

## 气候变化对桂花分布的影响研究

武耀星<sup>1,2,3</sup>, 张梅<sup>1,2</sup>, 杨勇<sup>2,4</sup>, 吕泽民<sup>3</sup>, 张秀卿<sup>3</sup>, 王亮生<sup>2,4\*</sup>

(1. 贵州省植物园, 贵州 贵阳 550004; 2. 中国科学院 植物研究所, 北方资源重点实验室, 北京 100093;  
3. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**桂花是我国特有树种,具有很高的经济价值而被广泛栽培,主要用于园林绿化、饮食和药用,桂花的栽培品种在城乡园林景观中较为多见,但野生资源破坏严重,生境恶化,物种多样性也随之减少。该文在不同气候情景下,对桂花的潜在适生区分布进行预测,可探究气候变化下该物种的生境变迁,并了解其地理分布与气候间的相互关系,为桂花的资源保护与利用提供重要的科学依据。利用最大熵(MaxEnt)模型,根据影响桂花适生区分布的31个环境因子和当前桂花生境的368个自然分布点,对当前和未来(2050年、2070年)桂花的潜在分布区进行预测,并用刀切法检验来评估气候因子的重要性。结果表明:1)在当前环境条件下,桂花在我国主要分布在33°N以南的地区,总潜在分布区面积约 $224.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ ;2)干燥季节的月降水量、潮湿的频率、干旱季节的平均温度是影响桂花生境的主导环境因子;3)随着未来气候的改变,桂花的潜在分布区向北偏东高纬度地区发生迁移,西南地区潜在分布区减少,建议该地区的桂花居群优先保护。

**关键词:**桂花;Maxent;潜在分布区;环境因子

**中图分类号:**S685.13

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2022)04-0129-06

### Effects of Climate Changes on the Distribution of *Osmanthus fragrans*

WU Yao-xing<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Mei<sup>1,2</sup>, YANG Yong<sup>2,4</sup>, LÜ Ze-min<sup>3</sup>, ZHANG Xiu-qing<sup>3</sup>, WANG Liang-sheng<sup>2,4\*</sup>

(1. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, Guizhou, China; 2. Key Laboratory of Plant Resources, Beijing Botanical Garden, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 3. Forest College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** *Osmanthus fragrans* is a unique tree species in China with high economic values. It is widely cultivated for the purposes of landscaping, food and medicine. The cultivated varieties of *O. fragrans* are more common in urban and rural landscape, but the wild resources are seriously damaged, and the habitats are deteriorated. The species diversity is also reduced. The prediction of the distribution of potential suitable areas of *O. fragrans* under different climate scenarios can explore the habitat changes of *O. fragrans*, and can understand the relationship between its geographical distribution and climate to provide an important scientific basis for the protection and utilization of *O. fragrans* resources. According to 31 environmental factors and 368 Occurrences of *O. fragrans* habitats, the potential distribution areas of *O. fragrans* at present and in the future (2050 and 2070) were predicted by Maxent. The values of importance of climate factors were evaluated by Jackknife test. The results showed that 1) under the current environmental conditions, *O. fragrans* was mainly distributed in the south of 33°N in China with an area of about  $224.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ . 2) Mean temperature of the driest season was the dominant environmental factor for the habitat of *O. fragrans*. 3) The potential distribution area of *O. fragrans* would migrate to the high latitudes of

收稿日期:2021-07-13 修回日期:2021-09-29

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合基础[2020]1Y065);贵州科学院青年基金项目(黔科院J字[2021]6号)。

第一作者:武耀星。研究方向:风景园林学。E-mail:arcsin180@126.com

\*通信作者:王亮生,研究员。研究方向:花卉生理与遗传。Email:wanglsh@ibcas.ac.cn

north by east with the change of climate in the future. The potential distribution area of *O. fragrans* in Southwest China would decrease, so it was suggested that the population of *O. fragrans* in this area should be protected first.

**Key words:** *Osmanthus fragrans*; Maxent; potential distribution area; environmental factors

气候的时空变化对物种的分布格局有着直接而深刻的影响<sup>[1-2]</sup>,其中对植物的生长发育、地理分布以及种群数量大小等影响极大<sup>[3]</sup>。然而物种经时空变迁,导致地表植被变化,也直接导致全球气候变化<sup>[4-6]</sup>。联合国政府气候变化专门委员会(IPCC)报告表明,全球地表温度在未来会持续上升。此外,全球降水格局也在发生改变,出现干旱地区变得更干,湿润地区变得更湿的局面<sup>[7-8]</sup>。这些现象将导致物种因原有适生区的改变而迁移,许多植物生境也会随之发生改变<sup>[9]</sup>。

桂花(*Osmanthus fragrans*)为木犀科(Oleaceae)木犀属(*Osmanthus*)多年生小乔木<sup>[10]</sup>,为中国特有,栽培历史悠久,是中国十大名花之一。其花朵芬芳,树形优美,四季常绿,常用于园林绿化,在我国也常作为香料植物,它是观赏与实用兼备的园林绿化树种<sup>[11]</sup>,此外,从桂花不同器官组织中提取的精油成分,化学成分差异很大,具有不同的药理作用<sup>[12]</sup>。自然环境条件下,桂花野生居群广布于中国的亚热带地区拥有丰富的形态变异,花形、花色等观赏性状变异丰富<sup>[13-14]</sup>,部分优良性状在栽培品种中缺乏,有待于挖掘利用。目前对野生资源过度开发,加之野生居群自然更新能力弱导致其野生分布范围缩小,种群规模和数量锐减,除了一些保护区、风景区和偏僻山区,已很难找到成片的野生桂花<sup>[15]</sup>。关于桂花的研究主要集中在遗传多样性分析、花色和花香形成的化学和分子机制以及栽培技术和园林应用等方

面。现阶段对桂花栖息地的分布和物种的生态需求尚不清楚,因此,研究桂花在自然环境下的分布,对桂花的资源综合利用有着重要的意义。

本研究利用最大熵(MaxEnt)模型,对桂花生境当前和未来分布进行预测,并对影响其生境适应性的环境因子进行分析,确定了桂花在其分布范围内重要的环境影响因子,以及在未来环境条件下桂花生境的质心转移趋势;根据未来气候变化条件,量化该物种的适应生境范围。通过以上工作的开展,希望在未来气候改变的情况下指导桂花的保护和合理开发利用。

## 1 材料与方法

### 1.1 物种分布点数据

桂花的地理分布数据来源于全球生物多样性信息平台(GBIF, <https://www.gbif.org/>),中国数字标本植物馆(CVH, <http://v5.cvh.org.cn/>),以及野外实地调查获得。为保证分布点的准确性,将收集到的数据点进行了以下筛选:1)剔除重复的数据点,同时确定每个数据点有精确的地理坐标。2)根据环境数据的空间分辨率,确保每个数据点之间直线距离>10 km。3)根据不同环境条件对物种分布点进行采样,确保物种在所有的生存条件下均有采样点。通过以上操作来纠正采样出现的偏差,确保分布点在生态位模型运算中的准确性。最终获得桂花 368 个分布点(图 1)。

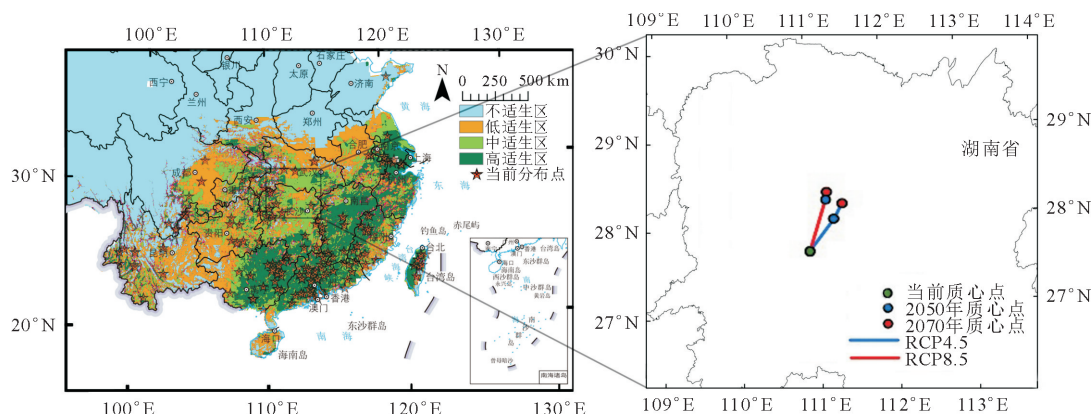


图 1 桂花当前分布点,当前潜在适宜分布区及质心转移图( $10^4 \text{ km}^2$ ) (审图号:GS(2019)1823 底图无改动)

Fig. 1 Current distribution point, current potential suitable distribution area and centroid transfer of *Osmanthus fragrans* ( $10^4 \text{ km}^2$ )

### 1.2 环境数据

SDMs 中环境变量的相关性和完整性是构建模型的关键因素<sup>[16-17]</sup>,本研究选择 31 个可能影响桂花

的环境因子来预测当前及未来生境,其中 19 个生物气候变量来源于 World Climate Database([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)),植物生长日度(GDD),土壤 pH

(SpH),和土壤有机碳含量(SC)来源于全球可持续发展(<https://nelson.wisc.edu/sage/>),地面霜频率(FRS)、潮湿的频率(WET)和蒸汽压(VAP)来源于 IPCC(<https://www.ipcc.ch/data/>),全球紫外线 UVB1-6 来源于 gIUV database(<https://www.ufz.de/gIuv/>)<sup>[18]</sup>,高程数据(Dem)来源于中国科学院资源环境科学与数据中心([https://www.resdc.cn/data.aspx? DATAID=123](https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=123))。

未来生物气候变量和模拟当前生物气候的 19 个生物气候变量都来源于美国国家大气研究中心开发的全球环流模式,及 CCSM4(社区气候系统模式 v. 4. 0),由大气研究中心(美国科罗拉多州)研发。在政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次气候评估报告中,建立了 4 种代表性浓度通路,分别为 RCP 2. 6、RCP 4. 5、RCP 6 和 RCP 8. 5,分别代表了 2100 年相对于工业化前的总放射性强迫值+2. 6、+4. 5、+6. 0 W/m<sup>2</sup> 和+8. 5 W/m<sup>2</sup> 的全部可能范围。本研究分别采用 2050 年和 2070 年的 RCP 4. 5 和 RCP 8. 5 2 种气候情景模式进行未来适生区分布预测。为了保证生态位模型在时间序列的可比性,其余环境因子(GDD、SPH、SC、FRS、WET、VAP、Dem 和 UVB1-6)在未来潜在分布区预测中保持不变。

将所有环境变量进行重采样,统一空间分辨率为 30''(约 0. 86 km<sup>2</sup>)。由于选定的 31 个环境变量会产生多重共线性,所以采用方差膨胀因子(VIF)分析剔除相关性系数高的数据。根据 31 个环境因子,对每个分布点生物环境数据进行采样并分析,保留 VIF 值<10 的生物环境变量,确立桂花 13 个变量作为本次评估变量<sup>[19]</sup>(表 1)。

表 1 影响桂花分布的环境变量

Table 1 Environmental variables affecting the distribution of *O. fragrans*

编号	环境变量	贡献率(%)
Bio14	最干燥的月降水量/mm	62. 7
Wet	潮湿的频率	7. 0
Bio9	干旱季度的平均温度/℃	6. 6
Bio2	日平均温差/℃	4. 4
Frs	地面霜频率	4. 2
Elevation	高程/m	3. 5
Uv2	紫外线的季节性变化/(J·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	1. 8
Vap	蒸汽压/kPa	1. 7
Bio8	湿润季度的平均气温/℃	1. 7
Sph	土壤酸碱度	1. 5
Bio15	降雨量的季节性	1. 3
Bio18	最干旱季度的降雨量/mm	0. 5
Sc	土壤有机碳含量	0. 4

1.3 当前和未来适生区评估

将桂花分布点坐标和不同时期的生物环境数据导入 MaxEnt 3. 4. 3(<http://biodiversityinformatics>

[https://ics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://ics.amnh.org/open_source/maxent/))进行适生区模拟。随机选取 75% 的分布点数据作为训练集,剩余 25% 的样本用于验证模型。以二次抽样的方式重复 20 次模拟计算,最大迭代次数为 1 000 次。模拟运算结果的准确性通过绘制接受者操作特性(receiveroperating characteristic, ROC)曲线进行检验,ROC 曲线的下方面积(area under curve, AUC)反应模拟结果的准确性,AUC 值<0. 7 表明模型模拟结果的准确性较差,0. 7~0. 9 表明模型模拟结果的准确性一般,>0. 9 时表示模型模拟结果的准确性很高<sup>[20-21]</sup>。

MaxEnt 模型预测结果数据表示物种在该区域的生存概率,范围 0~1,利用 ArcGIS10. 5 软件的重分类进行等级划分,及高适生区(>0. 6)、中适生区(0. 4~0. 6)、低适生区(0. 2~0. 04)、不适生区(<0. 2)4 个等级,并统计各适生区的面积。

2 结果与分析

2.1 物种分布模型及精确性验证

基于桂花的物种分布数据和相关生物环境变量,在 MaxEnt 3. 4. 1 软件中进行了物种适生区分布模拟,桂花的 AUC 值为 0. 917(>0. 9),表明预测结果较为准确。

2.2 影响物种分布的主要环境因子

采用刀切法检验(jackknife)评估各个生物环境变量的重要性。影响桂花分布的主要环境变量分别为最干燥的月降水量(62. 7%)、潮湿频率(7%)、干旱季度的平均温度(6. 6%)、日平均温差(4. 4%)、地面霜频率(4. 2%)、高程(3. 5%)(表 1)。

根据 MaxEnt 模型给出的响应曲线图,能更为清楚地了解物种分布与环境因子之间的关系。一般认为,当物种发生概率>0. 5 时,所对应的环境因子值最适宜植物的生长。桂花生长的主要制约环境因素的变化幅度为:最干燥的月降水量 Bio14>17. 73 mm、潮湿频率 Wet>115. 81、干旱季度的平均温度 Bio9>6. 03 ℃、日平均温差 5. 8 ℃<Bio2<9. 8 ℃、地面霜频率 Frs<52. 18、高程 Elevation<529. 58 m(图 2)。

2.3 当前及不同气候情境下桂花未来适生区变化

研究发现,桂花在我国主要分布于 33°N 以南的地区,其中高适生区面积 69. 71×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,中适生区面积 67. 79×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,低适生区面积 86. 73×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,总适生区面积 224. 23×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>(表 2)。当前潜在分布区主要在我国四川、重庆、湖北、安徽、江苏、云南、贵州、湖南、江西、福建、广西、广东、台湾和海南等省份(图 1)。

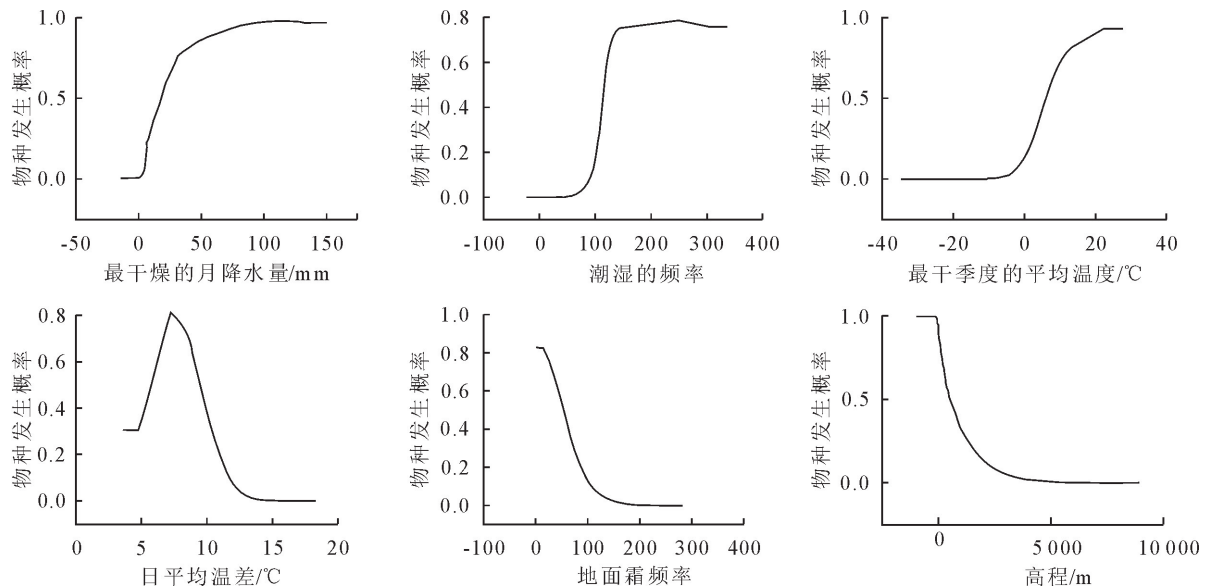


图2 桂花响应曲线

Fig. 2 Response curves of *O. fragrans*

表2 桂花不同适生区面积

Table 2 Areas of *O. fragrans* of suitable areas

年份	气候情景	高适生区	中适生区	低适生区	总计
当前		69.71	67.79	86.73	224.23
2050	RCP4.5	84.00	66.22	70.35	220.57
2070	RCP4.5	98.16	66.31	63.30	227.77
2050	RCP8.5	96.35	68.67	64.05	229.07
2070	RCP8.5	104.52	71.11	59.53	235.15

根据当前气候下的适生区分布,对未来4个不同气候情景下的适生分布做出预测,结果如图3、表2所示。未来在不同的气候情景下,适生区面积均有增加。其中RCP8.5气候情景下总适生区面积明显大于RCP4.5气候情景,可见随着温室气体排放量的增加,适生区面积随之增加。

桂花当前适生区质心点(7.740°N、111.022°E)位于湖南省西部地区(图1),在RCP4.5的气候情景下,整体质心点逐步向北偏东方向迁移,RCP4.5-2050的质心坐标为28.084°N、111.253°E,RCP4.5-2070的质心坐标为28.250°N、111.335°E。在RCP8.5的气候情景下,整体质心点相比RCP4.5,向北发生更远距离的迁移,RCP8.5-2050的质心坐标为28.290°N、111.175°E,RCP8.5-2070的质心坐标为28.373°N、111.180°E。

根据MaxEnt模型预测结果,与当前气候条件下桂花适生区分布相比,在RCP4.5-2050的气候情景下,桂花适生区在贵州、广西、海南和台湾地区的适生区面积减少 $12.76 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占当前总适生区面积的0.06%,在甘肃、陕西、河南、安徽、山东、江苏地区,适生区面积增加了 $9.10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占当前

适生区面积0.04%。与当前适生区面积相比,在RCP4.5-2070的气候情景下,新增面积 $13.75 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占当前适生区面积的0.06%,减少面积 $10.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占当前适生区面积的0.05%。

在RCP8.5气候情景下,2050年桂花适生区面积增加 $15.90 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占当前适生区面积的0.07%。辽宁南部、山东、河南等东部地区适生区面积增长显著;贵州西南等地区,适生区面积显著减少,减少了 $11.06 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占比0.05%。到2070年,与当前适生区分布相比,面积增加 $21.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占比0.10%,面积减少 $10.59 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占比0.05%。

表3 未来适生区面积变化

Table 3 Change of future suitable area

年份	气候情景	面积/ $\times 10^4 \text{ km}^2$			面积比例(%)		
		扩张	不变	减少	扩张	不变	减少
2050	RCP4.5	9.10	211.47	12.76	0.04	0.94	0.06
2070	RCP4.5	13.75	214.02	10.21	0.06	0.95	0.05
2050	RCP8.5	15.90	213.17	11.06	0.07	0.95	0.05
2070	RCP8.5	21.52	213.64	10.59	0.10	0.95	0.05

整体看来,桂花RCP4.5和RCP8.52种气候情景下,增加的适生区面积主要在我国北方地区,同时南方部分适生区减少,整体适生区向北发生迁移。同时,RCP4.5与RCP8.5相比,RCP8.5气候情景下,桂花适生区向北发生的迁移距离较远,面积变化显著,整体适生区面积增加也较多。

### 3 结论与讨论

本研究根据31个环境因子,利用MaxEnt模型模拟对桂花当前和未来的潜在分布区进行了预测。结果表明,桂花生境多处于湿润气候,在不同气候情



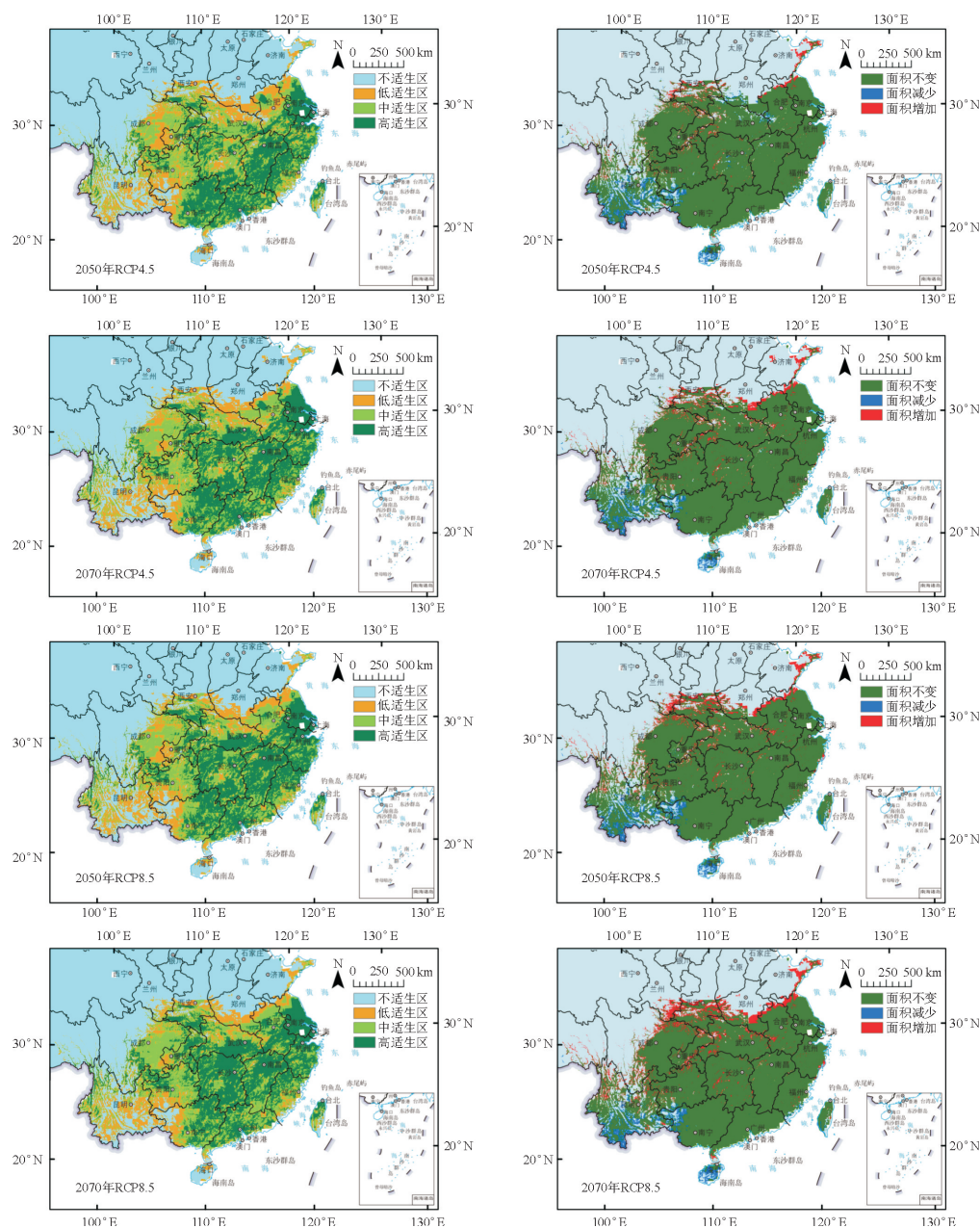


图 3 未来适生区分布及面积增减分布( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )(审图号:GS(2019)1823 底图无改动)

Fig. 3 Distribution of future suitable area and distribution of area increase and decrease ( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )

景下,桂花潜在分布区均向北偏东高纬度地区发生偏移,其中温室气体高排放情景下适生区面积变化大于低排放情景下的适生区面积。本研究结果对桂花的养护管理和资源保护策略制定具有一定的参考价值。

早期研究发现,桂花主要分布在秦岭淮河以南、南岭以北的地区<sup>[22-23]</sup>,这也与本次 MaxEnt 模型的预测结果相一致。环境因子的变化对桂花的适生区分布范围影响较大,其中,干燥季节的月降水量对桂花的适生区分布影响最大( $\text{Bio14} > 17.73 \text{ mm}$ ,占比 62.7%),这可能与桂花喜欢温暖湿润的生长习性相关,同时桂花生境处于亚热带季风气候,全年湿润,夏季炎热冬季温和,其适生区范围内制约环境因素的变化幅度也与其地理气候条件呈高度一致<sup>[24]</sup>。

MaxEnt 模型预测结果表明,气候变化会影响桂花的适生区分布。在 RCP4.5 和 RCP8.5 的气候情景模式下,桂花的生境在未来有所扩张,主要发生在我国华北地区,同时我国以南地区适生区范围发生缩减,尤其在西南地区(贵州省、云南省)适生区面积显著减少,出现适生区斑块破碎化的风险,这也可能由于丘陵地区局部小气候环境差异大,造成的物种因气候变化差异发生分离,这些潜在的变化未来值得更深入研究和探讨。随着温室气体排放量的增加,桂花适生区面积随之增加,向高纬度迁移的距离也会越远。

政府间气候变化专门委员会 IPCC 第六次评估报告指出,人为影响已经使得大气、海洋、陆地增

暖<sup>[25]</sup>。因为政策因素、人为影响,未来还是不可估计的,模型中不同气候情景下桂花适宜区域分布的推测结果,还要依据未来温室气体排放量的情况而定。

#### 参考文献:

- [1] BERTHEL N, SCHWORER C, TINNE W. Impact of holocene climate changes on alpine and treeline vegetation at Sanetsch Pass, Bernese Alps, Switzerland[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2012, 174: 91-100.
- [2] QIN H, DONG G, ZHANG Y B, et al. Patterns of species and phylogenetic diversity of *Pinus tabulaeformis* forests in the Eastern Loess Plateau, China[J]. Forest Ecology and Management, 2017, 394: 42-51.
- [3] POUNDS J A, BUSTAMANTE M R, COLOMA L A, et al. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming[J]. Nature, 2006, 439(7073): 161-167.
- [4] THUILLER W, LAVOREL S, ARAUJO M B, et al. Climate change threats to plant diversity in Europe[J]. PNAS, 2005, 102(23): 8245-8250.
- [5] FITZPATRICK M C, GOVE A D, SANDERS N J, et al. Climate change, plant migration, and range collapse in a global biodiversity hotspot: the Banksia (Proteaceae) of Western Australia[J]. Global Change Biology, 2008, 14(6): 1337-1352.
- [6] LAWLER J J, SHAFER S L, WHITE D, et al. Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere[J]. Ecology, 2009, 90(3): 588-597.
- [7] REISINGER A, PACHAURI R K. Climate change 2007: synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment[J]. Speculum, 2007.
- [8] 陈文德, 朱坤, 姚文文, 等. 基于 MaxEnt 模型和 GIS 空间技术对大熊猫在岷山地区的时空变化分析及预测[J]. 西北林学院学报, 36(4): 182-190.  
CHEN W D, ZHU K, YAO W W, et al. Analysis and prediction of temporal and apatial changes of gaint pandas in the area of Minshan montains based on MaxEnt model and GIS spatial technology[J]. Journal of Northwest Forestry University, 36(4): 182-190. (in Chinese)
- [9] 牛若恺, 高润红, 侯艳青, 等. 气候变化下沙冬青适宜分布区预测[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(1): 102-107.  
NIU R K, GAO R H, HOU Y Q, et al. Prediction of the geographic distribution of *Ammopiptanthus mongolicus* under climate change[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(1): 102-107. (in Chinese)
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [11] 赵宏波, 郝日明, 胡绍庆. 中国野生桂花的地理分布和种群特征[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1760-1770.  
ZHAO H B, HAO R M, HU S Q. Geographic distribution and population characteristics of *Osmanthus fragrans* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(9): 1760-1770. (in Chinese)
- [12] 宋晓芳, 范宝磊, 曾祥玲, 等. HPLC-MS/MS 法同时测定不同桂花品种中 7 个多酚类活性成分的含量[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(10): 1811-1820.  
SONG X F, FAN B L, ZENG X L, et al. Simultaneous determination of seven active polyphenols in different *Osmanthus fragrans* cultivars by HPLC-MS/MS [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2019, 39(10): 1811-1820. (in Chinese)
- [13] 臧德奎, 向其柏, 刘玉莲. 木犀属品种分类研究[J]. 林业科学, 2006(5): 17-21.  
ZHANG D K, XIANG Q B, LIU Y L. Notes on cultivar classification in *Osmanthus* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006(5): 17-21. (in Chinese)
- [14] 李梅. 桂花种质资源遗传多样性研究及品种鉴定[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [15] 吴子贵. 园林植物桂花野生种群大小结构与空间分布格局特征[J]. 南方林业科学, 2014, 42(6): 57-60.  
WU Z G. The size structure and spatial distribution of wild *Osmanthus fragrans* population as landscape plant[J]. South China Forestry Science, 2014, 42(6): 57-60. (in Chinese)
- [16] GUO Y L, LI X, ZHAO Z F, et al. Prediction of the potential geographic distribution of the ectomycorrhizal mushroom *Tricholoma matsutake* under multiple climate change scenarios[J]. Scientific Report, 2017, 7: 46221.
- [17] XU W, JIN J W, CHENG J M. Predicting the potential geographic distribution and habitat suitability of two economic forest trees on the Loess Plateau, China[J]. Forests, 2021, 12(6): 15.
- [18] BECKMANN M, Václavík T, MANCEUR A M, et al. glUV: a global UV-B radiation data set for macroecological studies[J]. Methods in Ecology & Evolution, 2014, 5: 372-383.
- [19] LI J J, FAN G, HE Y. Predicting the current and future distribution of three coptis herbs in China under climate change conditions, using the MaxEnt model and chemical analysis[J/OL]. Science of the Total Environment, 2020, 698: 134141.
- [20] LOBO J M, JIMENEZ-VALVERDE A, REAL R. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models[J]. Global Ecology and Biogeography, 2008, 17(2): 145-151.
- [21] SANCHEZ-MERCADO A Y, FERRER J R. Mapping species distributions: spatial inference and prediction[J]. Spatial Inference and Prediction, 2011, 86(3): 219-220.
- [22] 郝日明, 赵宏波, 王金虎, 等. 野生桂花繁育系统的观察和研究[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(1): 17-24.  
HAO R M, ZHAO H B, WANG J H, et al. Observation and study on breeding system of wild *Osmanthus fragrans* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2011, 20(1): 17-24. (in Chinese)
- [23] 雷瑞虎, 喻勋林, 王莉青. 中国野生桂花群落研究现状[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2337-2337.  
LEI R H, YU X L, WANG L Q. Research on the introduction of *Osmanthus fragrans* community in China [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(6): 2337-2337. (in Chinese)
- [24] 季春峰. 云南木犀属(木犀科)一新名称[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2013, 37(2): 177.  
JI C F. A new name of *Osmanthus* (Oleaceae) from Yunnan [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2013, 37(2): 177. (in Chinese)
- [25] 周波涛. 全球气候变暖: 浅谈 AR5 到 AR6 的认知进展[J]. 大气科学学报, 2021, (1674-7097).