

气候变化下槟榔的地理分布及未来适生区预测

尹秀¹, 王爱萍¹, 邹泽傲², 李云龙³, 王雅婷³, 高新征^{4*}

(1. 海南医学院药学院, 海南海口 571199; 2. 海南医学院生物医学信息与工程学院, 海南海口 571199; 3. 海南医学院临床学院, 海南海口 571199; 4. 海南医学院生物学教研室, 海南海口 571199)

摘要 我国南药之一、药食两用的热带植物槟榔, 其药理作用丰富, 临床应用广泛。根据槟榔现有的分布记录及气象数据, 利用最大熵模型 MaxEnt 和 ArcGIS 预测气候变化背景下的槟榔在我国适宜性生长区域, 为其种植栽培和开发利用提供理论依据。3 个时期(1970—2000 年、2040—2060 年、2061—2080 年) 不同碳排放情景下(RCP2.6、RCP8.5) 的模拟预测结果精度均值都达到了 0.990, 结果可信度极高。槟榔适生区总面积在 RCP2.6 情境下呈下降趋势, 在 RCP8.5 情境下呈上升趋势; 贡献率和影响力最大的气候因子为最热季降雨量, 符合槟榔的生态习性; 集中分布区域主要在琼、粤、桂、滇南、台等地区。

关键词 槟榔; 地理分布; 适生区变化; 最大熵模型

中图分类号 Q948 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)04-0221-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.057

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Prediction of Suitable Growing Areas of *Areca catechu* in Different Periods under Climate Changes

YIN Xiu¹, WANG Ai-ping¹, ZOU Ze-ao² et al (1. College of Pharmacy, Hainan Medical University, Haikou, Hainan 571199; 2. College of Biomedical Information and Engineering, Hainan Medical University, Haikou, Hainan 571199)

Abstract *Areca catechu*, the first tropical plant in South China, has abundant pharmacological effects and wide clinical application. Under the background of climate change, according to the existing distribution records and meteorological data of *Areca catechu*, we used MaxEnt and ArcGIS to predict and analyze the suitable growth area of *Areca catechu* in China, to provide the theoretical basis for its cultivation and development. In the three periods (1970—2000, 2040—2060, 2061—2080) with different carbon emission scenarios, the average accuracy of simulation prediction results reached 0.990, and the results were highly reliable. In RCP2.6, the total area of suitable area of *Areca catechu* decreased, while in RCP8.5, it increased. The climate factor with the largest contribution rate and influence was the precipitation in the hottest season, which was in line with the ecological habits of *Areca catechu*. It is mainly distributed in Hainan, Guangdong, Guangxi, southern Yunnan and Taiwan.

Key words *Areca catechu*; Geographical distribution; Suitable area change; Maximum entropy

槟榔(*Areca catechu* L.)又名仁频、宾门及宾门药钱等,是单子叶植物纲、初生目、棕榈科、槟榔属常绿乔木。槟榔含有生物碱、黄酮、鞣质、脂肪酸、萜类和甾体等多种化学成分,主要的活性成分是以槟榔碱为首的生物碱^[1-2],具有杀虫、抗抑郁、促消化等多方面的药理活性^[3]。槟榔及其提取物还有镇痛、消炎、抗氧化^[4]、降血糖及调节血脂^[4]等其他生物学效用^[6-7]。

近年来,全球气候呈变暖的趋势愈加明显,研究表明,大量陆地、淡水和海洋物种的栖息地范围、季节活动、迁移路线、物种丰度和种间作用都随着气候变化而发生改变^[8],这些变化可能会造成区域物种多样性减少,使物种灭绝风险增加^[9]。

槟榔作为药食两用且发展前景良好的南药之一,探究其在全球气候变化总体趋暖的背景下,适宜生长区的时空变化规律对我国区域内物种可持续发展具有重要意义。鉴于此,笔者根据槟榔现有的分布记录及气象数据,利用最大熵模型 MaxEnt 和 ArcGIS 预测气候变化背景下的槟榔在我国适宜性生长区域,为其种植栽培和开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据收集

1.1.1 槟榔地理信息的采集与整理。通过查阅中国数字植

物标本馆(<http://www.cvh.org.cn/>)、教学标本标准化整理整合与资源共享平台(<http://mnh.scu.edu.cn/>)、中国自然保护区资源平台(<http://www.papc.cn/bhqzy.aspx>)及 GBIF 网站(<https://www.gbif.org/>),结合实地考察,查阅公开发表的相关文献及形色 APP 等互联网平台的方法,去除模糊以及重复采集地信息,共收集 109 条标本分布信息。为防止地理信息过近导致结果过度拟合,利用 ArcGIS 对其进行筛选,以 6 km 为半径设置缓冲区,去除相交重合标本点,最终得到 98 条槟榔地理分布信息。结合谷歌地图提取槟榔标本分布点的经纬度。将其按照学名、经度、纬度的顺序录入表格,并保存为 csv 格式,作为 MaxEnt 模型的样本输入文件。

1.1.2 气候数据的收集与处理。在国家基础地理信息系统网站(<http://nfgis.nsd.gov.cn>)下载中国省级行政区划矢量地图。气候数据均来源于世界气候数据库(<http://www.worldcilm.org/>),考虑对比性研究需单一变量性,该研究所需气候数据均为 19 个生物气候变量因子,包括 1970—2000 年、2040—2060 年(2050s)和 2061—2080 年(2070s),3 个时期选用基于 CCSM4.0 中的 RCP2.6、RCP8.5(RCP2.6 和 RCP8.5 分别代表最低和最高温室气体排放情景)排放路径下的气候因子^[10]。由于环境因子相关性过高会造成结果过度拟合,故利用 SPSS 20 对 19 个环境因子进行相关性分析,当双变量的相关系数 ≥ 0.8 时,选择贡献率高的环境因子。去除贡献率为 0 的环境因子,最终得到 11 个生物气候因子(bio-2、bio-3、bio-4、bio-6、bio-8、bio-10、bio-12、bio-14、bio-15、bio-

基金项目 海南医学院 2021 学年大学生创新创业训练计划项目(X202111810115, X202111810126)。

作者简介 尹秀(1997—),女,湖北孝感人,从事药学研究。*通信作者,副教授,硕士,从事黎药研究。

收稿日期 2021-06-01; **修回日期** 2021-07-02

17、bio-18)通过 ArcGIS 10.2 中 ArcToolbox 的转换工具由栅格转化为 ASC II 格式。

1.2 研究方法

1.2.1 最大熵模型。最大熵模型(Maximum entropy, Maxent)是根据物种现实分布点和现实分布地区的环境变量运算得出预测模型,再利用该模型模拟目标物种在目标地区的可能分布情况^[11]。它是生态位模型中一种比较新的用于预测物种分布的技术方法,自带检验预测结果的功能。在物种分布数据不全的情况下,MaxEnt 仍然能得到较为满意的结果^[12-14]。

1.2.2 ArcGIS。ArcGIS 平台由美国 Esri 公司发布,是测绘地理信息技术服务,尤其是地理信息系统(GIS)辅助决策的最具代表性的门户系统,具有信息输入与转换、数据采集与编辑、数据存储与管理、数据查询与分析(栅格数据分析、矢量数据分析、三维分析、网络分析)、空间统计与可视化、成果表达与输出、二次开发与编程等先进的技术集成优势^[15]。将最大熵模型预测结果与 ArcGIS 相结合,可得到较为清楚直观的适生区分布图^[16-17]。

1.3 参数设置及模型精度分析 下载并安装 MaxEnt 3.4.1 及 ArcGIS 10.2 软件。将已经转化为合适格式的槟榔分布点数据和环境变量数据导入到 MaxEnt 软件中,进行建模运算,测试集设置为 25%,采用刀切法检验权重,设置受试者工作曲线(ROC),输出格式和输出类型分别为 asc 和 Logistic,重

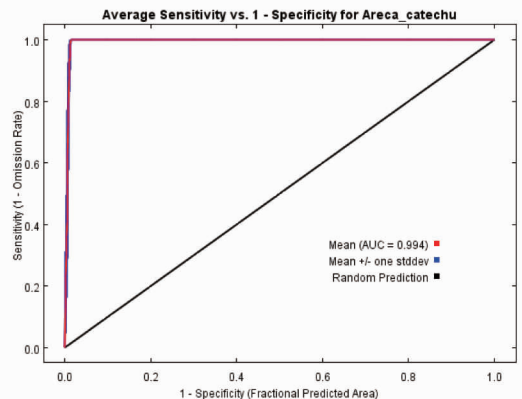
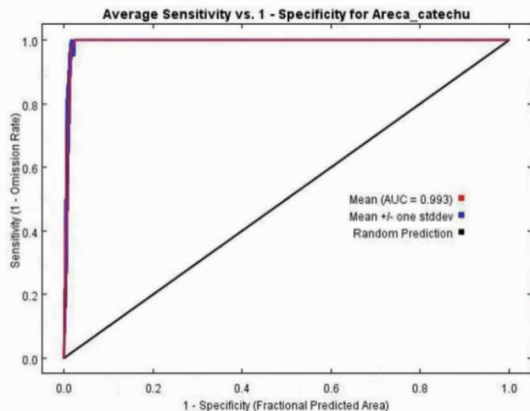
复运行 6 次,得到环境因子的响应曲线、基本预测图以及环境因子贡献率等结果。

1.4 槟榔的适生区等级划分 利用 ArcGIS 10.2 对 MaxEnt 模型计算结果进行美化分析。先将 asc 格式的文件加载到 ArcGIS 中,按掩膜提取出中国区域,绘制出基于 11 个气候数据下的槟榔适生区域地图,然后点击 Spacial anayst 工具里的 Reclassification 进行操作,在分类方法中采用自然断点法,将其划分为 4 个适生等级:非适生区、低适生区、中适生区、高适生区。

2 结果与分析

2.1 预测模型精度测评 按照上述方法,重复运行 6 次之后得到 3 个时期的 ROC 曲线图,预测结果可以分为 5 个等级:预测失败(AUC = 0.5~0.6)、较差(AUC = 0.6~0.7)、一般(AUC = 0.7~0.8)、较好(AUC = 0.8~0.9)、极好(AUC = 0.9~1.0)。构建的五次模型 ROC 曲线的 AUC 均值都达到了 0.990 以上(图 1),说明预测结果可信度非常高。

2.2 槟榔当前分布区预测结果 在当前气候条件下(图 2),槟榔分布区总面积(表 1)为 155.26 万 km²,占我国国土面积的 16.12%。分布区域主要集中在琼、粤、桂、滇、闽、台等地区,其中琼、粤、桂、台湾西部及四川眉山乐山一带为高适生区,占地 35.58 万 km²。中适生区占总适生区的 4.20%,主要分布在云南南部、川渝交界、福建中部及南部。



注:a.当前适生区的 ROC 曲线;b.未来气候条件下 ROC 曲线

Note:a.ROC curve of current suitable zone;b.ROC curve of future climate condition

图 1 槟榔适生区预测 ROC 曲线图

Fig.1 Curve of forecast ROC of *Areca catechu* zone

低适生区分布区域最广,占地 79.18 万 km²,分布在中高适生区周围省份,但低适宜性生长区的适生指数较低,仅在自然条件下是较难生长的。现代槟榔地理分布结果与槟榔标本采集地理信息也相吻合。

2.3 气候变化条件下槟榔适生区预测结果 以槟榔现有的槟榔分布记录与未来气候数据为媒介,利用 Maxent 对 2040—2060 年、2061—2080 年 2 种不同排放路径气候下的槟榔适生区进行预测(图 3)。

结果发现在 RCP8.5 情境下,槟榔的适生区总面积总体上呈增加的趋势,2040—2060 年适生区总面积与当前相差不大,波动小于 1.5 万 km²,2061—2080 年适生区总面积上升幅度较

大,上升了 27.42 万 km²,增幅达到 2.84%,分布区域向西南偏移。而 RCP2.6 情境下适生区面积总体呈降低趋势:2040—2060 年适生区总面积降低了 1.26%,2061—2080 年相较于当前降幅为 0.95%。

在未来气候变化下,高适宜性生长区都是呈下降趋势,其中 RCP2.6 情景下降幅度最大:从 1970—2000 年的 35.58 万 km² 下降到 2040—2060 年的 25.09 万 km² 再到 2061—2080 年的 20.02 万 km²,分布区域变化主要是当前的一些高适生区转换成了中低适生区,例如海南、台湾,两广地区的大部分高适生区在 2040—2060 年转换成中适生区,在 2061—2080 年甚至转换成了低适生区。

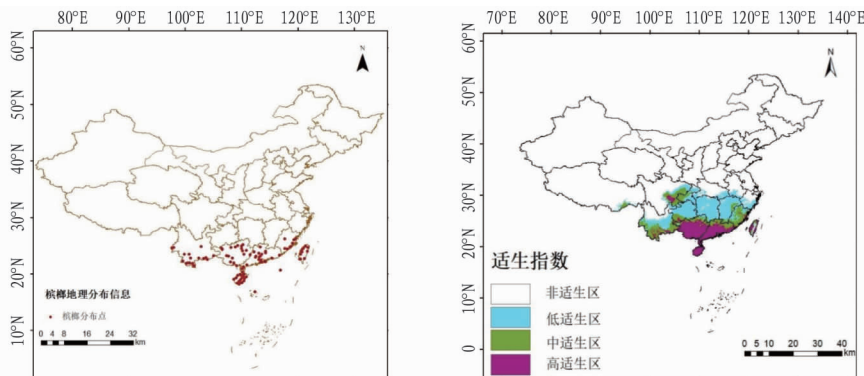


图2 槟榔当前适生区分布预测

Fig.2 Distribution of *Areca catechu* probability

表 1 槟榔适生区面积及占比

Table 1 Area and proportion of *Areca catechu* suitable zone

时期 Stage	总适生区 Total suitable zone		高适生区 High suitable zone		中适生区 Middle suitable zone		低适生区 Low suitable zone	
	面积 Area//万/km ²	占比 Proportion//%	面积 Area//万/km ²	占比 Proportion//%	面积 Area//万/km ²	占比 Proportion//%	面积 Area//万/km ²	占比 Proportion//%
1970—2000 年	155.26	16.12	35.58	3.69	40.51	4.20	79.18	8.22
2050sRCP2.6	143.21	14.86	25.09	2.60	66.49	6.90	51.62	5.36
2050sRCP8.5	156.30	16.22	23.08	2.40	64.04	6.65	69.18	7.18
2070sRCP2.6	146.17	15.17	20.20	2.10	41.86	4.35	84.11	8.73
2070sRCP8.5	182.68	18.96	30.65	3.18	67.08	6.96	84.95	8.82

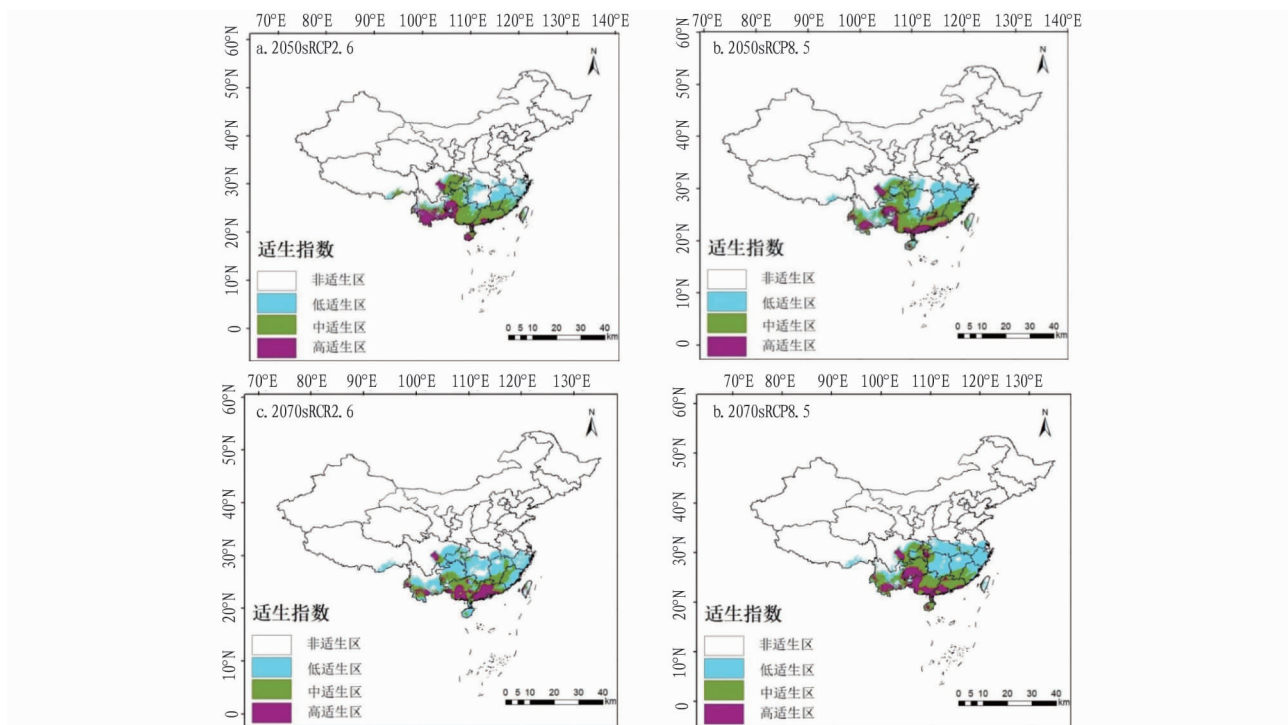


图3 槟榔基于气候变化下未来适生区分布预测

Fig.3 Prediction distribution of *Areca catechu* future suitable zone based on climate change

在 RCP8.5 情景下,高适生区是呈现降低再升高的趋势,区域变化主要是由集中转为分散,虽然南部地区的适生等级依旧下降了,但相对地也增加了一些区域:川渝交界、云贵川交界等。

中、低适生区变化范围在 2 个时期不同情境下变化趋势较大。中适生区在 RCP8.5 模式下呈线性增加趋势,在

RCP2.6 情境下呈先增后减的趋势,最终面积与当前相差不大;低适生区呈先下降后上升趋势。分布区域主要是向西南区域偏移增加的区域,或者是不同适生指数的适生区域相互转换。

2.4 环境因子贡献率 由图 4 可知,软件的刀切法分别对每一个环境影响因子进行分析,以柱状图的形式表现了单个变

量的贡献程度。

由图 4 可知,对槟榔适生区影响较大的环境因子是 bio-18 最热季降雨量,结合通过模型计算得到不同气候因子对

槟榔适生区影响的贡献率结果,发现不同时期的高贡献率的环境因子大致相同,bio-18、bio-12、bio-10 这 3 个气候因子在不同时期不同排放路径的权重都很高。

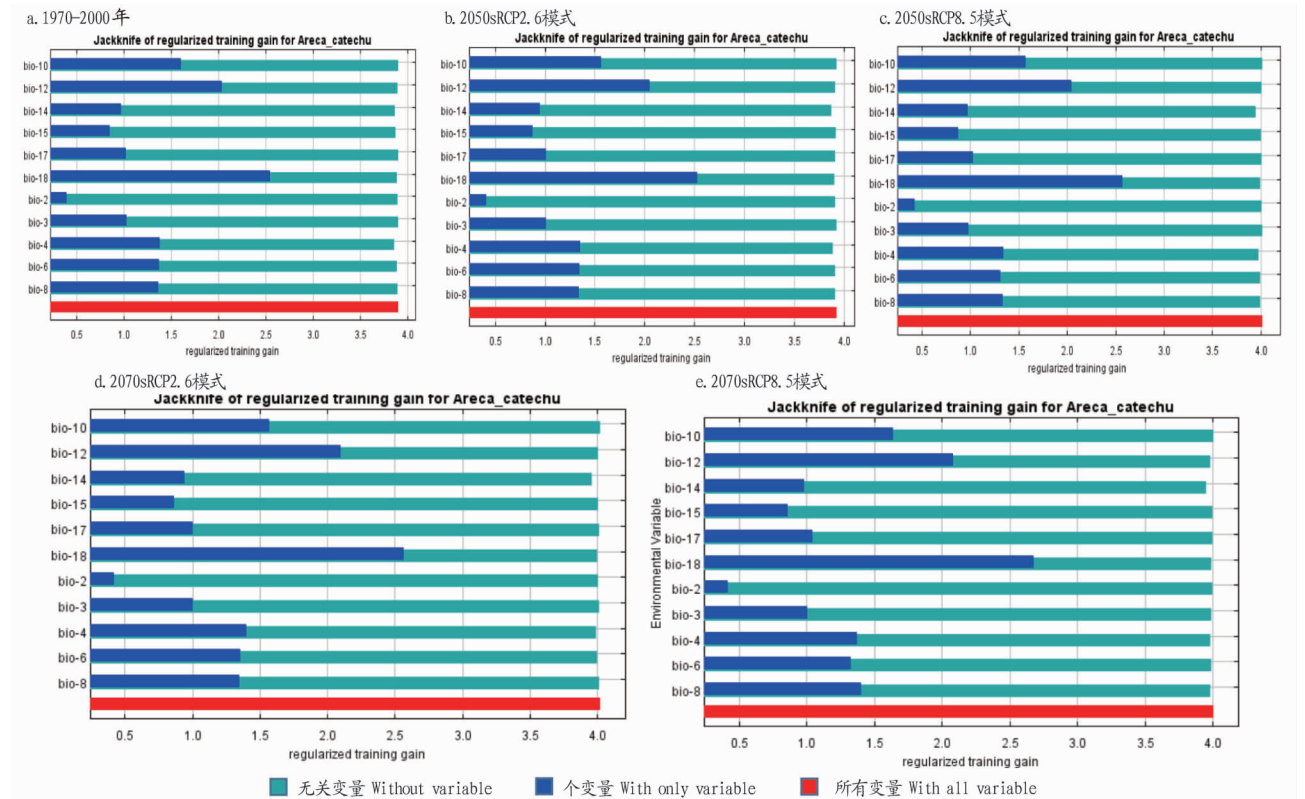


图 4 影响槟榔适生的环境变量刀切分析

Fig 4 Analysis of cutter of environmental variables affecting the survival of *Areca catechu*

从表 2 可以看出,构建的 5 个不同预测模型的输出结果中,最热季降雨量(bio-18)、温度季节性变化(bio-4)、年平均降雨量(bio-12)、降雨季节性变化(bio-15)、最干月份降雨量(bio-14)、最冷月份最低温(bio-6) 6 个环境变量的贡献率和影响力都靠前。累计贡献率达 90%,其中比重最大的为

bio-18,贡献率在 50%以上,其他降水量相关因子的贡献率也很高,说明槟榔在我国的适生区分布主要由这 6 个气候因子变量主导,最重要的环境变量系降雨量,其次为温度,这也符合槟榔的生态生长习性。

表 2 影响槟榔分布的气候因子贡献率

Table 2 Contribution rate of climate factors affecting *Areca catechu* distribution

时期 Stage	bio-18	bio-4	bio-12	bio-15	bio-14	bio-6
1970—2000 年	63.8	14.7	2.9	6.1	5.6	2.7
2050sRCP2.6	58.3	14.7	9.5	6.5	5.7	2.9
2050sRCP8.5	61.6	14.5	4.7	5.7	7.1	2.3
2070sRCP2.6	54.5	15.3	9.6	8.1	5.1	3.6
2070sRCP8.5	63.4	12.1	6.6	5.3	5.9	2.2

3 结论

该研究以热带植物槟榔为研究对象,通过最大熵模型 MaxEnt 和 ArcGIS 研究 3 个时期(1970—2000 年、2040—2060 年、2061—2080 年)不同 RCP 模式下的槟榔适生区变化。通过对预测结果进行分析,发现气候变暖在一定程度上对槟榔的生长是有益的。不管是当前还是未来,槟榔的核心分布区较为稳定,主要是琼、粤、桂、滇南、闽、台及川渝交界等一些受热带或亚热带季风气候影响的地区,增加的分布区域较为分散,如川渝、湖南的张家界、湖北的恩施等地,属盆

地或者多山地区,降雨量比较充足。在气候变化背景下,RCP2.6 情境对槟榔的适生区呈负影响,RCP8.5 情境下呈正影响,可能是温室气体高排放量会使气候趋暖幅度变大,使我国西南、东南地区的温度增加,在降雨量也充足的情况下,槟榔分布率会增加。结合当前的一些气候研究报告来看,气候变化虽总体趋暖,但气温也并不是直线上升的,例如 2020 年的温度骤降、寒潮频发现象。由此可见,槟榔的适生区域变化也是和气候变化规律息息相关的。

(下转第 229 页)

业程度农户土地流转意愿的因素是多种多样的,但唯一不变的是,农户所做出的流转决策目的是用最小的投入来获得最大的产出。

5 结论

随着工业化和城镇化的深入推进,大量农村劳动力转移进城,到第二、三产业就业,以分散经营为主要特点的家庭联产承包责任制,已经越来越无法适应规模化、集约化、市场化、信息化、现代化的农业经营模式。土地流转是实现我国城镇化和加快农业现代化进程的必然要求。土地承包经营权有序流转的加快,从农户角度来说,有利于分散的土地集中到专业大户、家庭农场和涉农企业等规模经营主体手中,开展现代农业生产,有助于兼业户劳动力的解放,从而增加第二、三产业劳动力的供给;从国家角度来说,土地承包经营权有序流转的加快有助于我国农村土地资源的优化配置,推动农业产业化进程。然而根据调查结果,各类农户的土地流转意愿并不高。因此课题组认为,要提高农户土地流转的积极性,必须在加强培育农村土地市场的基础上,加大对土地流转主体的政策扶持与供给,为土地流转营造良好的市场环境和政策环境。

参考文献

- [1] WEGREN S K. Why rural russians participate in the land market: Socio-economic factors[J]. *Post-communist economics*, 2003, 15(4): 483-501.
- [2] GERTLER M S. Best practice? Geography, learning and the institutional limits to strong convergence[J]. *Journal of economic geography*, 2001, 1(1): 5-26.
- [3] 才正. 农民创业对农户土地流转意愿的影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.

(上接第 224 页)

4 讨论

该研究旨在对槟榔当前潜在分布区和未来适生区进行预测,分析槟榔的适生区是否会在全球气候趋暖的影响下发生改变,为其种植栽培和开发利用提供理论依据。但该研究利用的环境变量仅为生物气候变量,忽略了地形、土壤、人为等因素的影响。虽然大量研究表明,在通过最大熵模型预测物种适生区范围时仅使用气候因子,也可以得到相对精确的预测结果。但是本着严谨且认真的研究态度,在接下来的研究中还需要考虑其他影响植物生长的环境变量,这对于更加精确地预测槟榔的适生区范围具有重要意义。

参考文献

- [1] 张橡楠. 槟榔化学成分和药理作用研究进展[J]. *生物技术世界*, 2012, 10(7): 9-10.
- [2] 贾哲, 韩婷, 刘欢, 等. 基于多元统计分析的食用槟榔及药用槟榔主要化学成分的含量对比研究[J]. *中华中医药杂志*, 2017, 32(11): 5158-5161.
- [3] 陈洪, 罗光远, 陈夏雨, 等. 槟榔中槟榔碱的药剂研究进展[J]. *桂林师专高等专科学校学报*, 2017, 31(2): 116-120.
- [4] BHANDARE A M, KSHIRSAGAR A D, VYAWAHARE N S, et al. Potential analgesic, anti-inflammatory and antioxidant activities of hydroalcoholic extract of *Areca catechu* L. nut[J]. *Food Chem Toxicol*, 2010, 48(12): 3412-3417.
- [5] 姚起鑫, 元竹青, 王光, 等. 槟榔碱改善 2 型糖尿病大鼠糖、脂代谢紊乱

- [4] 尚欣, 郭庆海. 基于理性经济人视角下我国兼业农户行为分析[J]. *吉林农业大学学报*, 2010, 32(5): 597-602.
- [5] 贺振华. 农户兼业及其对农村土地流转的影响: 一个分析框架[J]. *上海财经大学学报*, 2006, 8(2): 72-78.
- [6] 黄延廷. 农户兼业化对农地规模经营的制约机理分析[J]. *农村经济*, 2012(1): 49-51.
- [7] YAO Y. The development of the land lease market in rural China[J]. *Land economics*, 2000, 76(2): 252-266.
- [8] 任天驰, 彭志远. 欠发达地区农户兼业行为对农村土地流转的影响: 基于云南省农村 558 户农户的调查[J]. *上海农业学报*, 2018, 34(1): 127-130.
- [9] 范乔希, 刘锦扬, 应寿英. 丘陵区农户土地流转意愿影响因素实证分析[J]. *农村经济*, 2017(11): 29-34.
- [10] 李明艳, 陈利根, 石晓平. 非农就业与农户土地利用行为实证分析: 配置效应、兼业效应与投资效应——基于 2005 年江西省农户调研数据[J]. *农业技术经济*, 2010(3): 41-51.
- [11] 张忠明, 钱文荣. 不同兼业程度下的农户土地流转意愿研究: 基于浙江的调查与实证[J]. *农业经济问题*, 2014, 35(3): 19-24, 110.
- [12] 庄健, 李忠旭. 不同兼业程度对农户土地托管决策的影响[J]. *沈阳农业大学学报(社会科学版)*, 2019, 21(6): 657-662.
- [13] 刘世拯. 不同兼业程度下农户土地流转意愿影响因素分析: 以肥西县为例[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [14] 蒲书娟, 许艳, 王旭亮, 等. 农户兼业对土地流转的影响: 以临洮县洮阳镇为例[J]. *甘肃科技*, 2019, 35(9): 147-150.
- [15] 刘敏. 农户兼业类型分化特征与影响因素研究: 以浙江省富阳市为例[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [16] 张立平, 钟宝宝, 颜其松. 农地流转新困境及其破解对策: 兼论农户兼业及其对农地流转的影响[J]. *农村经济*, 2006(12): 47-49.
- [17] 王瑞林. 大庆市农户土地流转意愿研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2017.
- [18] 冯慧慧. 农户耕地流转意愿及其流转模式研究: 以焦作市为例[D]. 焦作: 河南理工大学, 2016.
- [19] 诸培新, 颜杰, 苏敏. 农户兼业阶段性分化探析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(2): 102-110.
- [20] 李逸波, 赵邦宏. 农民职业分化对土地流转的影响研究[J]. *河北学刊*, 2020, 40(1): 168-174.
- [1] 中国药理学通报, 2009, 25(11): 1477-1481.
- [6] 蒋志, 陈其城, 曹立幸, 等. 槟榔及其活性物质的研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2013, 38(11): 1684-1687.
- [7] 倪依东, 王建华, 王汝俊. 槟榔水提液对胃肠运动的影响[J]. *中药药理与临床*, 2003, 19(5): 27-29.
- [8] 李立峰. 近期气候变暖对全球生物代谢的影响[J]. *中国环境科学*, 2011, 31(7): 1203.
- [9] 禅铎. 全球变暖背景下地球表面温度和气候带变化的检测、归因与预测[D]. 南京: 南京大学, 2015.
- [10] BARROS V R, FIELD C B, DOKKEN D J, et al. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [11] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. *Ecol Model*, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [12] 孔晓泉. 物种分布模型的稳定性评估及应用软件[D]. 安庆: 安庆师范学院, 2015.
- [13] 赵泽芳. 气候变化下物种分布模型建构与模型比较[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.
- [14] 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子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.
- [15] 张立刚. ArcGIS 空间校正正在矢量数据处理中的应用[J]. *黑龙江水利科技*, 2020, 48(11): 183-185.
- [16] 麻亚鸿. 基于最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统(ArcGis)预测蕨类植物的地理分布范围[D]. 上海: 上海师范大学, 2013.
- [17] 郭杰, 刘小平, 张琴, 等. 基于 Maxent 模型的党参全球潜在分布区预测[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(3): 992-1000.