

林 珊,陆兴利,王茹琳,等. RCP8.5 情景下气候变化对四川省猕猴桃溃疡病病菌地理分布的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):124-129.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.03.021

RCP8.5 情景下气候变化对四川省猕猴桃 溃疡病病菌地理分布的影响

林 珊^{1,2}, 陆兴利², 王茹琳^{1,2,3}, 李 庆³, 王明田⁴, 郭 翔⁵, 文 刚⁶

(1. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川成都 610072;

2. 四川省农村经济综合信息中心, 四川成都 610072; 3. 四川农业大学农学院, 四川成都 611130;

4. 四川省气象台, 四川成都 610072; 5. 四川省农业气象中心, 四川成都 610072; 6. 四川省宜宾市农业局, 四川宜宾 644000)

摘要:基于当前和 RCP8.5 情景, 选用最大熵 (MaxEnt) 模型对猕猴桃溃疡病病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) 在四川省的潜在分布区进行预测, 并分析 21 世纪 30 年代、50 年代、70 年代和 80 年代的适生区变化。结果表明, 利用 ROC 曲线对模型模拟的准确度进行评价, 训练数据和测试数据 AUC 分别介于 0.915 ~ 0.970、0.924 ~ 0.956 之间, 预测结果准确。当前气候条件下, 猕猴桃溃疡病病菌在四川省的高适生区主要位于成都市、德阳市、绵阳市、广元市、巴中市、达州市和雅安市, 中适生区在四川省 21 地市 (州) 均有分布。RCP8.5 情景下, 与当前情景相比, 高适生区和低适生区面积均显著增加, 中适生区面积先增加后减少, 不同适生区几何中心位置和迁移规律均有所不同, 但总体上均向北移动。

关键词:猕猴桃溃疡病病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*); MaxEnt 模型; 气候变化; 适生分析; 地理分析

中图分类号: S436.634.1⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)03-0124-06

四川省是猕猴桃种植大省, 主栽品种以红阳、东红、红什 2 号、金红 50 等红心猕猴桃为主, 栽培面积为 46.6 万 hm^2 , 占全国红心猕猴桃栽培面积的

90% 以上^[1]。目前, 四川省猕猴桃种植区域包含 17 个市 (州), 年产量约 39.8 万 t, 居全国第 2 位。猕猴桃产业是四川省脱贫攻坚工作的重要手段, 因此种植规模仍呈迅速扩大之势^[2]。在发展过程中, 由于缺乏合理的种植区划, 全省大面积推广红心猕猴桃, 出现品种单一化和重大病虫害突发等问题, 特别是猕猴桃溃疡病的大面积暴发和迅速蔓延, 对猕猴桃产业造成严重威胁^[3]。

猕猴桃溃疡病危害植株的主干、枝条、花和叶片等部位, 病原为丁香假单胞杆菌猕猴桃致病变种 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*), 可通过农事操作、苗木、花粉、风雨和昆虫等传播^[4-5]。猕猴桃溃

收稿日期: 2019-01-03

基金项目: 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金 (编号: 省重点实验室 2018-重点-05-11、省重点实验室 2018-青年-31、省重点实验室 2018-重点-05-04); 国家现代农业产业体系四川水果创新团队猕猴桃病虫害综合防治岗位 (编号: 2013-2018)。

作者简介: 林 珊 (1986—), 女, 四川成都人, 硕士, 助理工程师, 主要从事病虫害气象指标研究。E-mail: 523236247@qq.com。

通信作者: 王茹琳, 博士, 工程师, 主要从事气候变化与病虫害关系研究。Tel: (028) 87360982; E-mail: 398927566@qq.com。

Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55 (20): 8200-8205.

[19] 郭艳珍, 杨 倩, 彭 邈, 等. 农药微胶囊缓释剂的研究进展 [C]//“创新驱动与现代植保”——中国植物保护学会第十一次全国会员代表大会暨 2013 年学术年会论文集. 青岛: 中国植物保护学会, 2013: 10.

[20] Ørning P, Hoem K S, Coron A E, et al. Alginate microsphere compositions dictate different mechanisms of complement activation with consequences for cytokine release and leukocyte activation [J]. Journal of Controlled Release (Official Journal of the Controlled

Release Society), 2016, 229: 58-69.

[21] Kumar S, Chauhan N, Gopal M, et al. Development and evaluation of alginate-chitosan nanocapsules for controlled release of acetamidrid [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 81: 631-637.

[22] 王 梅, 刘兆辉, 江丽华, 等. 巨大芽孢杆菌固定化包埋材料的初步研究 [J]. 江西农业学报, 2009, 21 (12): 57-58, 63.

[23] 宋双居, 李 芝, 刘伟华, 等. 明胶/海藻酸钠缓释微胶囊的制备与控制释放性能研究 [J]. 河北农业大学学报, 2013, 36 (2): 90-93.

疡病的发生和危害与气候关系密切,气候适宜时蔓延扩散极快,且难以根治,处理稍不及时极易造成毁园^[6-7]。据统计,2017 年猕猴桃溃疡病在四川省发病面积达 1.04 万 hm²,约为全省猕猴桃种植面积的 26%,对产业发展造成极大威胁。

气象因素是影响病虫害发生、消长和蔓延流行的重要环节变量,全球乃至区域性气候的改变,对病虫害有重要的影响^[8-9]。气候变化会导致新病菌的出现,可改变病害的危害程度,促使次要病害的危害风险和分布范围增大,上升为主要病害。气候变暖通过改变病虫害的生活习性,如繁殖、生长和越冬等,进而影响其地理分布格局。猕猴桃溃疡病的发生与气象关系密切,因此探明气候变化对四川省猕猴桃溃疡病病菌分布的影响及对该病害的预测预报和风险区划具有重要意义^[10-11]。气候变化可改变原有正常气候条件下生存的寄主植物的生存范围,进而引起病害微生物和害虫的生境变化。气候变化引起的异常天气,客观上助长了病虫害的地理扩张^[12-13]。利用已有的气候数据评价已有病虫害的适生性,依据可能出现的气候情景评价分析未来的危害风险是极其必要的。最大熵(MaxEnt)模型是目前应用最多且评价很高的生态位模型软件,近年来在植保方面的应用包括重大病虫害气候适宜性的分析、检疫性病虫害入侵可能性的预测和气候变化对病虫害分布区影响的预估等^[14-16]。MaxEnt 模型通过已知的物种地理分布信息,结合环境变量,根据气候相似原理,计算指定生态位约束下物种分布规律的最理想状态,即熵最大时目标物种在预测地区的可能分布情况^[17]。研究表明,MaxEnt 模型较其他模型运行更稳定、操作简单、运算速度快,且在数据较少时准确性更高,已成为物种地理分布预测的首选模型^[18]。

本研究通过实地调查和查阅文献等方式获得猕猴桃溃疡病病菌的分布数据,结合当前和未来的气候数据,应用 MaxEnt 模型模拟并预测气候变化情景下猕猴桃溃疡病病菌在四川省的潜在分布,分析气候变化对其分布的影响,旨在为四川省猕猴桃溃疡病风险分析、预测预报和有效防控等提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 气候数据的来源与处理

当前和 RCP8.5 气候变化情景的数据分别从

Worldclim 和 CCAFS 数据库免费下载,选择栅格分辨率为 2.5 arc-minutes(约 4.5 km²)的数据集。选用最常用的 19 个生物气候变量作为初始环境变量导入 MaxEnt 软件,计算百分比贡献率。利用 Pearson 相关系数法消除共线性的影响,依据猕猴桃溃疡病的生物学特性,最终从 19 个生物气候变量中获得 7 个变量进行建模^[19](表 1)。

表 1 猕猴桃溃疡病病菌潜在地理分布的气候变量

变量	代码
年平均气温	Bio1
平均日较差	Bio2
温度季节性变化标准差	Bio4
最冷月最低温度	Bio6
最干季度平均温度	Bio9
年降水量	Bio12
最干月降水量	Bio14

1.2 分布数据的来源与处理

笔者所在课题组于 2015—2018 年对四川省猕猴桃主栽区的溃疡病发生情况进行全面地系统调查,记录了发病地的经度、纬度。猕猴桃溃疡病在新西兰、西班牙、法国、智利、日本、韩国等国家均有发生^[20-21],因此采用查询物种分布数据库和检索相关文献 2 种方式统计该病菌在全球其他地区的分布信息。查询的数据库为欧洲和地中海植物保护组织数据库(EPPO, <https://www.eppo.int/>)和全球物种多样性信息库(GBIF, <http://www.gbif.org/>)。上述分布点中有具体经纬度的直接应用,无经纬度的则查询全球地理信息集成数据库 GeoName 获得位置的经纬度。通过上述方式共获得 286 个分布点。参考张东方等的方法^[22]对分布数据进行有效筛选以避免空间自相关导致的误差,使用 ArcGIS 10.0 软件的统计分析功能计算并保留 1 条与网格中心最近的分布记录,最终获得 148 个分布点。分布记录导入 Excel 2010 中,格式为物种名+经度+纬度。

1.3 模型的构建和适生等级划分

将猕猴桃溃疡病病菌分布点数据导入 MaxEnt 模型时,设置 75% 的分布点数据用于建模,25% 的分布点数据用于验证模型;选择模型自带的刀切法(Jackknife)测定 7 个环境变量的重要性;环境变量与猕猴桃溃疡病病菌存在概率之间的 Logistic 关系图由 MaxEnt 的绘制响应曲线功能完成;其余参数均选择模型的默认值,重复运行 10 次进行建模^[23-24]。

MaxEnt 模型默认适生等级为 10 级,根据猕猴桃溃疡病在四川省的实际发生情况并结合相关文

献,利用 ArcGIS 的 Reclassify 功能对连续分布概率 (P) 进行重分类,划分方法如下:白色代表不适生区, $P < 0.2$;黄色代表低适生区, $0.2 \leq P < 0.4$;橙色代表中适生区, $0.4 \leq P < 0.8$;红色代表高适生区, $P \geq 0.8$ [25-26]。

1.4 模型模拟结果评价

本研究选用 ROC (receiver operating characteristic, ROC) 曲线法评价 MaxEnt 模拟结果的准确性。ROC 曲线其曲线下面积 (area under curve, AUC) 的大小是评估模型预测是否准确的指标 [22]。MaxEnt 模型固有模块可绘制 ROC 曲线,并计算 AUC。评估标准定义如下: AUC 取值范围为 [0.5, 0.6) 时,定义模型模拟结果为失败; AUC 取值范围为 [0.6, 0.7) 时,定义模型模拟结果为较差; AUC 取值范围为 [0.7, 0.8) 时,定义模型模拟结果为一般; AUC 取值范围为 [0.8, 0.9) 时,定义模型模拟结果为好; AUC 取值范围为 [0.9, 1.0] 时,定义模型模拟结果为很好 [27-28]。

2 结果与分析

2.1 模拟准确性检验

由表 2 可知,训练数据的 AUC 介于 0.915 ~ 0.970 之间,测试数据的 AUC 介于 0.924 ~ 0.956 之

间,表明构建的 5 个模型的模拟结果为很好,可用于后续分析。

表 2 RCP8.5 情景下 MaxEnt 模型的 AUC

年代	AUC	
	训练数据	测试数据
当前 (1950—2000 年)	0.915	0.924
21 世纪 30 年代	0.969	0.952
21 世纪 50 年代	0.972	0.953
21 世纪 70 年代	0.969	0.956
21 世纪 80 年代	0.970	0.956

2.2 当前气候情景下四川省猕猴桃溃疡病病菌地理分布预测

由图 1 可以看出,四川省猕猴桃溃疡病病菌高适生区位于成都市、德阳市、绵阳市、广元市、巴中市、达州市、雅安、乐山市、泸州市、宜宾市、广安市等,面积达 8.41 万 km²;中适生区在四川省 21 个地市(州)均有分布,面积为 13.32 万 km²;低适生区位于甘孜州、阿坝州、凉山州、攀枝花市、达州市等,面积为 1.18 万 km²。

2.3 RCP8.5 情景下四川省猕猴桃溃疡病病菌地理分布预测

RCP8.5 气候变化情景下,21 世纪 30 年代、50 年代、70 年代和 80 年代猕猴桃溃疡病病菌在四川

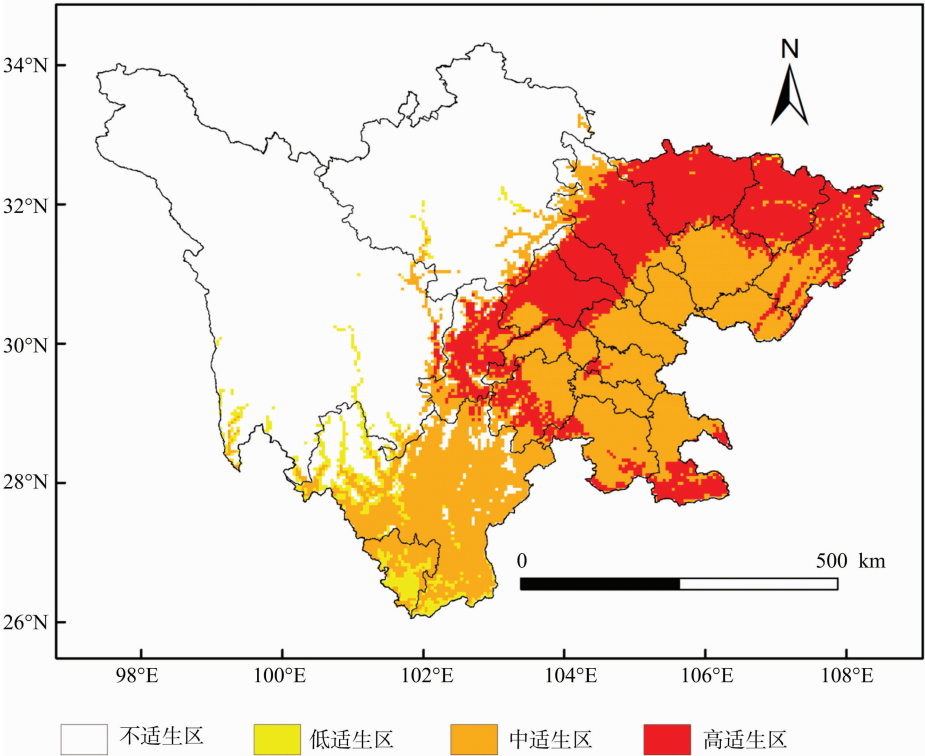


图1 基于 MaxEnt 模型预测的四川省猕猴桃溃疡病病菌适生区分布

省的潜在分布如图 2、表 3 所示。高适生区面积变化趋势如下:由当前的 8.41 万 km² 分别增加到 21 世纪 30 年代、50 年代、70 年代和 80 年代的 10.64 万、11.18 万、13.69 万、16.11 万 km²。中适生区面积变化趋势如下:首先由当前的 13.32 万 km² 分别增加至 21 世纪 30 年代、50 年代的 14.18 万、15.01 万 km²,然后分别减少至 70 年代和 80 年代的 12.69 万、10.89 万 km²。低适生区面

积未来增幅最大,由当前的 1.18 万 km² 分别增加至 21 世纪 30 年代、50 年代、70 年代和 80 年代的 8.29 万、8.34 万、6.79 万、6.77 万 km²。

2.4 四川省猕猴桃溃疡病病菌适生区质心位移轨迹

本研究计算了 RCP8.5 情景下四川省猕猴桃溃疡病病菌适生区的质心位移轨迹。由表 4 可以看出,高适生区质心由当前位置至 21 世纪 30 年代、21

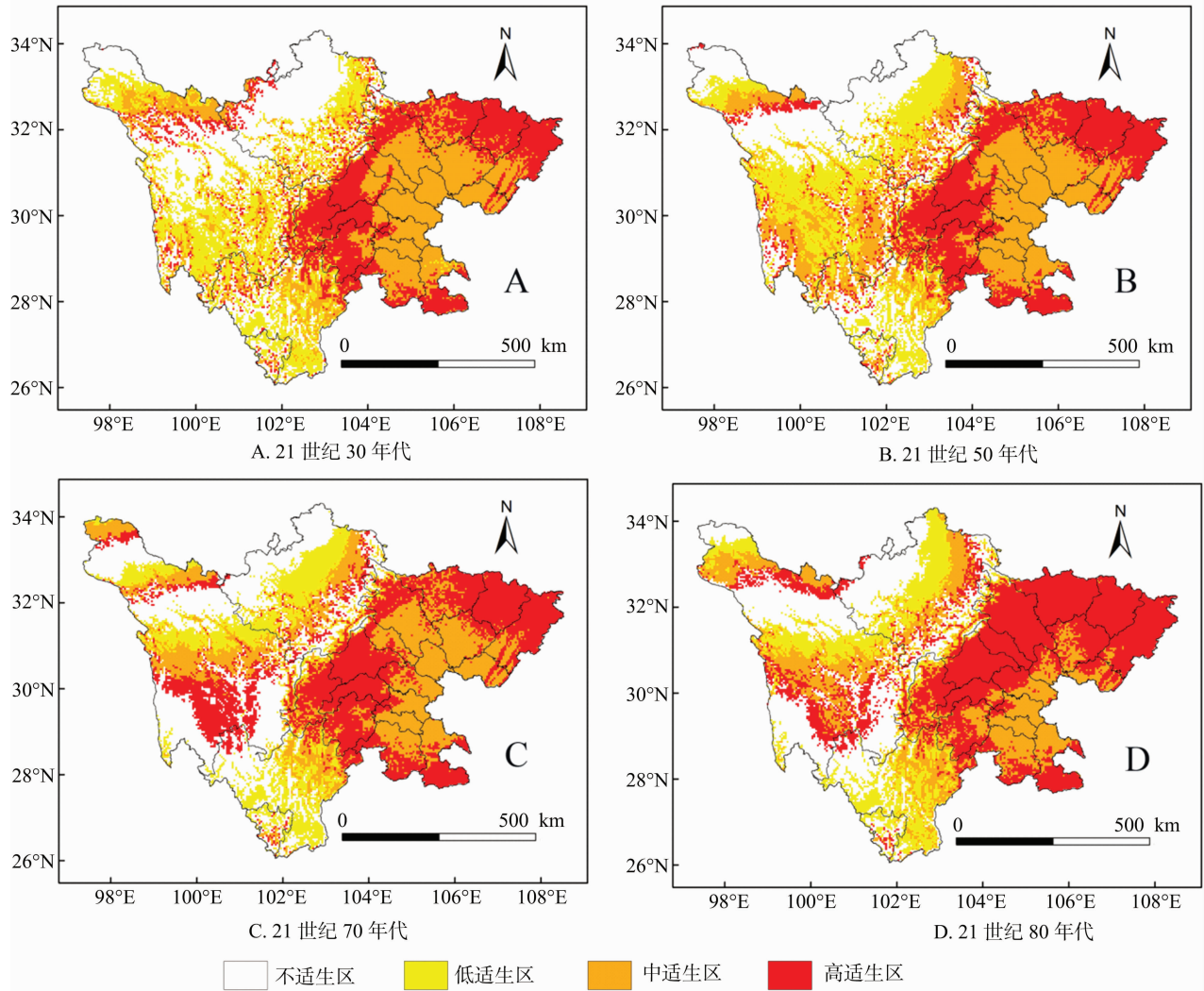


图2 RCP8.5 情景下四川省猕猴桃溃疡病病菌的适生区分布

表 3 当前及 RCP8.5 情景下四川省猕猴桃溃疡病病菌的适生区面积预测

年代	低适生区		中适生区		高适生区	
	预测面积 (万 km ²)	占当前情景预测面积 比例(%)	预测面积 (万 km ²)	占当前情景预测面积 比例(%)	预测面积 (万 km ²)	占当前情景预测面积 比例(%)
当前(1950—2000 年)	1.18		13.32		8.41	
21 世纪 30 年代	8.29	702.54	14.18	106.46	10.64	126.52
21 世纪 50 年代	8.34	706.78	15.01	112.69	11.18	132.94
21 世纪 70 年代	6.79	575.42	12.69	95.27	13.69	162.78
21 世纪 80 年代	6.77	573.73	10.89	81.76	16.11	191.56

世纪 30 年代至 50 年代、21 世纪 50 年代至 70 年代、21 世纪 70 年代至 80 年代依次沿西南 57.05 km、东南 8.00 km、西南 59.13 km 和东北 57.11 km 移动,至 21 世纪 80 年代总体上向西北方向移动 66.59 km。中适生区质心由当前位置至 21 世纪 30 年代、21 世纪 30 年代至 50 年代、21 世纪 50 年代至

70 年代、21 世纪 70 年代至 80 年代依次沿西北 62.51 km、西北 25.32 km、西北 17.83 km 和东北 11.77 km 移动,至 21 世纪 80 年代总体上向西北方向移动 103.13 km。由此可见,未来不同适生区几何中心位置和迁移规律均有所不同。

表 4 RCP8.5 情景下四川省猕猴桃溃疡病菌质心位移轨迹

时期	中适生区			高适生区		
	角度(°)	方向	位移(km)	角度(°)	方向	位移(km)
当前至 21 世纪 30 年代	148.70	西北	62.51	247.78	西南	57.05
21 世纪 30 年代至 50 年代	98.09	西北	25.32	293.82	东南	8.00
21 世纪 50 年代至 70 年代	109.57	西北	17.83	269.13	西南	59.13
21 世纪 70 年代至 80 年代	14.20	东北	11.77	44.20	东北	57.11
当前至 21 世纪 80 年代	136.14	西北	103.13	103.25	西北	66.59

3 讨论与结论

3.1 猕猴桃溃疡病菌在四川省的潜在分布

本研究中在当前气候情景下,四川省猕猴桃溃疡病菌高适生区主要位于成都市、德阳市、绵阳市、广元市、巴中市、达州市、雅安市等。适生区域(中适生区和高适生区)除在甘孜州和阿坝州外,在其他 19 个市(州)均有分布。2017 年,猕猴桃溃疡病在四川省 14 个市(州)发生,其中雅安市、成都市和广元市发病面积最大,分别占全省发生面积的 43%、37%、7%。对比此次预测结果和猕猴桃溃疡病菌在四川省的发生现状可知,除目前已知该病菌广泛分布在成都、雅安、广元等地以外,巴中、达州、广安等地也为该病菌适生等级较高的地区。由此推测,四川省猕猴桃溃疡病仍存在继续扩散的可能。因此上述高适生区中,已发现该病菌的地区必须及时采取相应措施进行防治,阻止该病菌向其他地区扩散蔓延;对于具备该病菌适生的寄主植物和气候条件的潜在适生分布区,应高度重视,加强检验检疫工作,防止该病菌的传入;猕猴桃溃疡病自 1986 年在我国湖南省被发现以来,在长期的扩散传播过程中产生了较高的种内遗传多样性^[29-30],且随着全球气候的变暖,当前的低适生区或不适生区有可能变为该病原菌的适生区,因此对于非适生区,仍应保持高度警惕。

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change,IPCC)第五次评估报告公布了 4 种气候变化情景,即 RCP2.6 情景、RCP4.5 情景、RCP6.0 情景和 RCP8.5 情景。

RCP8.5 情景下,由于缺乏应对气候变暖的有效措施,导致全球能源需求最高,温室气体排放量大,生态环境未得到有效改善,全球平均温度上升最多^[31]。本研究利用 MaxEnt 模型模拟 RCP8.5 情景下猕猴桃溃疡病菌在四川省适生区的分布变化,与当前情景相对比发现,高适生区和低适生区面积均明显增加,中、高适生区总体上均有向西北方向移动的趋势。说明未来气候变暖将使病菌适生范围扩大,且向高纬度移动明显,更利于病菌越冬和生长繁殖。因此未来四川盆地具备猕猴桃溃疡病大暴发的气候条件,防控任务依然艰巨。

3.2 模型的选择

MaxEnt 模型基于最大熵理论,利用物种分布数据和环境数据分析熵最大时物种的分布状态,得到国内外学者的认可。如 Elith 等对比了多种生态位模型的模拟性能,结果表明 MaxEnt 模型在 16 种模型中的预测精度最高^[32];Petitpierre 等应用生态位模型验证入侵生物的生态位保守性,表明 MaxEnt 模型为此项研究的有效工具,适合分析物种地理分布与气候之间的关系^[33];张海涛等应用 MaxEnt、GARP、BIOCLIM 和 DOMAIN 等 4 种模型预测福寿螺在我国的潜在适生区,结果表明,MaxEnt 模型的模拟效果显著优于其他模型^[34]。因此本研究选取 MaxEnt 作为模拟软件。

3.3 不足和局限性

研究表明,猕猴桃溃疡病发生流行的非生物因素除气候外,还与地形特征、土壤类型、土壤理化性状、猕猴桃栽培密度等息息相关^[35-38],本研究仅选择了气候因素进行模拟,可能对预测效果有一定影

响;其次,猕猴桃溃疡病病菌的分布数据主要来自实地调查、检索数据库和查阅文献,共获得 148 个全球分布点。对四川省全省猕猴桃溃疡病菌的调查虽较为系统,但也不能确保毫无遗漏。检索数据库和查阅文献获得的数据中,有的分布点无明确经纬度,通过坐标定位软件搜索地名确定,不可避免地存在一定的地理误差。因此下一步工作中,应着重解决上述问题,获取尽可能全面且准确的分布数据和气候数据,以为猕猴桃溃疡病的预测预报和科学防治提供参考。

参考文献:

- [1] 四川省“十三五”果树育种攻关项目组. 产学研协同创新为四川水果产业供给侧结构性改革发力[J]. 四川农业科技,2018(4): 56–58.
- [2] 顾颖,杨锦秀,傅雪梅. 果农选择经营组织模式的影响因素分析——基于四川省苍溪县猕猴桃产业调研[J]. 江苏农业科学,2017,45(8):342–345.
- [3] 涂美艳,黄昌学,陈栋,等. 四川猕猴桃产区溃疡病综合防治月历表[J]. 四川农业科技,2018(1):31–33.
- [4] 刘瑶,朱天辉,樊芳冰,等. 四川猕猴桃溃疡病的发生与病原研究[J]. 湖北农业科学,2013,52(20):4937–4942.
- [5] 任茂琼,余敖,李家慧,等. 四川省北川县猕猴桃溃疡病发生特点与综合防控技术示范[J]. 中国植保导刊,2018,38(11):55–57.
- [6] 王丽,周增强,侯琤,等. 我国猕猴桃细菌性溃疡病研究分析及防控[J]. 中国南方果树,2017,46(2):178–182.
- [7] 潘慧,胡秋龄,张胜菊,等. 贵州六盘水市猕猴桃病害调查及病原鉴定[J]. 植物保护,2018,44(4):125–131,137.
- [8] 张蕾,霍治国,王丽,等. 气候变化对中国农作物虫害发生的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(6):1499–1507.
- [9] 王丽,霍治国,张蕾,等. 气候变化对中国农作物病害发生的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(7):1673–1684.
- [10] 郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J]. 应用气象学报,2015,26(1):1–11.
- [11] 周广胜. 气候变化对中国农业生产影响研究展望[J]. 气象与环境科学,2015,38(1):80–94.
- [12] 霍治国,李茂松,王丽,等. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(10):1926–1934.
- [13] 叶彩玲,霍治国,丁胜利,等. 农作物病虫害气象环境成因研究进展[J]. 自然灾害学报,2005,14(1):90–97.
- [14] 史丽,申荣荣,白娟. 昆虫适生性分析的研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2017,38(1):119–126.
- [15] 赵力,李慧琪,朱耿平,等. 入侵害虫椰子木蛾(鳞翅目:木蛾科)在我国的潜在分布[J]. 林业科学,2015,51(10):93–100.
- [16] 张超,陈磊,田呈明,等. 基于 GARP 和 MaxEnt 的云杉矮槲寄生分布区的预测[J]. 北京林业大学学报,2016,38(5):23–32.
- [17] 朱耿平,刘国卿,卜文俊,等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. 生物多样性,2013,21(1):90–98.
- [18] 许仲林,彭焕华,彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法

- [J]. 生态学报,2015,35(2):557–567.
- [19] 张天蛟,刘刚. 提高生态位模型时间转移能力的方法研究[J]. 中国农业大学学报,2017,22(2):98–105.
- [20] Wilstermann A, Schrader G, Kehlenbeck H, et al. Potential spread of kiwifruit bacterial canker (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) in Europe[J]. EPPO Bulletin,2017,47(2):255–262.
- [21] Ferrante P, Scortichini M. Redefining the global populations of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* based on pathogenic, molecular and phenotypic characteristics[J]. Plant Pathology,2015,64(1):51–62.
- [22] 张东方,张琴,郭杰,等. 基于 MaxEnt 模型的当归全球生态适宜区和生态特征研究[J]. 生态学报,2017,37(15):5111–5120.
- [23] 叶永昌,周广胜,殷晓洁. 1961—2010 年内蒙古草原植被分布和生产力变化——基于 MaxEnt 模型和综合模型的模拟分析[J]. 生态学报,2016,36(15):4718–4728.
- [24] 万基中,王春晶,韩士杰,等. 应用 GIS 和 MaxEnt 预测南方红豆杉潜在地理分布及其保护建议[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):349–352.
- [25] 赵文娟,陈林,丁克坚,等. 利用 MAXENT 预测玉米霜霉病在中国的适生区[J]. 植物保护,2009,35(2):32–38.
- [26] 孙颖,秦大河,刘洪滨. IPCC 第五次评估报告不确定性处理方法的介绍[J]. 气候变化研究进展,2012,8(2):150–153.
- [27] 赵晶晶,高丹,冯纪年. 基于 MaxEnt 模型的葡萄根瘤蚜在中国的适生性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(11):99–104,112.
- [28] 王雷宏,杨俊仙,徐小牛. 基于 MaxEnt 分析金钱松适生的生物气候特征[J]. 林业科学,2015,51(1):127–131.
- [29] 高小宁,郑州,赵志博,等. 陕西省猕猴桃细菌性溃疡病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) Rep-PCR 的遗传多样性分析[J]. 果树学报,2016,33(3):340–349.
- [30] 朱海云,李勃,李燕,等. 丁香假单胞菌猕猴桃致病变种的遗传多样性及进化关系[J]. 微生物学杂志,2013,33(4):66–71.
- [31] 秦大河,Stocker T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):1–6.
- [32] Elith J, Graham C H, Anderson R P, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography,2006,29(2):129–151.
- [33] Petitpierre B, Kueffer C, Broennimann O, et al. Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders[J]. Science,2012,335(6074):1344–1348.
- [34] 张海涛,罗渡,牟希东,等. 应用多个生态位模型预测福寿螺在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报,2016,27(4):1277–1284.
- [35] 冯华,李海洲. 周至县猕猴桃溃疡病流行规律及其综合防治措施[J]. 中国植保导刊,2009,29(11):29–30,28.
- [36] 李有忠,宋晓斌,张学武. 猕猴桃细菌性溃疡病发生规律研究[J]. 西北林学院学报,2000,15(2):53–56.
- [37] 李瑶,承河元,方书苗,等. 猕猴桃细菌性溃疡病流行预测初探[J]. 应用生态学报,2001,12(3):355–358.
- [38] 任平,阮祥稳,赵文娟,等. 猕猴桃溃疡病 P-L 菌株诱导植株系统的抗性[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):109–111.