

# Suitable Habitats Prediction of *Coptis chinensis* under Climate Change Based on MaxEnt

Jian Wang, Dandan Zeng, Kai Fan, Jie Song, Xumei Wang\*

School of Pharmacy, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi  
Email: wangxumei@xjtu.edu.cn

Received: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2017; accepted: Dec. 4<sup>th</sup>, 2017; published: Dec. 13<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

Maximum entropy (MaxEnt) modeling and varieties of climate change scenarios were employed to predict the current and future distribution patterns of *Coptis chinensis* under climate change in China. Results showed that the resultant models exhibited excellent predictive power. The current suitable habitats for *C. chinensis* totaled  $131.08 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, accounting for 13.65% of the total area of China, and 79.89% of its current suitable habitats would be relatively lowly impacted by the climate change. Compared with its current distribution pattern, its distribution ranges and lowly suitable regions during 2020s, 2030s, 2040s, 2050, 2060s, 2070s and 2080s would be shrunk to some extent, while moderate habitats would increase to some extent, and high suitable habitats would fluctuate. In conclusion, climate change affects both the total area and the habitat suitability of *C. chinensis*.

## Keywords

*Coptis chinensis*, Potential Distribution, MaxEnt Modelling, Ecological Factors

# 气候变化背景下基于最大熵模型(MaxEnt)预测黄连的适生区分布

王 健, 曾丹丹, 樊 凯, 宋 杰, 王戌梅\*

西安交通大学, 药学院, 陕西 西安  
Email: wangxumei@xjtu.edu.cn

收稿日期: 2017年11月23日; 录用日期: 2017年12月4日; 发布日期: 2017年12月13日

\*通讯作者。

文章引用: 王健, 曾丹丹, 樊凯, 宋杰, 王戌梅. 气候变化背景下基于最大熵模型(MaxEnt)预测黄连的适生区分布[J]. 植物学研究, 2018, 7(1): 7-14. DOI: 10.12677/br.2018.71002

## 摘要

采用最大熵模型及多种气候变化场景, 预测黄连在气候变化背景下的当代及未来适生区分布格局。结果表明黄连分布模型具有极佳的预测精度。黄连当代适生区总面积为 $131.08 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占中国版图的13.65%; 其中, 当代适生区79.89%的区域为相对稳定适生区, 受气候变化影响相对较小。在气候变化背景下, 相较于当代, 其在21世纪20、30、40、50、60、70和80年代的适生区总面积及低度适生区总面积均有不同程度的减少, 中度适生区总面积均有不同程度增加, 高度适生区总面积呈现明显的波动趋势。气候变化不仅影响黄连适生区总面积, 也会影响黄连的生境适宜度。

## 关键词

黄连, 潜在分布, 最大熵模型, 生态因子

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

黄连(*Coptis chinensis* Franch.)为毛茛科(Ranunculaceae)黄连属(*Coptis*)的多年生草本植物, 其干燥的根茎入药即为中药黄连。黄连最早记载于战国至东汉时期的《神农本草经》, 并列为上品, 是我国传统的中药材。黄连具有清热燥湿、泻火解毒等功效[1]。根茎中含有各种异喹啉类生物碱, 其中小檗碱为黄连主要成分, 含量约占5%~8% [2] [3] [4]。现代药理学研究表明, 黄连还具有抗菌抗病毒、改善糖尿病、抗心脑血管疾病、抗肿瘤等作用[5] [6] [7] [8]。黄连主要分布在我国四川、重庆、湖北、湖南、贵州及陕西等地海拔1200~1800 m的山谷密林之中[9]。因长期过度采挖及生态环境的破坏等因素影响, 本种的野生资源已处于濒临灭绝的边缘, 在中国珍稀濒危保护植物名录中被列为国家三级渐危保护植物[10]。

最大熵(Maximum Entropy, MaxEnt)模型是Jaynes在1957年首次提出[11], 2004年被应用于物种潜在分布区预测[12]。近年来在药用植物资源保护及生态学等研究领域都有最大熵模型的广泛应用[13] [14] [15] [16]。Maxent具有预测结果准确, 即使物种分布数据信息及分布区的环境变量不完整, 也能对物种的潜在分布区进行精准的预测。该模型的稳定性好, 并且预测的结果与物种的实际分布基本吻合(平均AUC值最大)。因此在对濒危药用植物的潜在分布区预测和入侵物种的潜在扩散区域预测方面得到广泛的应用[14] [16]。本研究基于大量文献和标本采集记录, 结合当代气候数据和4种气候变化场景, 采用MaxEnt预测黄连在中国境内的当代和未来7个年代的适生区分布格局, 旨在为黄连的保护、可持续开发利用以及黄连的人工种植产业提供有益的参考资料, 同时又可为其它药材适生区的预测和保护提供有意义的参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 经纬度分布数据的采集

本研究基于大量文献资料的采集记录、标本信息和实际调查数据, 共收集和整理黄连分布点142个, 基本覆盖已知分布范围。分布数据主要来源包括: 文献数据库(中国知网、Springer及ScienceDirect等)

中收录的相关研究文献、中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.org.cn/cms>)及野外实地调查。部分分布记录只有地点描述,而未提供经纬度坐标数据。在此情况下,经纬度坐标的获取借助 Google Earth v7.0 软件(<http://earth.google.com/>)来完成。

## 2.2. 气候变量的获取与筛选

对于当代(1950~2000年)气候数据从 WorldClim 网站(<http://www.worldclim.org>)下载。未来7个年代(21世纪20、30、40、50、60、70及80年代)的气候数据从 CCAFS 网(<http://www.ccafs-climate.org/>)下载;每个年代均涉及4种大气环流模型(CNRM-CM3、CSIRO-MK3.0、MIROC 3.2 & ECHam5) [17]及3种气候变化场景(IPCC4 A1B、A2 & B1)共12套气候模拟数据。上述数据均采用2.5 arc-minutes的空间分辨率,每个栅格单元大致相当25 Km<sup>2</sup>。

将下载的气候数据导入 DIVA-GIS v7.5 软件(<http://www.diva-gis.org/>),处理生成模型分析所需的19个生物气候变量(BIO01~BIO19),用于最终的模型构建;分析地模型范围定为东经73.25°E~135.25°E,北纬17.83°N~53.71°N。

## 2.3. 最大熵模型的构建

将分布数据和各个年代对应的生物气候变量导入 MaxEnt v3.4.1 软件([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)) [18],通过采用刀切法(Do jackknife)来评估不同生态因子在影响黄连生长中所占的不同权重,再选中制作响应曲线(Create response curves)选项得到各生态因子不同的响应曲线,利用 ROC 曲线(受试者工作特征曲线)下的面积(AUC 值)的大小来评价模型预测的准确性。AUC 评估标准为:0.50~0.60,预测结果不可接受;0.60~0.70,预测结果勉强可以接受;0.70~0.80,预测结果为一般,可以接受;0.80~0.90,预测结果良好;0.90~1.00 预测结果极佳[19]。

## 2.4. 适生区分布预测

将运算结果导入 DIVA-GIS v7.5 软件,采用中国地图制作的图层蒙版,将分析范围限于中国版图之内。该软件也被用于各种后续分析和计算(包括适生区面积的计算)。对于当代分布预测,采用 MaxEnt v3.4.1 软件自动生成的阈值(0.2421),将连续的概率分布图转换成1/0(适生/非适生)二元分布图。此外,在上述阈值和1之间自然划分三等分,分别对应低度、中度和高度适生区。

对应4种大气环流模型及3种气候变化场景,每个未来年代均得到12张连续的概率分布图。采用上述阈值,将12张概率分布图批处理转换成1/0(适生/非适生)二元分布图;首先12张二元分布图以加法运算方式相叠加,得到栅格图层,同时12张原始连续概率分布图以取算术平均值方式相叠加,得到单一图层;将前两步得到的两个图层以乘法运算方式相叠加,得到最终的二元分布图。将各未来年代预测的适生区自然划分成低度、中度和高度适生区。将当代及7个未来年代的二元适生区分布图,以取最小值的运算方式进行叠加,得到相对稳定适生区分布图。

## 3. 结果

### 3.1. MaxEnt 模型评价及适生区等级划分

本研究得到的平均训练 AUC 值(Mean training AUC)和平均测试 AUC 值(Mean test AUC)分别为  $0.9678 \pm 0.0036$  和  $0.9599 \pm 0.0147$ ,均表明模型具有极佳的预测精度。

基于 MaxEnt v3.4.1 自动生成的 Equal Training Sensitivity Specificity Threshold 阈值(0.2421),将黄连植物适生区划分为以下几个级:1) 0~0.2421 非适生区;2) 0.2421~0.4947 低度适生区;3) 0.4947~0.7474 中度适生区;4) 0.7474~1 高度适生区。

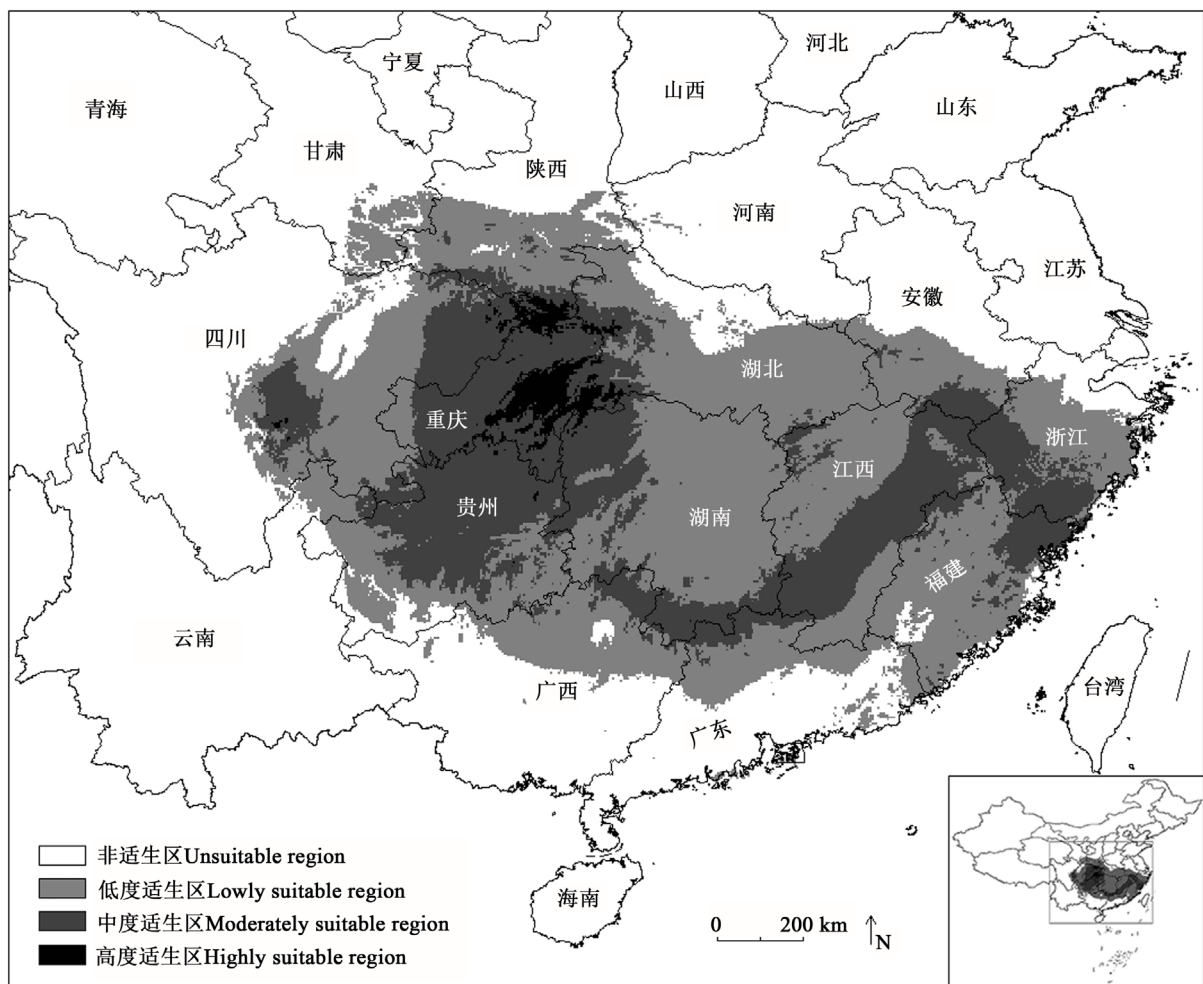
### 3.2. 黄连的当代适生区分布

黄连的当代适生区分布基本涵盖其目前已知实际分布区域(图 1)。黄连当代适生区总面积为  $131.08 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占中国版图的 13.65%，包括了四川、重庆、甘肃、陕西、湖北、湖南、贵州及江西等地。其中，高度适生区面积为  $3.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占适生区总面积的 3.20%，主要集中于重庆；中度适生区面积和低度适生区面积分别为  $45.06 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $82.82 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，分别占适生区总面积的 34.38% 和 63.18%，分布区主要集中在四川东部、贵州北部、秦岭巴山区及长江中下游地区。

### 3.3. 气候变化背景下适生区及相对稳定适生区预测

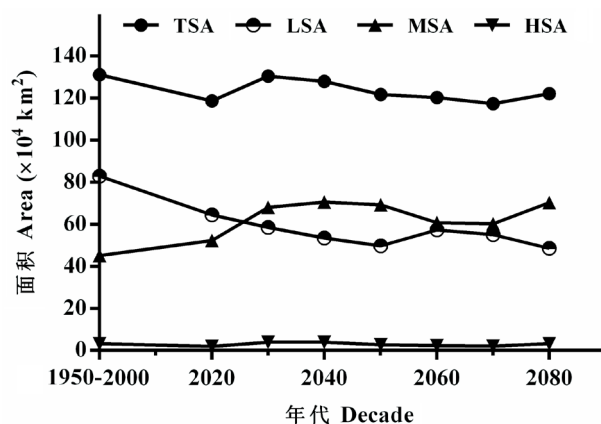
在气候变化背景下，本研究对黄连未来 7 个年代(2020s, 2030s, 2040s, 2050s, 2060s, 2070s, 2080s)的适生区分布格局进行了预测(图 2 和图 3)。发现与当前适生区分布格局相比较，黄连未来适生区总面积将有不同程度减小。其中，低度适生区总面积均有不同程度的减少，中度适生区总面积均有不同程度增加，高度适生区总面积呈现明显的波动趋势。

在未来 7 个年代，黄连总适生区面积将有不同程度减少并维持在当前水平的 89.55% ( $117.39 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 2050s)~99.52% ( $130.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 2020s)区间内。21 世纪 80 年代，低度适生区面积将减少至最小，是



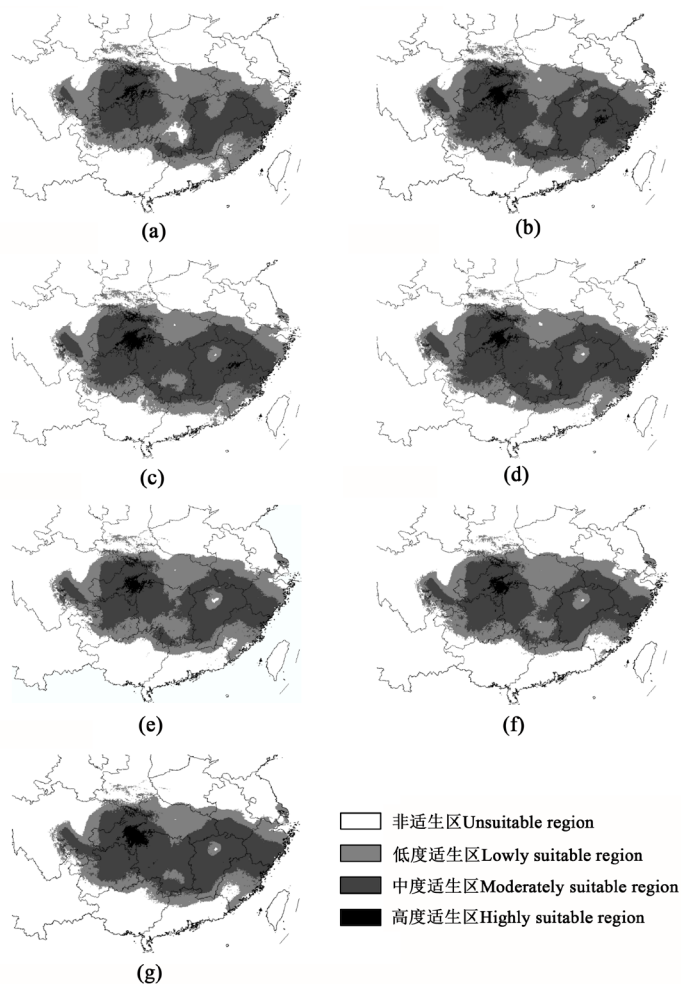
**Figure 1.** Predicted distribution map for *Coptis chinensis* under the current climate condition (1950-2000)

**图 1.** 黄连在当代(1950~2000)气候条件下的潜在适生区预测



**Figure 2.** Predicted changes in the areas of suitable regions for *Coptis chinensis* under climate change scenarios. Note: TSA, LSA, MSA and HSA denote the areas of total, lowly, moderately and highly suitable regions, respectively

**图 2.** 气候变化背景下黄连适生区面积变化预测。注：TSA、LSA、MSA 和 HSA 分别表示总适生区、低度适生区、中度适生区和高度适生区面积



**Figure 3.** Projection of future suitable habitats for *Coptis chinensis* under climate change scenarios. (a) 2020s; (b) 2030s; (c) 2040s; (d) 2050s; (e) 2060s; (f) 2070s; (g) 2080s

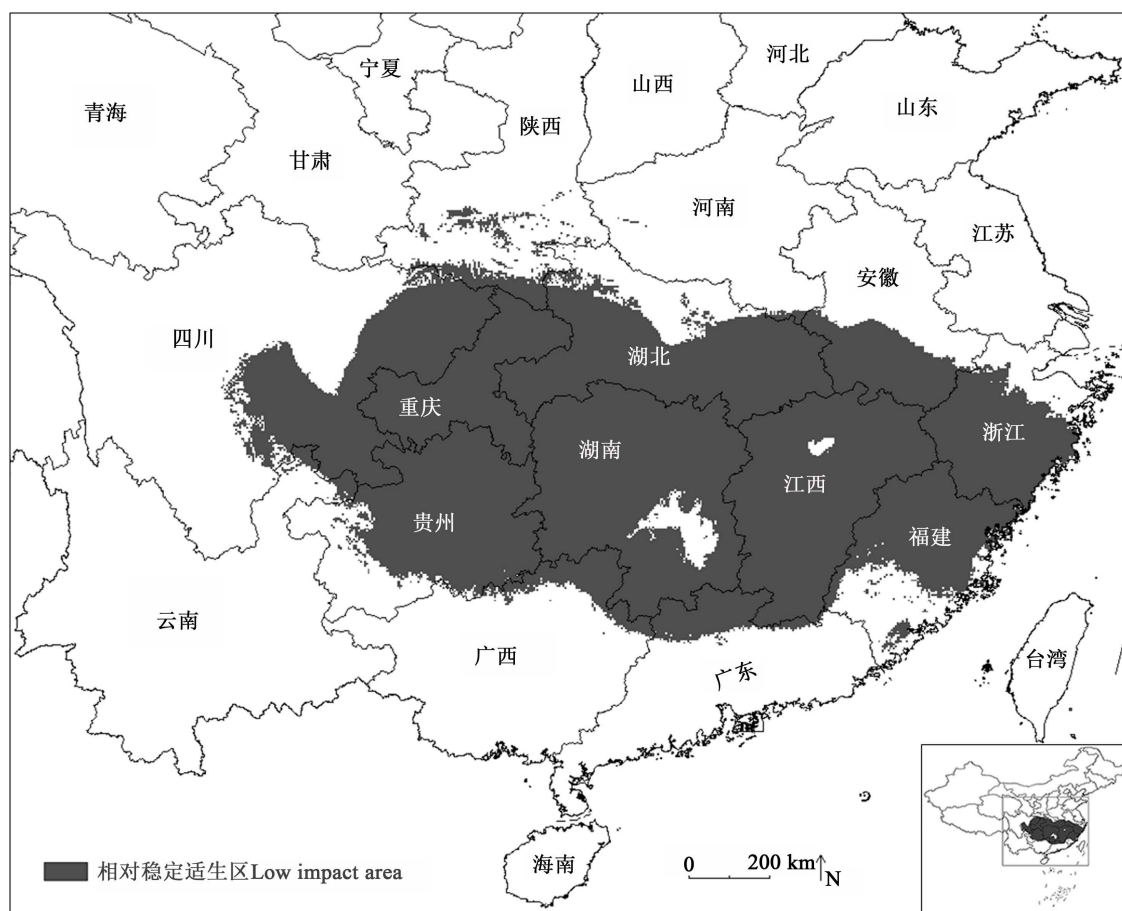
**图 3.** 未来气候变化背景下黄连潜在适生区预测。(a) 2020s; (b) 2030s; (c) 2040s; (d) 2050s; (e) 2060s; (f) 2070s; (g) 2080s

当前水平的 58.61%。中度适生区面积较当前均有不同幅度的增加，增加的幅度在 15.90%~56.63%之间。而未来高度适生区面积变化趋势比较明显，其中 21 世纪 70 年代的减幅最大，仅为当前面积的 65.89%，21 世纪 30 年代的增幅最大，为当前面积的 122.13%。

黄连相对稳定适生区主要集中重庆、湖北、湖南、贵州、江西、安徽、福建和浙江等地。另外，在陕西、广东、广西等地也有少量的分布(图 4)，面积为  $104.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占其当代适生区总面积的 79.89%。

#### 4. 讨论

最大熵模型是以最大熵理论为基础的物种地理尺度空间分布模型，在濒危药用植物及其他经济价值物种的适生区预测、入侵生物潜在分布区预测以及气候变化对物种分布影响的预测等方面有广泛的应用[20]。随着温室气体排放的不断增加，全球气候变暖的现象将会愈加明显，系统分析并把握气候变化对物种分布格局的影响一直是生物多样性研究的热点问题。近年来随着 MaxEnt 模型在生物地理研究中广泛应用，极大推动了气候变化对物种分布影响的预测。它能够直观地提供物种在不同时期的分布情况，再通过全面对比即可得出不同物种对气候变化的反馈模式，对寻找其保护及可持续开发利用有重要的意义。本研究中，模型预测结果的曲线下面积(AUC)的平均训练 AUC 值和平均测试 AUC 值分别为  $0.9678 \pm 0.0036$  和  $0.9599 \pm 0.0147$ ，同时适生区等级的划分也基本符合黄连目前在我国的分布现状，因此本研究结果具有极佳的预测精度和参考价值。



**Figure 4.** Prediction of low impact areas (LIAs) for *Coptis chinensis* under climate change scenarios

**图 4.** 气候变化情景下黄连相对稳定适生区预测

黄连的当代高度适生区主要分布于重庆东部,这与上述地区作为传统中药黄连主产区的现状一致[21][22]。在气候变化背景下,相较于当代适生区,未来年代适生区总面积及低度适生区总面积均有不同程度的减少,中度适生区总面积均有不同程度增加,高度适生区总面积呈现明显的波动趋势。这表明气候变化对黄连分布的负面影响主要体现在对其适生区总面积和低度适生区总面积上。

当代适生区 79.89%的区域(即相对稳定适生区)受到气候变化的影响相对较弱(图 4),可以把这些地区作为黄连的规模化种植基地。其余受气候变化影响显著的当代适生区,可以作为未来黄连种质资源调查和收集的优先区域,以便尽可能地保护好这一珍贵的药用植物资源。

尽管 MaxEnt 模型是近年来预测物种分布变化最常用的模型,较其它物种分布预测模型而言,具有很好的预测效果,但是自身仍存在一定的局限性。除了通常考虑的气候因素之外,物种分布还受其他因素制约,诸如自身适应能力、物种间作用、人类的活动、地形外貌特征以及其它的影响因子等,如果把影响物种分布的各类因子全部综合考虑起来,黄连的总适生区和低度适生区面积减小幅度可能会加大,中度和高度适生区面积增加幅度可能会减小。虽然引进更多的变量或综合型预测模型可以更加准确地预估黄连未来分布格局变化趋势,但是在现有的技术条件下,还没有更好的模拟方法,这也是未来亟待突破的问题。因此,基于 MaxEnt 模型及多种气候变化场景,预测黄连适生区分布格局及变迁,对寻找黄连未来适生区及可持续开发利用仍具有重要的参考价值。

## 基金项目

中央高校基本科研业务费专项资金(xjj2014142)。

## 参考文献 (References)

- [1] 国家药典委员会. 中国药典: 2015 年版: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 303-305.
- [2] 晁若冰, 张浩, 庄燕黎, 李晓芳. 高效液相色谱法测定黄连药材中小檗碱型生物碱的含量[J]. 药物分析杂志, 2003, 23(5): 354-357.
- [3] 匡艳辉, 朱晶晶, 王智民, 张启伟. 一测多评法测定黄连中小檗碱、巴马汀、黄连碱、表小檗碱、药根碱含量[J]. 中国药理学杂志, 2009, 44(5): 390-394.
- [4] Migas, P., Heyka, M., Poblócka-Olech, L. and Krauze-Baranowska, M. (2012) BMD-TLC—The Useful Technique for Quantitative Analysis of Chelidone, Chelidone and Berberine in Herbal Drugs. *Journal of Planar Chromatography-Modern TLC*, **25**, 439-444. <https://doi.org/10.1556/JPC.25.2012.5.9>
- [5] 叶菲, 申竹芳, 谢明智. 中药黄连及其复方对实验动物血糖的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 1999(3): 23-26.
- [6] 方青, 詹小萍, 莫剑翎, 孙梅. 黄连解毒汤对 AD 大鼠的治疗作用及对细胞因子含量的影响[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(6): 575-578.
- [7] 魏长志, 李莉. 五味香连丸体外抗菌实验[J]. 中国医院药学杂志, 2006, 26(3): 278-280.
- [8] 沙素梅, 张永国, 徐斌, 王红红, 孔祥云, 吴开春. 盐酸小檗碱对人胃癌细胞增殖和凋亡的影响[J]. 现代肿瘤医学, 2011, 19(4): 629-633.
- [9] 胡安徽. 从本草著作看黄连产地的分布变迁[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(7): 2453-2456.
- [10] 国家环境保护局. 中国珍稀濒危保护植物名录[M]. 科学出版社, 1987: 45-79.
- [11] Jaynes, E.T. (1957) Information Theory and Statistical Mechanics. *Physics Review*, **106**, 620-630. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>
- [12] Phillips, S.J., Dudík, M. and Schapire, R.E. (2004) A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, Banff, Alberta, 4-8 July 2004, 655-622. <https://doi.org/10.1145/1015330.1015412>
- [13] 孙洪兵, 孙辉, 蒋舜媛, 周毅, 曹文龙, 纪明昌, 朱文涛, 严寒静. 基于 3S 技术的羌活区划研究 I. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的羌活生长适宜性分析及评价[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(5): 853-862.
- [14] 周云, 李延, 王戌梅. 气候变化背景下中药大黄原植物的适生区分布预测[J]. 中药材, 2015, 38(3): 467-472.

- [15] 车乐, 曹博, 白成科, 王娟娟, 张琳琳. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 对太白米的潜在分布预测及适宜性评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1623-1628.
- [16] 徐军, 曹博, 白成科. 基于 MaxEnt 濒危植物独叶草的中国潜在适生分布区预测[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3354-3359.
- [17] Ribes, A., Azañs, J.M. and Planton, S. (2011) A Method for Regional Climate Change Detection Using Smooth Temporal Patterns. *Climate Dynamics*, **35**, 391-406.
- [18] Bowler, M.G. (2014) Species Abundance Distributions, Statistical Mechanics and the Priors of MaxEnt. *Theoretical Population Biology*, **92**, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2013.12.002>
- [19] Araújo, M.B., Pearson, R.G., Thuiller, W. and Erhard, M. (2005) Validation of Species Climate Impact Models under Climate Change. *Global Change Biology*, **11**, 1504-1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>
- [20] 张路. MAXENT 最大熵模型在预测物种潜在分布范围方面的应用[J]. 生物学通报, 2015, 50(11): 9-12.
- [21] 赵楠, 李隆云, 白志川. 中药材黄连的研究现状与展望[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2015, 29(1): 53-58.
- [22] 赵宝林, 刘学医. 黄连道地药材的形成和分化模式[J]. 中华医史杂志, 2013, 43(1): 26-29.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [br@hanspub.org](mailto:br@hanspub.org)