeding system of *Platycrater arguta* [J]. *Guihaia*, 2017, **37**(10): 1301 – 1311.
- [25] 张丽芳, 林昌勇, 俞群, 等. 珍稀濒危植物蛛网萼的种子形态及萌发特性[J]. 江西农业大学学报, 2015, **37**(3): 497 – 503.  
ZHANG Lifang, LIN Changyong, YU Qun, *et al.* The morphological structure and germination characters of seed of rare and endangered species *Platycrater arguta* [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*. 2015, **37**(3): 497 – 503.
- [26] 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.  
ZHU Gengping, LIU Guoqing, BU Wenjun, *et al.* Ecological niche modeling and its applications in biodiversity conservation [J]. *Biodivers Sci*, 2013, **21**(1): 90 – 98.
- [27] 朱弘, 尤禄祥, 李涌福, 等. 浙闽樱桃地理分布模拟及气候限制因子分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2017, **25**(4): 315 – 322.  
ZHU Hong, YOU Luxiang, LI Yongfu, *et al.* Modeling the geographical distribution pattern and climatic limited factors of *Cerasus schneideriana* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2017, **25**(4): 315 – 322.
- [28] 曹福祥, 徐庆军, 曹受金, 等. 全球变暖对物种分布的影响研究进展[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, **28**(6): 86 – 89.  
CAO Fuxiang, XU Qingjun, CAO Shoujin, *et al.* Advances of global warming impact on species distribution [J]. *J Cent South Univ For Technol*, 2008, **28**(6): 86 – 89.
- [29] 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.  
SHAO Hui, TIAN Jiaqian, GUO Ke, *et al.* Effects of sample size and species traits on performance of BIOCLIM in predicting geographical distribution of tree species: a case study with 12 deciduous *Quercus* species indigenous to China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, **33**(5): 870 – 877.
- [30] 张琴, 张东方, 吴明丽, 等. 基于生态位模型预测天麻全球潜在适生区[J]. 植物生态学报, 2017, **41**(7): 770 – 778.  
ZHANG Qin, ZHANG Dongfang, WU Mingli, *et al.* Predicting the global areas for potential distribution of *Gastrodia elata* based on ecological niche models [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2017, **41**(7): 770 – 778.