

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 分布对气候变化的响应及其种植适宜性

赵泽芳^{1ab}, 卫海燕^{1a}, 郭彦龙², 赵泽斌²,
庞国锦², 马媛^{2,3}, 顾蔚^{1bc}

(1. 陕西师范大学 a. 旅游与环境学院, b. 西北濒危药材资源开发国家工程实验室, c. 生命科学学院 陕西 西安 710119;
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 兰州大学, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 基于生态位理论与 MaxEnt 模型, 分析影响黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 分布的主要气候因子, 划分其适宜种植区, 并探究气候变化对黑果枸杞种植适宜性的影响, 进而为引种驯化黑果枸杞提供理论依据和技术支持。结果表明: (1) 影响黑果枸杞种植分布的主要因子为最热季降水量、温度年较差、年平均气温、最冷季平均温度、降水量的季节性变化、最湿月降水量、最干季平均温度、年降水量及海拔。(2) 在当前气候情景下, 黑果枸杞的适宜种植区面积约为 207 382.8 km², 主要分布在河西走廊及其周边、柴达木盆地、塔里木盆地、准格尔盆地、吐鲁番盆地。(3) 在未来不同的温室气体排放情景下, 黑果枸杞的适宜种植面积均有不同幅度的扩大, 但不受气候变化影响的黑果枸杞适宜种植区面积将逐渐减小。

关键词: 黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*); 气候变化; MaxEnt 模型; 种植适宜性

文章编号: 1000-694X(2017)05-0902-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00099

中图分类号: Q948.2

文献标志码: A

0 引言

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 为多年生茄科灌木, 有耐盐、抗旱特性, 主要分布于中国西北荒漠区, 常见于路旁、田边、沙地、盐碱地和荒地, 对盐渍土壤适应性很强, 为防风固沙的重要植物^[1-2]。黑果枸杞是中国西北地区少数民族药用植物, 《维吾尔药志》《四部医典》《晶珠本草》等多部民族医药经典著作中均有记载。黑果枸杞具有明目、降压、降低胆固醇等作用, 维医用于治疗尿道结石、癣疥、齿龈出血等, 藏医用于治疗心热病、心脏病等复杂疾病且药效显著^[3-5]。随着人们对养生和健康重视度的不断提升, 黑果枸杞作为药食同源的植物受到世界的广泛关注^[5-7]。黑果枸杞的有效成分为花青素类天然色素、甜菜碱等^[6]。由于黑果枸杞中蕴藏巨大经济价值, 其市场需求量巨大, 但黑果枸杞在国内尚缺乏大规模的人工种植产业基地, 市场供应量十分有限。野生黑果枸杞资源是市场的主要货源, 造成在黑果枸杞的传统产区野生资源受到掠夺性开采, 其野生居群的规模以及分布区域正在迅速减小。目前, 黑

果枸杞的研究主要涉及其有效成分含量测定以及提取方法、遗传多样性、药理药效等相关领域^[7-10], 而针对黑果枸杞的适宜种植范围未被研究。

全球气候变化对中国西北干旱区域地理环境造成影响, 进而会影响到对黑果枸杞的地理分布。预测地理环境要素变化对该物种的适宜性分布影响, 有利于对其保护和资源可持续利用。本研究基于大量文献和标本采集记录, 应用生态位理论与 Max-Ent 模型分析黑果枸杞适宜种植区分布与地理环境要素关系, 预测当前气候变化情形下黑果枸杞的种植适宜性, 并利用该模型预测基于 RCP 2.6、RCP 4.5、RCP 6.0、RCP 8.5 气候场景下 2041—2060 年和 2061—2080 年黑果枸杞的适宜种植范围, 为黑果枸杞适宜种植区域提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 黑果枸杞已知分布点位数据

本研究主要通过以下途径确定黑果枸杞种群分布点位数据。①从中国数字植物标本馆 (<http://>

收稿日期: 2016-05-18; 改回日期: 2016-06-29

资助项目: 国家自然科学基金项目 (31070293)

作者简介: 赵泽芳 (1992—), 女, 陕西商洛人, 硕士研究生, 主要从事地图学与生态建模研究。E-mail: lh_zzf_nn@snnu.edu.cn

通信作者: 卫海燕 (E-mail: weihy@snnu.edu.cn); 顾蔚 (E-mail: weigu@snnu.edu.cn)

www.cvh.org.cn/)收集 493 个黑果枸杞的采样点信息;②从国家科技部教学标本资源共享平台(<http://mnh.scu.edu.cn/index/>)获得 906 个黑果枸杞采样点信息;③从中国科学院新疆生态与地理研究所生物标本馆中收集 113 个黑果枸杞标本信息;④查询文献数据库(中国知网、Springer、Wiley Inter-Science、ScienceDirect 等)收录的相关研究文献^[6-7,10-16],共获得 91 个采样点。共获得黑果枸杞采样点 1 603 个,去除重复并剔除 2000 年以前的采样点以及没有确定地理信息的采样点,最后获得参与建模的采样点共 138 个。统计显示这些采样点主要分布在河西走廊地区、黑河流域、柴达木盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地、吐鲁番盆地、伊犁河流域(图 1)。

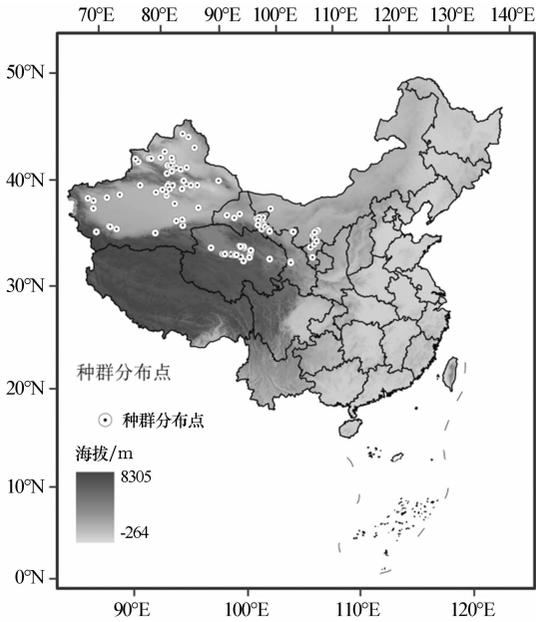


图 1 黑果枸杞种群分布点的地理位置

Fig. 1 Geographic locations of *Lycium ruthenicum* populations distribution

1.2 气候环境数据

环境图层数据来自世界气候数据库(WORLDCLIM version 1.4, <http://www.worldclim.org>),其中基准气候情景数据是基于 1950—2000 年全球有记录的气象站点观测数据,利用克里金插值法生成气候环境数据,其分辨率为 1 km² (30'')^[17]。未来气候环境数据的科学假设来自于 2013 年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第一工作组(WGI)第五次评估报告(AR5)发布的新一代排放情景,即“典型浓度目标”(RCP)^[18-19],RCP 包括 RCP 2.6(最低温室气体排放情景)、RCP 4.5(中等温室气体排放情景)、RCP 6.0(较高温室气体排放情景)

和 RCP 8.5(最高温室气体排放情景)。与前人研究采用的排放情景(SRES)相比,RCPs 情景更加详细考虑了应对气候变化的各种策略对未来温室气体排放的影响,使未来气候变化的预估结果更具科学性。本文选取研究区的 4 种 RCP,2 个时间段的未来气候数据参与建模,其分辨率为 1 km² (30'');并选取 22 个可表征研究区特征的气候与环境图层数据(表 1),其中包括 19 个对物种分布有重要影响的生物气候变量^[20-21],以及 3 个地形因子数据。地形因子数据中海拔源于世界气候数据库,同时基于海拔数据可得到坡度、坡向数据。

表 1 黑果枸杞潜在地理分布评价所需的地理环境要素指标

Table 1 Geographical elements index used for predicting potential geographic distribution of *Lycium ruthenicum*

地理环境指标	数据简称	描述
气候因子	Bio1	年平均气温
	Bio2	平均日较差
	Bio3	等温性
	Bio4	温度季节性变动系数
	Bio5	最热月的最高温度
	Bio6	最冷月的最低温度
	Bio7	温度年较差
	Bio8	最湿季平均温度
	Bio9	最干季平均温度
	Bio10	最热季平均温度
	Bio11	最冷季平均温度
	Bio12	年降水量
	Bio13	最湿月降水量
	Bio14	最干月降水量
	Bio15	降水量的季节性变化
	Bio16	最湿季降水量
	Bio17	最干季降水量
	Bio18	最热季降水量
	Bio19	最冷季降水量
地形因子	ASL	海拔
	SLOP	坡度
	ASPE	坡向

1.3 MaxEnt 模型与运行

物种分布模型(SDM)是当前评估气候变化对物种分布影响的主要方法,近年来 SDM 被广泛应

用于未来气候变化情景下生物多样性缺失、生物入侵风险、土地利用变化、濒危物种管理与保护等的研究^[22]。目前,SDM中MaxEnt普适性强,认可度高,技术成熟且研究证明MaxEnt模型在即使分布点较少的情况下仍可取得较满意的效果。MaxEnt模型应用为物种潜在地理分布提供了重要的定量化工具,通过物种已知分布点的数据和环境数据找出其生存概率分布的最大熵,从而对物种的分布进行估计和预测,已被广泛应用于药材、鸟类、哺乳动物等物种潜在分布区预测^[22-26]。

本研究采用MaxEnt 3.3.3版本,70%分布点数据作为训练集,与地理环境要素组合建模,对模型进行训练;30%分布点数据作为测试集,用于预测结果的精度评估。采用接受者操作特性曲线(ROC)分析法进行模型精度检验,通过AUC值(取值范围[0,1])来呈现模型的效果。MaxEnt模型数据输出格式为ASC图层,其每个栅格的值代表黑果枸杞在该区内的适生性,取值范围为[0,1],应用ArcGIS10.1对模型结果作进一步处理分析。

2 结果分析

2.1 影响黑果枸杞种植潜在分布的主导气候因子

本文共选取22个影响因子,借助MaxEnt模型对黑果枸杞潜在种植区分布进行建模,MaxEnt利用迭代算法不断修正每个影响因子的系数,以此计算参与建模的22个因子的贡献率。结果表明,Bio18(最热季降水量)贡献率最高为30.3%,Bio7(温度年较差)、Bio1(年平均气温)、Bio11(最冷季平均温度)分别为14.8%、12.6%和9.4%,Bio15(降水量的季节性变化)、Bio13(最湿月降水量)、Bio9(最干季平均温度)分别为8.8%、6.3%、5.9%,Bio12(年降水量)以及ASL(海拔)分别为3.7%和2.4%,这9个因子的累积贡献率高达94.2%,基本可用于表征黑果枸杞适宜种植区的气候环境特征。为更明确黑果枸杞在当前气候环境下潜在种植区的气候环境特性并消除存在相关性的气候环境因子间的相互影响,将贡献率最高的9个因子分别导入MaxEnt模型中逐个建模,绘制相应单变量响应曲线。单变量响应曲线用于表示单个建模因子的数值变化对MaxEnt输出结果的影响,即黑果枸杞种植分布概率与主导影响因子的关系(图2),并以此为基础计算各主导影响因子的阈值(存在概率>0.3),Bio18在150mm左右,Bio7为35~47℃,Bio1为4

~13℃,Bio11为-12~-2℃,Bio15为0.98左右,Bio13为65mm左右,Bio9为-12~0℃,Bio12为20~240mm,ASL为400~3500m。这些数据基本定量地描述了黑果枸杞适宜种植区的气候环境特征。结果表明黑果枸杞适宜种植生境一般分布于干旱、盐碱的荒漠与半荒漠地区,其生境降水量少,年温差较大,这与文献记载的野生黑果枸杞的生境特征相吻合^[1-2,27-30]。

2.2 预测结果

在ArcGIS 10.1平台支持下,对MaxEnt模型输出栅格数据进行分类,参照相关研究以及模型结果数据特征^[22,25],将黑果枸杞种植适宜性等级划分为3类(图3,表3),其中评价指数低于0.30的区域为不适宜种植区域,全国大部分区域属于该等级;评价指数为0.30~0.50的栅格所在的区域为低适宜种植区域,面积为423371.2km²,主要分布在宁夏的北部、内蒙古西南部、甘肃河西走廊周边及新疆塔里木盆地的北部和西部、准噶尔盆地的外围、额尔齐斯河的周边地区等;评价指数为0.50~1.00的区域为适宜种植区域,面积为207382.8km²,为本研究重点研究区域,主要包括宁夏北部的石嘴山市,银川市以及吴忠市部分地区,甘肃省沿河西走廊的平凉、武威、张掖、嘉峪关、酒泉等地区,内蒙古阿拉善左旗西部,青海省柴达木盆地东部,以及新疆克拉玛依市的中北部、博乐市的东北部、塔城地区北部、石河子市大部、昌吉回族自治州西部、伊宁市的西北部、吐鲁番市的中部、库尔勒市北部,阿图什市东中部、阿克苏地区西部以及和田市中部的地区。预测结果显示研究区该物种适宜种植面积较小且集中分布,可见黑果枸杞生长区域狭窄,对环境要求较高,这在一定程度上加大了黑果枸杞人工种植的难度。本研究模型训练集数据和测试集数据的AUC值分别为0.971和0.959,表明模型对评价黑果枸杞潜在空间种植适宜性分布预测效果较好,精度较高^[31]。

2.3 环境要素对黑果枸杞适宜种植区分布的影响

利用MaxEnt模型以及相同的气候环境指标对气候变化影响下黑果枸杞的适宜种植区分布变化进行模拟,同时按照与上文相同的标准将研究区未来气候条件下黑果枸杞的适宜种植区按等级划分为不适宜种植区域、低适宜种植区域以及适宜种植区域,得出未来气候条件下黑果枸杞潜在适宜种植区的空间分布(图4),并计算各等级适宜生境面积。

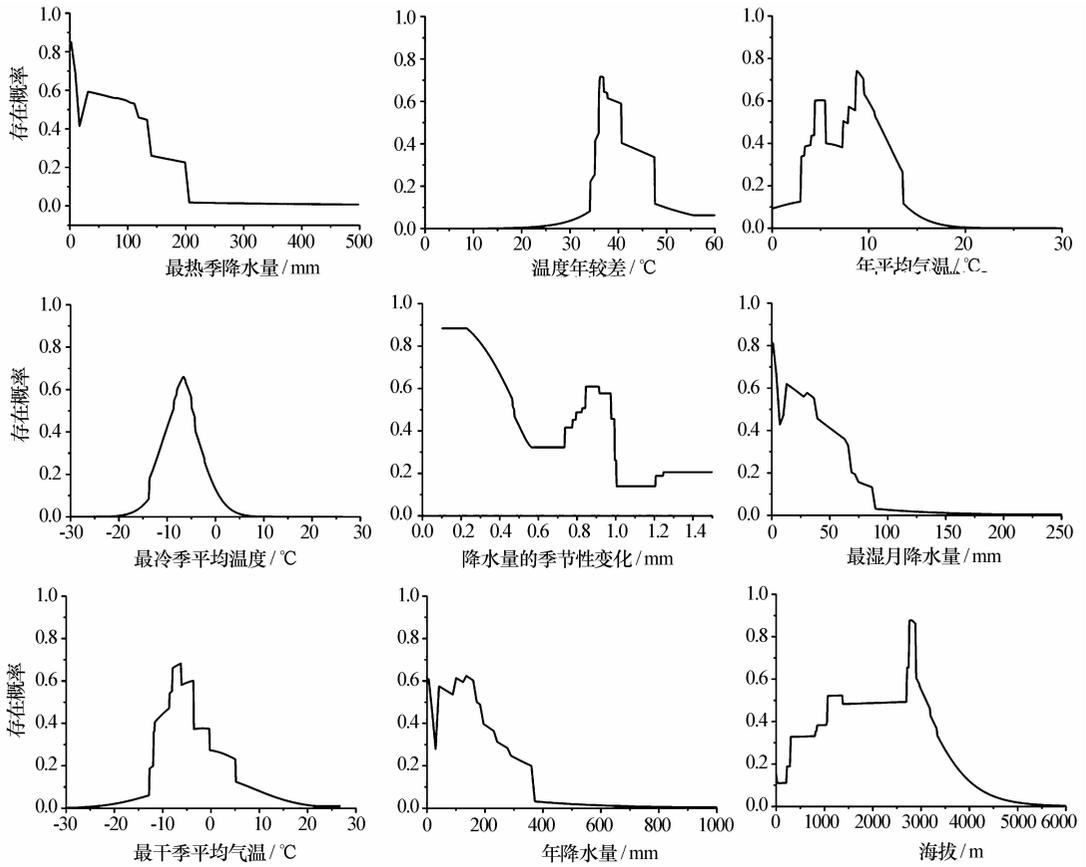


图 2 影响黑果枸杞的主导气候因子与其地理分布的概率关系

Fig. 2 Probability relationships between dominant climate factors and geographical distribution of *Lycium ruthenicum*

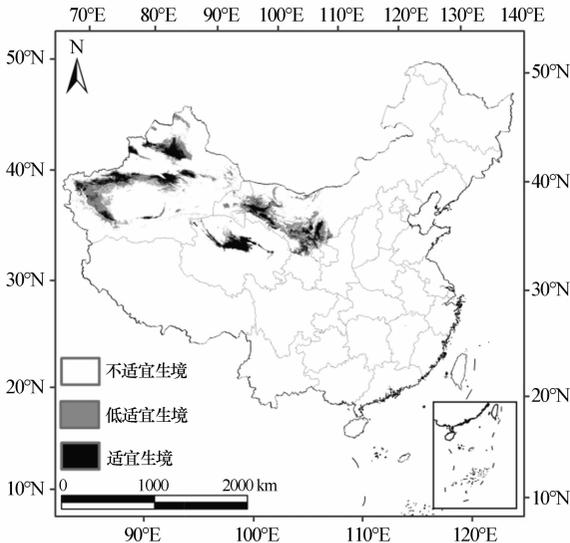


图 3 黑果枸杞潜在空间种植适宜性分布预测结果

Fig. 3 Predicted potential distribution of *Lycium ruthenicum*

模型结果表明,当前地理环境下黑果枸杞潜在适宜种植区面积为207 382.80 km²。在 RCP 2.6、RCP 4.5、RCP 6.0、RCP 8.5 四种排放情景下至 2041—2060 年,黑果枸杞适宜生境将有较大程度的增加,将分别增加至 233 291.21、315 545.12、

236 638.14、336 609.90 km²,黑果枸杞适宜种植区域面积平均增加73 138.29 km²;到 2061—2080 年黑果枸杞可种植区域将进一步增加,其中在 RCP 2.6、RCP 6.0、RCP 8.5 排放情景下,黑果枸杞可种植区域继续显著增加,分别达到 292 801.23、236 638.13、612 298.41 km²,而在 RCP 4.5 黑果枸杞可种植区域较 2041—2060 年模拟结果将有一定的减少,其面积为 253 777.54 km²。4 种排放情景下 2061—2080 年黑果枸杞的适宜生境潜在适宜种植区面积平均为 388 962.01 km²,较当前气候环境下黑果枸杞的潜在适宜种植区面积增加了 87.6%。

2.4 气候变化条件下的黑果枸杞种植区划

为进一步明确气候变化对黑果枸杞潜在适宜种植区的影响,将 MaxEnt 模型结果分析、整合,对中国西北内陆地区黑果枸杞适宜种植生境作定义分区(图 5)。不适宜种植区域是指在当前与未来不同排放情景的气候环境条件下均不适宜黑果枸杞生长的区域,核心种植区是指不受气候变化影响的黑果枸杞适宜种植区,新增适宜种植区是指不同时段 4 种排放情景预测结果中至少 3 种比当前气候情景下黑

表 2 当前气候下各省、自治区黑果枸杞不同等级适生区面积及其比例

Table 2 Areas and percentage of areas of habitat suitability distribution of *Lycium ruthenicum* in different provinces and autonomous regions

地区	面积百分比/%			面积/km ²		
	适宜生境	低适宜生境	不适宜生境	适宜生境	低适宜生境	不适宜生境
新疆	6.87	14.01	79.12	114 018.12	232 519.03	1 313 463.12
内蒙	0.79	5.12	94.09	9 338.00	60 619.78	1 113 042.00
甘肃	6.58	16.84	76.58	29 864.68	76 382.95	34 7452.40
宁夏	25.06	37.79	37.15	16 639.84	25 092.56	24 667.60
青海	5.20	3.67	91.14	37 476.44	26 428.45	657 095.10
陕西	0.02	1.13	98.85	45.72	2 328.46	203 425.76
总计	—	—	—	207 382.8	423 371.23	3 659 145.98

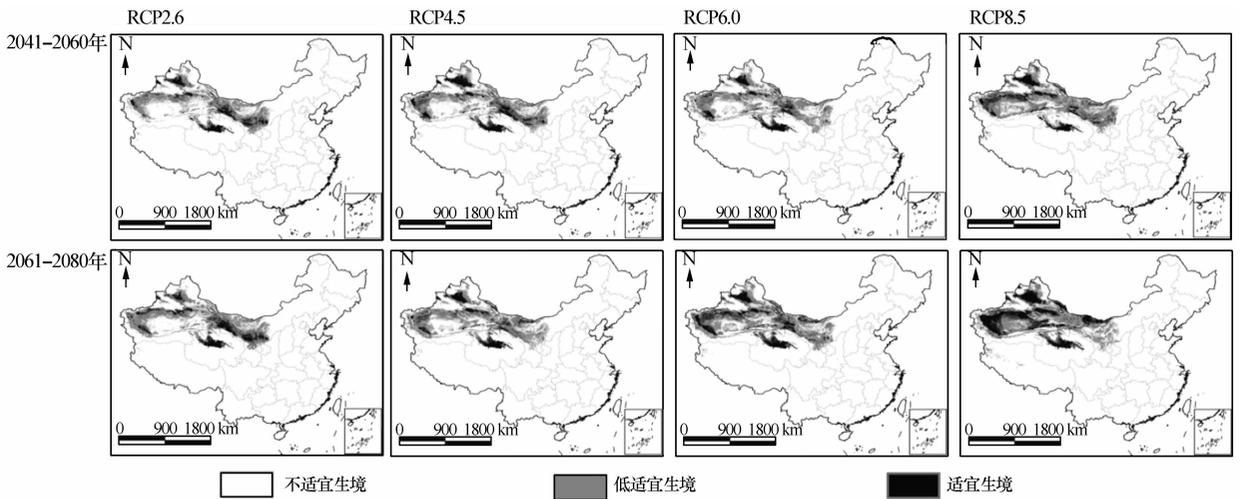


图 4 不同气候变化情景下黑果枸杞生境适应性分布

Fig. 4 Distribution of habitat suitability for *Lycium ruthenicum* under different climate change scenarios

果枸杞适宜种植区增加的部分。而对种植敏感区的定义略有不同,在 2041—2060 年黑果枸杞种植区划图中是指与当代相比,在 2041—2060 年四种排放情景预测结果中,至少 3 种比当前气候情景下黑果枸

杞适宜种植区面积减少的部分;在 2061—2080 年黑果枸杞种植区划图中是指四种排放情景预测结果中至少 3 种比当代以及 2061—2080 年气候情景下黑果枸杞适宜核心种植区减少部分之和。

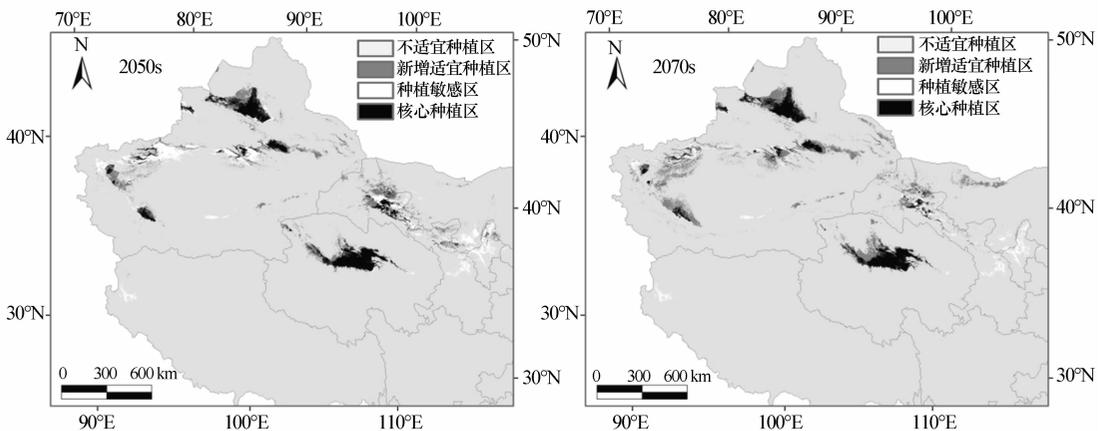


图 5 黑果枸杞种植区划

Fig. 5 Planting division of *Lycium ruthenicum*

模型预测结果表明,至2041—2060年黑果枸杞核心种植区面积为102 770.90 km²,主要分布在新疆、青海、甘肃、宁夏。其中新疆黑果枸杞核心种植区分布较广,但在空间上分布分散,主要包括准噶尔盆地东南缘、伊犁河流域、吐鲁番盆地、焉耆盆地以及周边地区、塔里木盆地北缘以及和田地区,具体包括米泉市中部、昌吉市北部、呼图壁县北部、玛纳斯县北部、和布克赛尔蒙古自治县南部、石河子市北部、沙湾县北部、克拉玛依北部、奎屯市中部、乌苏县北部、精河县北部;伊宁县西南部、伊宁市、霍城县南部、察布查尔锡伯自治县北部;鄯善县中东部、吐鲁番市中部、托克逊县中北部;和静县中北部、焉耆回族自治县、轮台县中部、库尔勒市部分地区;乌什县西南部、柯坪县中部、疏勒县以及喀什市部分地区;洛浦县北部、和田市、和田县北部、墨玉县北部。黑果枸杞核心种植区在青海省分布较为集中,主要分布于柴达木盆地,具体包括都兰县北部、乌兰县南部、格尔木市中部以及哈德令市部分地区。在甘肃省黑果枸杞核心种植区主要分布在河西地区,其中包括玉门市东部、金塔北部、嘉峪关南部、酒泉东部、肃南西部、高台东部、临泽西部以及张掖武威部分地区。预测结果显示宁夏回族自治区黑果枸杞适宜种植区变化较大,其核心种植区零星分布于贺兰县、银川市、永宁县、青铜峡市等地区。

至2041—2060年,预测由气候变化导致的适宜黑果枸杞种植区损失(种植敏感区)为104 611.9 km²,主要分布在新疆霍城县中部、察布查尔锡伯自治县中北部、拜城县北部、温宿县北部、阿克苏市西北部、乌什县北部、柯坪县中部、阿图什东北部、疏附县、皮山县部分地区、且末县部分地区、轮台县中部、库尔勒市中部、博湖县、和硕县西南部;种植敏感区在甘肃主要分布区于玉门市、金塔县、张掖市、民乐县;宁夏黑果枸杞适宜种植区受气候变化影响较大,区内大约85%的适宜种植区损失;内蒙古地区的种植敏感区主要分布于阿拉善右旗北部。气候变化前提下模型结果表明黑果枸杞新增种植适宜区面积为970 74.91 km²,主要分布于新疆克拉玛依地区、塔城地区、吐鲁番地区、甘肃酒泉地区、武威地区和内蒙古东胜市。

至2061—2080年黑果枸杞核心种植区进一步缩减,其面积为90 970.83 km²,其分布区较2050s核心种植区北移。种植敏感区面积为39 996.15 km²,其中宁夏地区已经没有黑果枸杞适宜生长区域,黑果枸杞新增的适宜种植区面积为141 976.23

km²,相较2050s新增的适宜种植区面积有所增大,而且位置变化较大,其中新疆维吾尔自治区克拉玛依地区适宜种植区域向北扩展,哈密市出现适宜种植区域,吐鲁番地区适宜种植区域向东扩展,库尔勒市东部重新成为适宜种植区,喀什中部出现适宜种植区域,和田地区适宜种植区域向北扩展,青海省柴达木盆地适宜种植区向北扩展,甘肃酒泉市北部出现适宜种植区,内蒙古阿拉善左旗北部出现适宜种植区。

3 讨论

利用MaxEnt模型对黑果枸杞在当前气候条件下的种植适宜性进行了研究,并预测了在未来不同排放情景下黑果枸杞的种植适宜性潜在分区。并以此为基础对2041—2060年与2061—2080年黑果枸杞种植进行了区划。黑果枸杞生长区域狭窄,对环境要求较高,人工种植难度较大,甘肃河西地区、黑河流域、青海柴达木盆地以及新疆塔里木盆地部分地区是黑果枸杞的核心种植区域。在未来气候条件变化的预设情景下,黑果枸杞适宜种植区域将大幅增加,但是传统产区将有一定量的减少,内蒙古西部地区将会出现大面积黑果枸杞适宜种植区。

野生黑果枸杞在青海、新疆、西藏、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古等地均有分布,其主要生境为中国西北干旱地区的戈壁、绿洲边缘、盐碱滩地以及半固定沙丘的下部或覆沙的丘间低地、路旁、田埂等处^[1-4];文献记载黑果枸杞的最适宜生境主要分布在准噶尔盆地、伊犁河流域、吐鲁番盆地、焉耆盆地、塔里木盆地、柴达木盆地与甘肃河西地区^[1-2,11-16],本研究通过MaxEnt模型预测的黑果枸杞种植适宜性分布结果与文献报道的分布区相符,说明建模的科学性和准确性。同时对于黑果枸杞野生资源的保护应该选择核心种植区加以管理,并进一步扩大其种群数量,特别在黑果枸杞种植基地选址和建设时应充分考虑核心种植区,加大人工种植力度,收集优良种质,实现经济效益与生态保护的双赢。

采用未来RCP 2.6、RCP 4.5、RCP 6.0和RCP 8.5四种排放情景的气候数据模拟气候变化对黑果枸杞种植适宜性分布影响。结果表明在不同排放情景下,黑果枸杞的适宜种植面积以及分布都有所不同,说明气候变化对植物潜在分布影响有一定的不确定性。但模型结果表明在所有排放情景下,随着时间的推移,黑果枸杞的适宜种植区面积都将增加。此外,影响植物潜在分布的因素很多,如土壤因素,

文献表明黑果枸杞具有耐盐碱的特性^[11],但是其对土壤盐碱化的耐受度有一定限制。因此其适生区不可能无限度的向荒漠内部发展,如果考虑土壤因子的影响,黑果枸杞新增适生区面积将有一定程度缩小,其生境的景观特征也将更加破碎。同时土地利用也将在很大程度上影响物种分布^[22]。鉴于目前没有合适的不同温室气体排放情景下土壤及土地利用等数据,且气候变化对土壤以及土地利用变化的影响尚不明确,因此本文未作考虑。如果考虑植物适宜生境的土壤和土地利用类型条件,可知推测气候变化对黑果枸杞的种植适宜性影响的不确定性将更大。对物种适宜种植范围进行预测,受诸多因素限制。在目前的认识水平和技术条件下,我们的研究还无法涉及所有影响黑果枸杞的种植适宜性分布因素^[32],但气候因素在很大程度上决定着植物的分布,基于气候因素预测未来 RCP 2.6、RCP 4.5、RCP 6.0 和 RCP 8.5 四种排放情景下 2041—2060 年、2061—2080 年两个时间段黑果枸杞的种植适宜性的变化趋势,其结果对黑果枸杞的资源调查、保护与开发提供重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第 67 卷第 1 分册[M]. 北京:科学出版社,1978:10—18.
- [2] 杨昌友. 新疆树木志[M]. 北京:中国林业出版社,2012:482—483.
- [3] 艾则孜江·艾尔肯,田志浩,冯孟鑫,等. 黑果枸杞质量标准研究[J]. 西北药学杂志,2015,30(3):236—241.
- [4] 张绘芳,李霞,王建刚,等. 塔里木河下游植物群落结构特征分析[J]. 生态环境,2007,16(4):1219—1224.
- [5] 刘永民. 维吾尔药志(下)[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1999:478—485.
- [6] 罗华,林丽,晋玲,等. UV 法测定黑河流域不同产地黑果枸杞中花青素的含量[J]. 现代中药研究与实践,2015(3):24—27.
- [7] 闫亚美,戴国礼,冉林武,等. 不同产地野生黑果枸杞资源果实多酚组成分析[J]. 中国农业科学,2014,47(22):4540—4550.
- [8] Gong Y, Wu J, Li S T. Immuno-enhancement effects of *Lycium ruthenicum* Murr. polysaccharide on cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice[J]. International Journal of Clinical & Experimental Medicine, 2015, 8(11):20631—20637.
- [9] Liu Z, Shu Q, Wang L, et al. Genetic diversity of the endangered and medically important *Lycium ruthenicum*, Murr. revealed by sequence-related amplified polymorphism (SRAP) markers[J]. Biochemical Systematics & Ecology, 2012, 45(6):86—97.
- [10] Jin H. Preparative separation of a challenging anthocyanin from *Lycium ruthenicum* Murr. by two-dimensional reversed-phase liquid chromatography/hydrophilic interaction chromatography[J]. Rsc Advances, 2015, 5(76):62134—62141.
- [11] 辛菊平,朱春云. 柴达木盆地不同盐生境下黑果枸杞形态结构比较[J]. 西部林业科学,2015(4):73—78.
- [12] 杨仁明,索有瑞,王洪伦. 青海不同地区枸杞微量元素分析研究[J]. 光谱学与光谱分析,2012,32(2):525—528.
- [13] 阿力同·其米克,金晓芳,叶忠铭,等. 新疆产药用植物黑果枸杞有性殖产出差异的繁殖生态学研究[J]. 植物科学学报,2014,32(6):570—576.
- [14] 王锦楠,陈进福,陈武生,等. 柴达木地区野生黑果枸杞种群遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 植物生态学报,2015,39(10):1003—1011.
- [15] 阿力同·其米克,王青锋,杨春锋,等. 新疆产药用植物黑果枸杞遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 植物科学学报,2013,31(5):517—524.
- [16] 郑贞贞. 柴达木盆地主要枸杞资源遗传多样性分析[D]. 西宁:青海大学,2012.
- [17] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, et al. WORLDCLIM: very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas[J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(15):1965—1978.
- [18] IPCC. Climate change 2013: The Physical Science Basis[C]. Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
- [19] Moss R H, Edmonds J A, Hibbard K A, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment[J]. Nature, 2010, 463(7282):747—756.
- [20] Nix H A. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes [M]//Longmore R. Atlas of Elapid Snakes of Australia. Canberra, Australia: AGPS, 1986:4—15.
- [21] Kumar P. Assessment of impact of climate change on Rhododendrons in Sikkim Himalayas using MaxEnt modelling: limitations and challenges [J]. Biodiversity and Conservation, 2012, 21(5):1251—1266.
- [22] 郭彦龙,卫海燕,路春燕,等. 气候变化下桃儿七潜在地理分布的预测[J]. 植物生态学报,2014,38(3):249—261.
- [23] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modeling, 2013, 190(3/4):231—259.
- [24] Phillips S J, Dudik M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation [J]. Ecography, 2008, 31(2):161—175.
- [25] 何奇瑾,周广胜. 我国玉米种植区分布的气候适宜性[J]. 科学通报,2012,57(4):267—275.
- [26] Halvorsen R, Mazzoni S, Bryn A, et al. Opportunities for improved distribution modelling practice via a strict maximum likelihood interpretation of MaxEnt [J]. Ecography, 2015, 38(2):172—183.
- [27] 沈观冕. 新疆经济植物及其利用[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2010:709—710.
- [28] 彭飞,黄翠华,尤全刚,等. 种植黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 对盐渍土盐分分布的影响[J]. 中国沙漠,2013,33(5):1406—1412.

- [29] 陈文, 王桔红, 朱慧, 等. 沙埋对河西走廊 4 种旱生植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1532—1537.
- [30] 周洪华, 陈亚宁, 李卫红. 塔里木河下游绿洲-荒漠过渡带植物多样性特征及优势种群分布格局[J]. 中国沙漠, 2009, 29(4): 688—696.
- [31] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 365—372.
- [32] Lu C Y, Gu W, Dai A H, et al. Assessing habitat suitability based on geographic information system (GIS) and fuzzy: a case study of *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. in Qinling Mountains, China [J]. Ecological Modelling, 2012, 242: 105—115.

Impacts of Climate Change on Cultivation Suitability of *Lycium ruthenicum*

Zhao Zefang^{lab}, Wei Haiyan^{1a}, Guo Yanlong², Zhao Zebin²,
Pang Guojin², Ma Yuan^{2,3}, Gu Wei^{1bc}

(1 a. College of Tourism and Environment/b. National Engineering Laboratory for Resource Development of Endangered Crude Drugs in Northwest of China/c. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2. Cold and Arid Regions Environments and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on niche theory and the MaxEnt model, in this study, we analyzed the significant factors determining the distribution of *Lycium ruthenicum*. And then with the result of model, we divided its suitable cultivation regions, and explored the possible impacts of climate change on the suitability of the species. Results showed that: (1) there are nine significant factors determining the planting distribution of *L. ruthenicum*: Precipitation of warmest quarter, Temperature annual range, Annual mean air temperature, Mean temperature of coldest quarter, Annual precipitation, Precipitation of wettest month, Mean temperature of driest quarter, Annual precipitation, and Elevation above sea level. (2) under the current climate scenario, the suitable planting regions of *L. ruthenicum* is about 207 382.58 km², mainly distributed in the Hexi corridor of Gansu province and its surrounding, Qaidam Basin of Qinghai province, parts of the Tarim basin, Junggar Basin and Turfan Depression, Xinjiang. (3) under all four climate change scenarios, the suitable cultivation regions of *L. ruthenicum* all will have different rates of expansion, but the suitable cultivation regions of *L. ruthenicum*'s immune from climate change will gradually decrease. The result of this study will provide theoretical and technical support for the introduction and domestication of *L. ruthenicum*.

Key words: *Lycium ruthenicum*; climate change; MaxEnt model; cultivation suitability