

# 基于 MaxEnt 模型的新疆红枣生态适宜性与区划分析

李曦光<sup>1</sup>, 王蕾<sup>1</sup>, 刘平<sup>1</sup>, 罗磊<sup>1</sup>, 侯晓臣<sup>1</sup>, 邱琴<sup>2</sup>

(1. 新疆林业科学院现代林业研究所, 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆农业大学计算机与信息工程学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**【目的】结合种植区资源分布现状, 利用最大熵模型(MaxEnt)预测新疆红枣潜在适生区, 为新疆红枣区域布局和种植结构调整提供有效的理论指导和依据。【方法】以年降水量、花期降水量(5~6月)、成熟期降水量(9~10月)、年有效积温( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ )、年极端最低气温和平均气温6个气候因子和绿洲灌溉区、沙漠敏感区2个土地因子及高程因子为环境变量, 利用GIS空间分析技术获取新疆红枣地理分布数据, 采用MaxEnt模型进行建模并预测新疆红枣潜在适生区, 使用百分比贡献率分析其主要环境因子及生态位参数。【结果】(1) ROC评价(Receiver Operating Characteristic, ROC)显示MaxEnt模型预测新疆红枣潜在适生区的训练数据集和测试数据集的AUC值分别为0.921和0.904, 模拟效果优秀。(2)新疆红枣潜在适生区总面积 $2\,365.939\,7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 其中最适生区 $429.350\,1 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 主要分布于新疆南疆的喀什地区、阿克苏地区、和田地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和巴音郭楞蒙古自治州, 东疆的吐鲁番市、哈密市。(3)影响新疆红枣生长的主要环境因子是年极端最低气温(35.15%)、绿洲灌溉区(20.77%)、年有效积温(19%)和成熟期降水量(13.27%)。新疆红枣适宜生长在年极端最低气温 $\geq -24.65^{\circ}\text{C}$ , 年有效积温 $\geq 3\,595^{\circ}\text{C}$ , 成熟期降水量为 $0.54 \sim 7.64 \text{ mm}$ , 且绿洲灌溉区有助于提高其适生程度。【结论】新疆红枣潜在适生区呈现环塔里木盆地聚集, 低温是其最主要的影响因子。

**关键词:** 红枣; 最大熵模型; 潜在适生区; 环境因子

**中图分类号:** S665.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4330(2020)10-1785-07

## 0 引言

【研究意义】红枣(*Zizyphus jujuba*), 又名中华大枣、枣、华枣, 是鼠李科(*Rhamnaceae*)枣属植物的果实<sup>[1]</sup>, 是集药用、食用、保健三大功能为一体的果中珍品<sup>[2]</sup>, 主要分布于山东、河北、山西、陕西、河南、新疆等地。新疆红枣具有含糖量高、糖酸比大等优点, 果实品质显著优于其他省区<sup>[3-4]</sup>。近年来, 新疆红枣种植面积和产量不断增长, 2017年底种植面积 $47.625 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 产量达 $347.011\,4 \times 10^4 \text{ t}$ , 位居全国前列<sup>[5]</sup>。但冻害、低温冷害等愈加频繁, 严重影响了新疆红枣的产量

和品质的提高<sup>[6]</sup>。通过结合红枣种植区资源分布现状, 利用最大熵模型(MaxEnt)和聚类分析法预测新疆红枣生态适宜性, 对指导新疆红枣区域布局和种植结构调整具有重要的实际意义。【前人研究进展】目前用于物种潜在适生区预测的模型有BIOCLIM(bioclimatic modeling)、Domain(domain environmental envelope)、CLIMEX(climate change experiment)、GARP(genetic algorithm)和MaxEnt(maximum entropy)等<sup>[7]</sup>, 其中最大熵模型(MaxEnt)预测结果较其它模型预测结果精确度更高, 效果最好<sup>[8]</sup>。MaxEnt模型由Jaynes于1957年提出<sup>[9]</sup>, 已被应用于包括细叶小羽藓(*Haplocla-*

收稿日期(Received): 2020-01-20

基金项目: 自治区公益性科研院所基本科研业务经费(ky2018060)

作者简介: 李曦光(1989-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 助理研究员, 研究方向为数字林业, (E-mail)79733357@qq.com

通信作者: 罗磊(1981-), 女, 河北南皮人, 副研究员, 博士, 研究方向为森林生态, (E-mail)23799341@qq.com

*dium microphyllum*)<sup>[10]</sup>、春飞蓬(*Erigeron philadelphicus*)<sup>[11]</sup>、裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)<sup>[12]</sup>、细辛(*Asarum sieboldii*)<sup>[13]</sup>、朱鹮(*Nipponia nippon*)<sup>[14]</sup>、红棕蚘(*Raoiella indica*)<sup>[15]</sup>、章鱼(*Octopus vulgaris*)<sup>[16]</sup>等多个物种的适生区研究。该模型是在已知约束条件下对未知事物不作任何假设,得到熵值最大的概率分布,根据熵最大时的状态参数确定物种和环境关系来估计物种的分布,具有较高的预测准确度<sup>[17]</sup>。【本研究切入点】目前,关于新疆红枣的研究多集中于栽培与环境变量的关系、种植区气候区划等<sup>[18-20]</sup>,关于其适生区的研究由于采用传统构建指标体系的方法<sup>[21]</sup>,导致其研究结果受主观因素影响较大。利用最大熵模型(MaxEnt)和聚类分析法预测新疆红枣生态适宜性与区划,对地方经济林合理布局种植红枣具有重要的影响。【拟解决的关键问题】采用多种手段获取模型输入的分布数据和环境变量数据,利用 MaxEnt 模型和聚类分析法模拟和预测新疆红枣生态适宜性,区划适生区,分析影响新疆红枣的主要环境因子及其生态位参数,为新疆红枣区域布局和种植结构调整提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

新疆红枣实际分布点数据来源于新疆特色林果资源实地调查数据,利用 ArcGIS 软件的生成随机点工具于各红枣小班内随机生成 1~2 个随机点,将该随机点作为新疆红枣的实际分布点并提取其经纬度。

环境变量数据包括:(1)气候数据来源于中国气象数据网的新疆 54 个气象站 2010~2013 年的逐日地面观测数据,经统计整理后利用 ANUSPLIN 插值软件处理后所得,包括年降水量、花期降水量(5~6 月)、成熟期降水量(9~10 月)、年有效积温( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ )、年极端最低气温、年平均气温。(2)地形数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)的 SRTMDEM 90 m 分辨率原始高程数据。(3)土地调查数据(绿洲灌溉区和沙漠化敏感性数据)来源于新疆第 3 次荒漠化土地监测数据。利用 ArcGIS 软件将所有环境变量的图层统一边界,坐标系统统一为 GCS-WGS-1984,并转化成 MaxEnt 软件所要求的 ASCII 格

式的文件。

新疆行政区划数据来源于国家基础地理信息系统网站,地址为 <http://nfgis.nsd.gov.cn>。

### 1.2 方 法

利用 MaxEnt 软件,从新疆红枣实际分布点中随机选择 25% 的分布点作为测试集,75% 的分布点作为训练集,采用刀切法(Jackknife method)测定各环境变量的百分比贡献率,并创建环境变量响应曲线,模型的其余参数均选择默认值,分析结果以 ASCII 格式输出。根据最大熵原理,确定适生区阈值,将新疆红枣适生区划分成适生区和非适生区 2 个等级。再通过 MaxEnt 软件输出的累积预测值和适生概率,利用聚类分析法将适生区进一步划分成低适生区、较适生区、最适生区 3 个等级,最终确定新疆红枣的适生区区划。

MaxEnt 模型采用受试者工作特征曲线 ROC (Receiver Operating Characteristic, ROC) 对适生区分析结果进行精度评估,ROC 曲线以假阳性率为横坐标,真阳性率为纵坐标,曲线与横坐标所围成的面积值为 AUC (Area Under Curve, AUC)。AUC 值在 0.5~0.6 为不及格;0.6~0.7 为较差;0.7~0.8 为一般;0.8~0.9 为良好;0.9~1.0 为优秀<sup>[22]</sup>。

### 1.3 数 据 处 理

在 MaxEnt 模型的基础上采用聚类分析法,在 SPSS 中,利用 K-均值聚类工具。研究表明,年极端最低气温、绿洲灌溉区、年有效积温、成熟期降水量是影响新疆红枣潜在适生区分布的主要环境因子。环境变量对 MaxEnt 模型的贡献率说明,年极端最低气温(35.15%)、绿洲灌溉区(20.77%)、年有效积温(19%)、成熟期降水量(13.27%)的累积贡献率达 88.19%,对新疆红枣潜在种植区分布具有重要影响;其余因子的影响率较小,贡献值由大到小排序依次为沙漠敏感区域、花期降水量、年降水量、年平均气温和高程,其中年均气温(0.69%)和高程(0.07%)贡献率小于 1%,对新疆红枣潜在适生区的分布基本无影响。

## 2 结 果 与 分 析

### 2.1 MaxEnt 模型预测效果评价

研究表明,训练和测试两套数据集的 ROC 曲

线均远离随机分布模型的 ROC 曲线,曲线下所占的面积大,AUC 值分别为 0.921 和 0.904,MaxEnt 模型对红枣适生区阈值预测效果优秀,红枣适生区阈值为 0.297 2,将新疆红枣适生区划分成 2 个等级,适生概率 $\leq 0.297 2$ 为不适生区,适生概率 $> 0.297 2$ 为适生区。图 1

2.2 建立适宜性综合评价等级

将适生概率大于 0.297 2 的数据分成三类。研究表明,SIG $\leq 0.05$ ,1、2、3 组之间存在显著差异。表 1,表 2

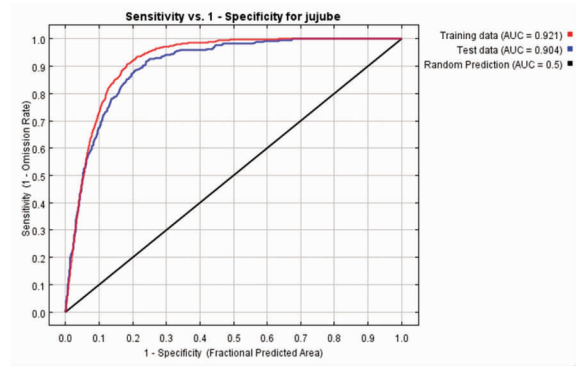


图 1 MaxEnt 模型的 ROC 曲线

Fig. 1 The ROC curve of MaxEnt model

表 1 最终聚类中心

Table 1 Final cluster center

	1	2	3
累积预测值 Cumulative prediction	31.003 055 38	57.271 457 26	84.503 105 85
适生概率 Cloglog prediction	0.487 017 512	0.789 474 421	0.943 150 541

表 2 方差分析

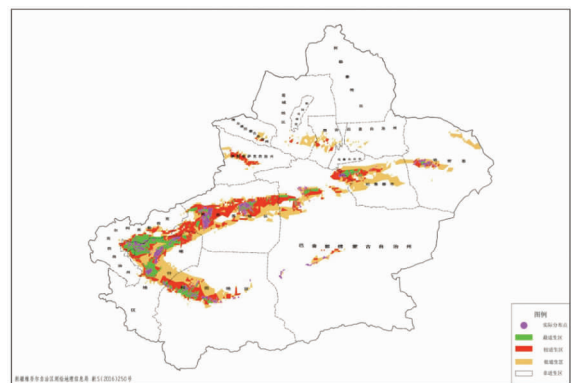
Table 2 ANOVA

	聚类		误差		F	显著性
	均方	自由度	均方	自由度		
累积预测值 Cumulative prediction	215 537.060	2	62.078	977	3 472.061	0.000
适生概率 Cloglog prediction	16.540	2	.005	977	3 199.764	0.000

研究表明,新疆红枣适宜性综合评价等级分为  $P \leq 0.297 2$  为不适生区, $0.297 2 < P \leq 0.487 0$  为低适生区, $0.487 0 < P \leq 0.789 5$  为较适生区, $P > 0.789 5$  为最适生区。

2.3 新疆红枣潜在分布区分析

研究表明,新疆红枣潜在适生区总面积为  $2 365.939 7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中,最适生区面积  $429.350 1 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,主要分布在新疆南疆喀什地区、阿克苏地区、和田地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和巴音郭楞蒙古自治州,东疆的吐鲁番市、哈密市。较适生区总面积  $846.096 0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,主要位于高适生区周边,集中于南疆各地区,新疆东南部的巴音郭楞蒙古自治州,以及北疆的昌吉、伊犁、塔城和博州部分地区等地。低适生区面积  $1 090.493 6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,分布范围较为广泛,主要位于高适生区和较适生区周边区域。将 MaxEnt 模型预测的新疆红枣适生区分布与实际分布点进行比较,其记录分布点多分布于高适生区和较适生区。图 2,表 3



注:该图采用的行政边界来自新疆维吾尔自治区测绘地理信息局网站 <http://www.xjch.gov.cn/>

Note: The administrative boundary used in the map is from the website of Xinjiang Uygur Autonomous Region Surveying and Mapping Geographic Information Bureau <http://www.xjch.gov.cn/>

图 2 新疆红枣潜在适生区分布

Fig. 2 Distribution map of potential suitable areas about Xinjiang jujube

表 3 新疆红枣潜在种植区分地区统计

Table 3 Statistics of suitable areas of Xinjiang jujube by the region

地区 Region	最适生区面积 Optimum suitable areas (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	较适生区面积 Relatively better suitable areas (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	低适生区面积 Low suitable areas (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )
喀什地区 Kashgar Prefecture	211.135 4	151.443 7	151.722 3
阿克苏地区 Aksu Prefecture	74.719 2	290.490 1	160.174 3
和田地区 Hetian Prefecture	66.679 4	143.952 6	216.665 1
克孜勒苏柯尔克孜自治州 Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture	26.698 2	22.253 9	26.053 4
吐鲁番市 Turpan City	22.704 2	70.332 4	162.940 3
巴音郭楞蒙古自治州 Bayingolng Mongolian Autonomous Prefecture	22.237 8	101.023 9	161.019 3
哈密市 Hami City	5.175 9	17.254 3	101.235 8
伊犁哈萨克自治州 Yili Kazakh Autonomous Prefecture	-	32.933 8	25.965 4
昌吉回族自治州 Changji Hui Autonomous Prefecture	-	7.550 2	39.488 2
塔城地区 Tacheng Prefecture	-	2.531 9	28.812 0
博尔塔拉蒙古自治州 Bortala Mongolian Autonomous Prefecture	-	3.113 1	12.253 9
乌鲁木齐市 Urumqi City	-	3.214 5	4.163 6
克拉玛依市 Karamay City	-	0.001 6	-
总计 Total	429.350 1	846.096 0	1 090.493 6

### 2.3 主导环境因子

影响新疆红枣潜在适生区分布的主要环境因子可划分为两大类型:(1)可量化环境变量,包括年极端最低气温、绿洲灌溉区、年有效积温、成熟期降水量;(2)非量化环境变量,即绿洲灌溉区。针对可量化环境变量,根据其响应曲线可判断新疆红枣存在概率与环境变量的关系,以分布值

0.297 2 为阈值,可提取新疆红枣主要环境因子变化范围。年极端最低气温 $\geq -24.65^{\circ}\text{C}$ ,年积温低于 $\geq 3 595^{\circ}\text{C}$ ,成熟期降水量在 0.54 ~ 7.64 mm。新疆红枣适生性较高区域多分布于绿洲灌溉区及其周边区域,绿洲灌溉区对于新疆红枣适生性的提高具有显著作用。图 3

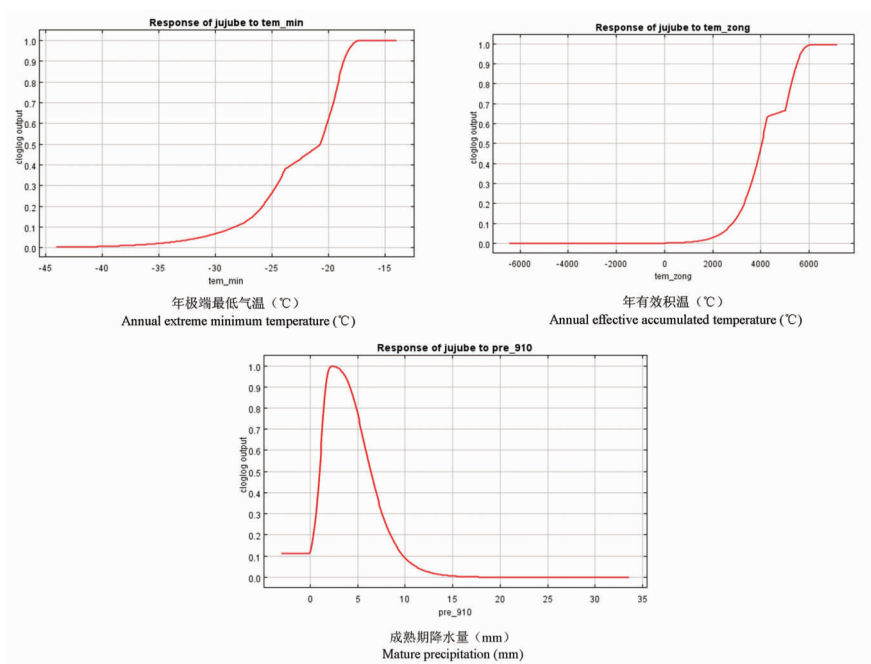


图 3 主导环境因子响应曲线

Fig. 3 Response curve of dominant environmental factors



### 3 讨论

年极端最低气温、绿洲灌溉区、年有效积温、成熟期降水量等 4 个因子在影响新疆红枣潜在分布的总贡献率高达 88.19%,是影响新疆红枣潜在分布的主导环境变量,其适宜取值区间为年极端最低气温  $\geq -24.65^{\circ}\text{C}$ ,年有效积温  $\geq 3595^{\circ}\text{C}$ ,成熟期降水量为 0.54 ~ 7.64 mm,绿洲灌溉区有利于新疆红枣适生程度的提高。年极端最低气温的贡献率 35.15%,是影响新疆红枣适生性的最重要的环境因子,主要是由于低温直接影响新疆红枣能否安全过冬,引起新疆红枣冻害,影响枣树正常开花授粉、坐果和果实发育、成熟,周丽等<sup>[21]</sup>在研究新疆红枣优生区气候特征时指出冬季极端低温及其持续时间是影响新疆红枣生长的重要限制因子,与研究的分析结果一致。绿洲灌溉区和年有效积温是影响新疆红枣分布的次要因子,绿洲灌溉区得益于高山冰川融水的灌溉,可满足枣树生长、结果对土壤水分的需求,进而保证枣树在干旱环境下的水分供应;年有效积温是反映光照强度和热量的重要指标,红枣是喜光和热的植物,光照强度、时间和热量直接影响光合作用,进而对红枣生长产生影响,因此,年有效积温成为其重要影响因子之一。另外,降水量,尤其是成熟期降水量也是影响新疆红枣适生性的重要因素,主要是由于枣果着色转红期遇到雨、露会造成裂果、烂果,严重影响枣品质量。

### 4 结论

4.1 MaxEnt 模型和聚类分析法较好的预测了新疆红枣的潜在适生区分布,通过 AUC 参数评估,新疆红枣训练集的 AUC 值为 0.921,测试集的为 0.904,模型预测结果达到优秀水平( $0.9 \leq \text{AUC} < 1.0$ ),其具有较高的准确性,对于新疆红枣区域布局和种植结构调整具有重要的参考价值和指导意义。

4.2 红枣在新疆的适生区呈现环塔里木盆地聚集。研究预测的适生区面积远远小于张山清等<sup>[20]</sup>的研究结果,其主要原因是张山清<sup>[20]</sup>等在预测新疆红枣适宜种植区时仅考虑了气候因素的影响,忽略了绿洲灌溉和沙漠化敏感性对新疆红枣适生区分布的影响,研究综合考虑影响新疆红

枣分布的气候因素及绿洲灌溉区、沙漠分布等环境要素的影响。研究预测的红枣最适生区分布范围与周丽等<sup>[21]</sup>的研究结果基本一致,大面积栽植红枣时,可参考此结果进行区域布局。

4.3 研究分析了气温、降雨、土地利用状况等环境因子对新疆红枣种植的影响情况,未考虑土壤性质<sup>[4,23]</sup>、气候变暖等其他环境因子的影响。在对新疆红枣生态适宜性的区划分析过程中继续通过研究其他环境因素进行区划,发挥该区域内的特色林果业的经济优势。

### 参考文献 (References)

- [1] 王军,张宝善,陈锦屏. 红枣营养成分及其功能的研究[J]. 食品研究与开发,2003,24(2):68-72.  
WANG Jun, ZHANG Baoshan, CHEN Jinping. Research on nutritional components and functions of red jujubes [J]. *Food Research and Development*, 2003, 24 (2):68-72.
- [2] 刘润平. 红枣的营养价值及其保健作用[J]. 中国食物与营养,2009,(12):50-52.  
LIU Runping. Nutritional value and health function of red date [J]. *Food and Nutrition in China*, 2009, (12):50-52.
- [3] 张萍,史彦江,宋锋惠,等. 南疆灰枣主要营养成分性状的变异及相关性研究[J]. 果树学报,2011,28(1):77-81.  
ZHANG Ping, SHI Yanjiang, SONG Fenghui, et al. Investigation on variation and correlation of the main nutrition quality traits of *Ziziphus Jujuba* cv. Huizao from south of Xinjiang [J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28 (1):77-81.
- [4] 宋锋惠,哈德尔·依沙克,史彦江,等. 新疆塔里木盆地骏枣果实营养与土壤养分相关性分析[J]. 果树学报,2010,27(4):626-630.  
SONG Fenghui, HadierYishake, SHI Yanjiang, et al. Correlation analysis between soil nutrient and fruit quality of *Ziziphus Jujuba* cv. Junzao in Tarim Basin of Xinjiang [J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27 (4):626-630.
- [5] 新疆维吾尔自治区统计局,国家统计局新疆调查总队. 新疆统计年鉴[J]. 北京:中国统计出版社,2018:358-359.  
Statistics Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, National Bureau of Investigation Corps in Xinjiang. *Xinjiang Statistical Yearbook* [J]. Beijing: China Statistics Press, 2018: 358-359.
- [6] 李俊杰,刘志友,吴忠华. 塔里木垦区二年生红枣冻害原因分析及预防措施[J]. 新疆林业,2012,(1):28-29.  
LI Junjie, LIU Zhiyou, WU Zhonghua. Analysis of causes of frost damage of biennial red date and preventive measures in Tarim reclamation area [J]. *Forestry of Xinjiang*, 2012, (1):28-29.
- [7] 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.

- XU Jun, CAO Bo, BAI Chengke. Prediction of potential suitable distribution of endangered plant *Kingdonia uniflora* in China with MaxEnt [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(12): 3354 - 3359.
- [8] Warren D L, Seifert S N. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria [J]. *Ecological Applications*, 2011, 21(2): 335 - 342.
- [9] Jaynes E T. Information theory and statistical mechanics [J]. *Biophys Review*, 1957, 106(4): 620 - 630.
- [10] 毛俐慧, 李垚, 刘畅, 等. 基于 MaxEnt 模型预测细叶小羽藓在中国的潜在分布区 [J]. *生态学杂志*, 2017, 36(1): 54 - 60.  
MAO Lihui, LI Yao, LIU Chang, et al. Prediction of potential distribution of *Haplocladium microphyllum* in China based on MaxEnt model [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(1): 54 - 60.
- [11] 张颖, 李君, 林蔚, 等. 基于最大熵生态位元模型的入侵杂草春飞蓬在中国潜在分布区的预测 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2970 - 2976.  
ZHANG Ying, LI Jun, LIN Wei, et al. Prediction of potential distribution area of *Erigeron philadelphicus* in China based on MaxEnt model [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(11): 2970 - 2976.
- [12] 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.  
MA Songmei, ZHANG Mingli, ZHANG Hongxiang, et al. Predicting potential geographical distributions and patterns of the relic plant *Gymnocarpos przewalskii* using Maximum Entropy and Genetic Algorithm for Rule - set Prediction [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(11): 1327 - 1335.
- [13] 景鹏飞, 武坤毅, 龚晔, 等. 药用植物细辛在中国的潜在适生区分布 [J]. *植物分类与资源学报*, 2015, 37(3): 349 - 356.  
JING Pengfei, WU Kunyi, GONG Ye, et al. Prediction of potential geological distribution of *Asarum* in China by MaxEnt Model [J]. *Plant Diversity and Resources*, 2015, 37(3): 349 - 356.
- [14] 张慧, 高吉喜, 马孟泉, 等. 基于 MaxEnt 模型的道路对朱鹮繁殖地的影响 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28(4): 1352 - 1359.  
ZHANG Hui, GAO Jixi, MA Mengxiao, et al. Influence of road on breeding habitat of *Nipponia nippon* based on MaxEnt model [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(4): 1352 - 1359.
- [15] Amaro G, de Moraes E G. Potential geographical distribution of the red palm mite in South America [J]. *Experimental & Applied Acarology*, 2013, 60(3): 343 - 355.
- [16] Hermosilla C, Rocha F, Valavanis V D. Assessing *Octopus vulgaris* distribution using presence - only model methods [J]. *Hydrobiologia*, 2011, 670(1): 35 - 47.
- [17] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3 - 4): 231 - 259.
- [18] 李占林. 新疆枣树栽培与环境变量的关系 [A]. 中国园艺学会干果分会、中共阿克苏地委、阿克苏地区行署、新疆自治区林业厅. 第五届全国干果生产、科研进展学术研讨会论文集 [C]. 中国园艺学会干果分会、中共阿克苏地委、阿克苏地区行署、新疆自治区林业厅, 2007: 3.  
LI Zhanlin. Relationship between jujube cultivation and environmental variables in Xinjiang [A]. China Horticultural Society Dried Fruit Branch, CPC Aksu Committee, Aksu Regional Office, Forestry Department of Xinjiang Autonomous Region. Proceedings of the 5th National Symposium on Dried Fruit Production and Scientific Research [C]. China Horticultural Society Dried Fruit Branch, CPC Aksu Committee, Aksu Regional Office, Forestry Department of Xinjiang Autonomous Region. 2007: 3.
- [19] 李占林, 王新河, 肖小威. 新疆栽培枣树有利的气候条件 [J]. *落叶果树*, 2006, (1): 18 - 19.  
LI Zhanlin, WANG Xinhe, XIAO Xiaowei. Favorable climatic conditions for cultivating jujube trees in Xinjiang [J]. *Deciduous Fruits*, 2006, (1): 18 - 19.
- [20] 张山清, 普宗朝, 李景林, 等. 气候变化对新疆红枣种植气候区划的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(6): 713 - 721.  
ZHANG Shanqing, PU Zongchao, LI Jinglin, et al. Impact of climate change on the division of jujube planting zones in Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Eco - Agriculture*, 2014, 22(6): 713 - 721.
- [21] 周丽, 杨伟志, 王长柱, 等. 新疆红枣优生区研究 [J]. *果树学报*, 2015, 32(3): 453 - 459, 522.  
ZHOU Li, YANG Weizhi, WANG Changzhu, et al. Superior production region of Chinese jujube in Xinjiang [J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(3): 453 - 459, 522.
- [22] Brotons L, Thuiller W, Araújo M B, et al. Presence - absence vs presence - only modelling methods for predicting bird habitat suitability [J]. *Ecography*, 2004, 27(4): 437 - 448.
- [23] 付明鑫, 张磊, 曾胜河, 等. 新疆兵团农田土壤的钾素养分管理 [J]. *新疆农业科学*, 2010, 47(2): 340 - 344.  
FU Mingxin, ZHANG Lei, ZENG Shenghe, et al. The management of soil potassium nutrient in Xinjiang Production and Construction Corps [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2010, 47(2): 340 - 344.

## Study on Ecological Suitability and Regionalization of Xinjiang Jujube Based on MaxEnt Model

LI Xiguang<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, LIU Ping<sup>1</sup>, LUO Lei<sup>1</sup>, HOU Xiaochen<sup>2</sup>, QIU Qin<sup>2</sup>

(1. Institute of Modern Forestry, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830000, China; 2. College of Computer and Information Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** **[Objective]** Combined with the current situation of resource allocation in the planting area, the maximum entropy (MaxEnt) model was used to predict the potential suitable area of Xinjiang jujube in the hope of providing effective theoretical guidance and basis for the regional layout and planting structure adjustment of Xinjiang jujube. **[Methods]** Six climatic factors, including annual precipitation, flowering precipitation (May – June), mature precipitation (September – October), annual effective accumulated temperature ( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ), annual extreme minimum temperature and average temperature, and two land factors, including oasis irrigation areas and desert sensitive areas, and elevation, had been taken as environmental variables. Geographical distribution data of Xinjiang jujube had been acquired by GIS spatial analysis technology. MaxEnt model was used to model and predict the potential suitable areas for Xinjiang jujube. The main environmental factors and niche parameters were analyzed by percentage contribution rate. **[Results]** (1) ROC evaluation showed that the AUC values of training data set and testing data set for predicting the potential suitable areas of Xinjiang jujube by MaxEnt model were 0.921 and 0.904 respectively, indicating that the simulation effect was excellent. (2) The total potential suitable areas of jujube in Xinjiang were 23.659 3 million  $\text{hm}^2$ . Among them, the most suitable areas were 4.293 5 million  $\text{hm}^2$ , which were mainly distributed in Kashgar Prefecture, Aksu Prefecture, Hetian Prefecture, Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture and Bayingolung Mongolian Autonomous Prefecture of Southern Xinjiang, Turpan City and Hami City of East Xinjiang. (3) The main environmental factors affecting the growth of jujube in Xinjiang were annual minimum temperature (35.15%), oasis irrigation areas (20.77%), annual effective accumulated temperature (19%) and mature precipitation (13.27%). Xinjiang jujube was suitable to grow in the extreme minimum annual temperature which was greater than or equal to  $-24.65^{\circ}\text{C}$ , annual effective accumulated temperature was greater than or equal to  $35.95^{\circ}\text{C}$ , mature precipitation was 0.54 – 7.64 mm, and oasis irrigation areas could help to improve its suitability. **[Conclusion]** The potential suitable areas of jujube in Xinjiang shows accumulation around Tarim Basin, and the low temperature was the main influencing factor.

**Key words:** jujube; maximum entropy model; potential suitable areas; environmental factors

---

**Fund project:** Supported by Basic Scientific R & D Program of Public Welfare Research Institutions of Autonomous Region of China (ky2018060)

**Correspondence author:** LUO Lei (1981 –), female, native place: Nanpi, Hebei. Associate Research Fellow, research field: Forest Ecology. (E-mail) 462556168@qq.com