

调查 研究

Investigations

马铃薯晚疫病 CARAH 预警模型在 我国的应用及评价

黄 冲¹, 刘万才^{1*}, 张 斌²

(1. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 2. 贵州省贵阳市植保植检站, 贵阳 550080)

摘要 CARAH 预警模型引入我国后, 在马铃薯晚疫病监测预警中发挥了重要作用。本文对目前各地 CARAH 模型的应用情况进行了综合分析, 总结了模型在马铃薯晚疫病中心病株出现时间预测、发生程度风险评估、防治效果等方面的作用, 分析了品种抗性、区域气候特征等因素对模型应用的影响, 提出了进一步研究和完善建议。

关键词 马铃薯晚疫病; 致病疫霉; CARAH 模型; 应用效果; 评价

中图分类号: S 431.9, S 435.32 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.04.028

Application and assessment of a warning model, CARAH, for potato late blight in China

Huang Chong¹, Liu Wancai¹, Zhang Bin²

(1. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 2. Guiyang Plant Protection and Plant Quarantine Station, Guizhou Province, Guiyang 550080, China)

Abstract The model, CARAH, played an important role in potato late blight warning, forecasting and disease control after application in China. Forecasting of appearance date of diseased plants, assessment of disease occurrence and control effect assisted by the model in some potato production areas in China were analyzed and assessed. Factors affecting the model, such as cultivar resistance, regional climate, etc., were also analyzed and some advices were proposed to further the research and application of the model.

Key words potato late blight; *Phytophthora infestans*; CARAH model; application effect; assessment

马铃薯是世界以及我国的第四大粮食作物。马铃薯晚疫病流行性强、危害重, 在我国马铃薯主产区造成严重的产量损失, 是制约马铃薯产业发展的关键因素之一^[1-3]。该病害是一种典型的气候型流行性病害, 湿度、温度是决定该病发生流行的关键因素, 准确预报和开展预防是防治该病的关键^[1]。近年来, 国内外学者研制了很多马铃薯晚疫病预测模型, 在马铃薯晚疫病监测预警上发挥了重要作用^[4-6], 如我国学者研制的 MISP 模型及相应的预警系统^[7]已用于指导大田防治。2001 年以来, 谢开云等引入了比利时 CARAH 模型, 并在重庆马铃薯主产区进行模型试验和示范推广, 随后在我国其他产区陆续推广应用^[4], 取得不错的效果。

比利时埃诺省农业应用研究中心(Centre for Ap-

plied Research in Agriculture-Hainaut, CARAH)研发的 CARAH 预警模型, 是基于病原菌和寄主都存在的条件下, 利用气象因子, 主要是湿度和温度对马铃薯晚疫病菌致病疫霉侵染的影响, 按照一定的模型规则判定致病疫霉能否侵染, 以及侵染的严重程度^[4]。该模型经重庆、贵州、宁夏、内蒙古、甘肃等地推广应用, 比较符合我国马铃薯晚疫病流行规律, 在该病害监测预警和防控指导中发挥了重要作用。为扩大模型应用, 我国基于 webGIS 开发了马铃薯晚疫病实时监测预警物联网^[8], 通过在马铃薯主产区布置田间监测设备, 实现了对马铃薯晚疫病全国实时监测预警, 在马铃薯晚疫病监测预警中发挥着重要作用。

由于我国马铃薯产区具有南北跨度大、区域气候复杂、品种多样等特点, CARAH 预警模型在各产区

收稿日期: 2016-09-02 修订日期: 2016-11-15

基金项目: 农业部农作物病虫害疫情监测防控项目

* 通信作者 E-mail: liuwancai@agri.gov.cn

的应用不能够一概而论,还需要结合当地实际进行参数调整和试验校验。近年来,各地针对该模型在当地的应用情况做了一些有益的探索和试验,摸索了不同地区、不同抗性品种、不同海拔高度下模型应用的关键技术,实现了模型的本地化。本文系统梳理了CARAH模型引进后在我国各马铃薯产区的应用情况,评估了该模型在马铃薯晚疫病中心病株出现时间预测、发生程度评估,以及模型指导防控的效果等,分析了品种抗性、种植区域、海拔、病菌种群结构等因素对模型应用的影响,以更好地促进模型在各地的推广应用。

1 CARAH模型及其在我国的应用概况

1.1 CARAH模型

CARAH模型基于感病品种和病原菌存在的条

件下,假设马铃薯晚疫病病菌致病疫霉在一定的温度下经过一定时间的湿润期可以成功侵染马铃薯叶片,引致发病。当马铃薯生长季节温湿度条件符合表1中的任何一种侵染条件时,晚疫病病菌的孢子将进入叶片内开始侵染过程,一定温度下,湿润期持续时间越长,马铃薯晚疫病侵染越重(表1)^[4]。按照模型规定,病菌侵入后,按照不同日平均温度进行积分(表2),当分值累加达到7分时,表明此次侵染结束。在比利时,过去采用Guntz-Divoux的方法进行分值计算,但由于近年来生理小种等的变化,现在一般采用Conce参数进行分值计算^[4,9]。根据该模型,当第3代第1次侵染湿润期形成后,田间感病品种将出现发病中心,据此对马铃薯晚疫病进行监测预警。

表1 致病疫霉侵染严重程度与湿润期持续时间和湿润期间平均温度的关系参数表¹⁾

Table 1 Relationship between infection of *Phytophthora infestans* and duration and average temperature during humid periods

平均温度/℃ Average temperature	湿润期/h Humid period			
	轻 Mild	中等 Moderate	重 Severe	极重 Extremely severe
7	16.50	19.50	22.50	25.50
8	16.00	19.00	22.00	25.00
9	15.50	18.50	21.50	24.50
10	15.00	18.00	21.00	24.00
11	14.00	17.50	20.50	23.50
12	13.50	17.00	19.50	22.50
13	13.00	16.00	19.00	21.50
14	11.50	15.00	18.00	21.00
15	10.75	14.00	17.00	20.00
16	—	13.00	16.00	19.00
17	—	12.00	15.00	18.00
18	—	11.00	14.00	17.00

1) 表中数据引自谢开云等^[4],湿润期表示相对湿度大于90%的持续时间。如果湿润期被中断的时间不超过3h,该湿润期将连续计算;如果中断的时间超过4h,则应计算为两个不同的湿润期;侵染湿润期持续超过48h,则每24h形成1次侵染湿润期,侵染程度为极重。

Data in the table were cited from Xie Kaiyun, et al^[4]. Humid period (HP) means duration when relative humidity>90%. If HP is broken less than three hours, the HP will be considered as a continuous humid period. If HP is broken more than four hours, the HP will be considered as two different ones. If HP>48 hours, the every 24 hours was considered as one HP, and the infection will be extremely severe.

表2 Conce参数表

Table 2 Conce value

温度范围/℃ Temperature	得分 Score
≤8	0
8.1~12	0.75
12.1~16.5	1
16.6~20	1.5
≥20.1	1

1.2 CARAH模型在我国的应用概况

截至2015年底,全国12个省(自治区、直辖市)244个县(市、区)安装了377个马铃薯晚疫病监测预警田间小气候监测仪(表3),平均每个主产区安装1.7个,重庆、甘肃、内蒙古、贵州等省(自治区、直辖市)马铃薯主产区基本实现全覆盖,其他省份也在

加密布局田间监测点,进一步提高覆盖度。重庆、贵州、甘肃等地的研究表明,基于CARAH模型的马铃薯晚疫病实时监测预警系统可准确预测马铃薯晚疫病中心病株出现的时间。在贵阳、巫溪、渭源等地对感病品种马铃薯晚疫病中心病株出现时间的预测与田间查见时间基本一致;据其指导马铃薯晚疫病防治可减少用药次数、提高防治效果^[10-12]。各主产区省区开发了基于CARAH模型的本省马铃薯晚疫病监测预警系统,并构建了全国统一平台,马铃薯主产区省份实现了马铃薯晚疫病全国联网自动监测^[8]。马铃薯晚疫病监测预警能力大大增强,在指导马铃薯晚疫病防控和促进马铃薯产业健康发展中发挥了重要作用。

表 3 全国各省份马铃薯晚疫病田间监测点布置情况

Table 3 Monitoring sites for potato late blight in China

省份 Province	市数/个 Number of cities	县数/个 Number of counties	监测点数/个 Number of monitoring sites	平均每县监测点数/个 Average number of monitoring sites in a county
重庆 Chongqing	—	26	82	3.2
贵州 Guizhou	9	47	69	1.5
四川 Sichuan	7	16	21	1.3
云南 Yunnan	6	14	20	1.4
黑龙江 Heilongjiang	4	6	7	1.2
内蒙古 Inner Mongolia	7	33	68	2.1
甘肃 Gansu	10	24	26	1.1
陕西 Shaanxi	5	23	32	1.4
宁夏 Ningxia	5	13	23	1.8
山西 Shanxi	6	7	7	1.0
山东 Shandong	1	1	1	1.0
湖北 Hubei	9	14	21	1.5
合计 Total	69	244	377	1.7

2 CARAH 模型在我国马铃薯晚疫病监控中的应用效果评价

2.1 中心病株出现时间预测及评价

中心病株出现时间预测是开展马铃薯晚疫病发生趋势预报和指导防治的关键。根据 CARAH 模型原理,对于感病品种,田间中心病株出现时间在致病疫霉发生第 3 代第 1 次侵染湿润期形成后,得分在 3~7 分之间^[4,9]。但由于我国马铃薯产区分布广,南北气候差异极大,受病原菌生理小种复杂、田间初侵染菌源、地域性气候差异显著、品种抗性不同等因素的影响,不同地区、不同品种及同一品种在不同地区,马铃薯晚疫病中心病株出现时间会存在差异。因此利用 CARAH 模型预测中心病株出现时间,不能简单地照搬模型本身,需要结合当地实际情况,经过 2~3 年的试验校验后再确定当地不同抗性品种

马铃薯晚疫病中心病株出现时间预测的侵染代次。

通过梳理 2010 年以来我国各马铃薯产区应用 CARAH 模型预测马铃薯晚疫病的实践案例,发现不论是西南马铃薯晚疫病常发区,还是北方马铃薯晚疫病偶发区,该模型对田间马铃薯晚疫病中心病株出现时间的预测是比较准确的(表 4)。对于感病品种,如‘费乌瑞它’等,根据 CARAH 模型在致病疫霉发生第 3 代第 1 次侵染后开始田间调查,一般在第 3 代第 1 次侵染得分 4~7 分期间田间可查见中心病株,误差一般不超过 3 d^[13];而对于抗性品种,如‘宣薯 2 号’等,一般在致病疫霉发生第 5~6 代第 1 次侵染时田间方可查见中心病株^[14]。但是受品种抗性、气候特征、病菌群体等因素的影响^[14-15],也有与上述规则表现不一致的现象,如感病品种‘费乌瑞它’在重庆石柱县 2012 年中心病株出现时间发生在第 5 代第 3 次侵染^[16-17]。

表 4 马铃薯晚疫病中心病株出现时间 CARAH 模型预测与田间调查比较¹⁾

Table 4 Comparison of appearance dates of diseased plant between CARAH model and field surveys

马铃薯产区 Planting area	年份 Year	地点(海拔/m) Site (altitude)	品种 Cultivar	抗性 Resistance	田间中心病株 出现时间/月一日 Appearance date of diseased plant	CARAH 模型对应代次、分值 Infection generation and number in CARAH model		数据来源 Data from
						代次 Infection generation	分值 Score	
贵州 Guizhou	2014	修文(1 270)	费乌瑞它	HS	04-14	3 代 1 次	7.0	[10,14,18]
		息烽(1 580)	费乌瑞它	HS	04-29	3 代 1 次	5.5	
		开阳(1 320)	费乌瑞它	HS	04-28	3 代 1 次	7.0	
贵州 Guizhou	2015	三都(880)	费乌瑞它	HS	03-18	3 代 1 次	4.0	[14]
		荔波(410)	费乌瑞它	HS	02-27	3 代 1 次	4.5	
		施秉(720)	费乌瑞它	HS	03-30	3 代 1 次	7.75	

续表 4 Table 4(Continued)

马铃薯产区 Planting area	年份 Year	地点(海拔/m) Site (altitude)	品种 Cultivar	抗性 Resistance	田间中心病株 出现时间/月-日 Appearance date of diseased plant	CARAH 模型对应代次、分值 Infection generation and number in CARAH model		数据来源 Data from
						代次 Infection generation	分值 Score	
	2013	渭源	—	—	07-24	3代1次	—	[11]
	2014	渭源	—	—	07-23	3代1次	—	
		修文(1 270)	宣薯 2 号	R	04-28	5代1次	5.75	
		息烽(1 580)	宣薯 2 号	R	05-13	5代1次	2.0	
		开阳(1 320)	宣薯 2 号	R	05-12	5代1次	4.5	
		修文(1 270)	中薯 3 号	S	04-14	3代1次	7.0	
		息烽(1 580)	中薯 3 号	S	05-03	3代1次	0	
贵州 Guizhou	2014	开阳(1 320)	中薯 3 号	S	04-28	3代1次	7.0	[10]
		修文(1 270)	黑美人	R	05-05	6代1次	1.5	
		息烽(1 580)	黑美人	R	05-13	5代1次	2.0	
		开阳(1 320)	黑美人	R	05-12	5代1次	4.5	
		修文(1 270)	黑金刚	R	04-28	5代1次	5.75	
		息烽(1 580)	黑金刚	R	05-13	5代1次	2.0	
		开阳(1 320)	黑金刚	R	05-14	5代1次	7.5	
四川 Sichuan	2014	九龙	川芋	S	07-07	3代1次	—	[19]
		修文	—	—	04-07	3代1次	7.0	
		荔波	—	—	03-01	3代1次	7.0	
贵州 Guizhou	2013	威宁	—	—	06-08	3代1次	7.0	[13]
		遵义	—	—	04-09	3代1次	7.0	
		水城	—	—	05-30	3代1次	7.0	
甘肃 Gansu	2012	渭源	费乌瑞它	HS	06-25	*	—	[17]
		渭源(2 200)	克新系列	—	07-10	5代1次	—	
	2010	石柱(1 100)	石引 08-1	S	05-09	5代1次	5.0	
重庆 Chongqing	2011	石柱(1 100)	费乌瑞它	HS	05-21	5代3次	6.0	[16]
	2010	丰都(1 500)	鄂薯 5 号	MR	05-23	3代1次	3.0	
	2011	丰都(1 500)	中薯 3 号	S	05-31	4代1次	—	

1) “—”表示未知。*:3代1次的时间是6月18日。R、MS、S、HS分别表示该品种为抗病、中度感病、感病、高度感病。
“—” indicates the data was unavailable. *: Date of first infection of the third generation is June 18. R, MS, S and HS indicate the cultivar is resistant, moderate susceptible, susceptible and highly susceptible to *Phytophthora infestans*, respectively.

2.2 病害发生程度预测与评估

根据 CARAH 模型原理,气候条件适宜时,致病疫霉感染代次会增多,且一定温度范围内温度越高感染的风险就越大^[4],致病疫霉的感染情况应与田间马铃薯晚疫病发生流行情况存在一定的相关性。根据各地的试验结果(表 5)和 2014—2015 年全国监测分析,对于抗性较差的马铃薯品种来说,当致病疫霉重度及以上的发生比例占到 50%以上(在西

南产区,一般出现 10 代 40 次以上感染),如果未来 10~15 d 天气预报为阴雨天气,田间马铃薯晚疫病发生程度一般可达到偏重至大发生(4~5 级);当中度及以下感染占 50%以上(一般发生 5~9 代感染),田间发生程度一般为中等发生(3 级);当中度及以下感染占 80%以上(一般 5 代以下感染),一般田间为偏轻以下发生(表 6)。以上现象根据现有试验总结分析得出,仍需要更多的试验结果佐证,加以修正。

表 5 致病疫霉感染程度与病情指数的关系¹⁾

Table 5 Relationships between infection of *Phytophthora infestans* and disease index

年度 Year	品种 Cultivar	感染代数 Number of infected generation	感染次数 Number of infection	各感染程度发生次数 Number of different infections				感染比例/% Ratio		病情指数 Disease index	发生程度 Occurrence level	数据来源 Data from
				轻	中	重	极重	重度	中度			
2013	陇薯 3 号	15	39	9	8	4	18	56.4	43.6	24.9	—	[20]

续表 5 Table 5(Continued)

年度 Year	品种 Cultivar	侵染代数 Number of infected generation	侵染次数 Number of infection	各侵染程度发生次数 Number of different infections				侵染比例/% Ratio		病情指数 Disease index	发生程度 Occurrence level	数据来源 Data from
				轻	中	重	极重	重度	中度			
2014	费乌瑞它	11	65	3	15	6	41	72.3	27.7	82.7	—	
	费乌瑞它	11	60	2	4	7	47	90.0	10.0	89.8	—	[18]
	费乌瑞它	11	51	5	8	4	34	74.5	25.5	83.2	—	
2013	中薯 3 号	10	40	—	—	—	—	—	—	100	—	[24]
	中薯 3 号	10	47	—	—	—	—	—	—	91.8	—	
2006	青薯 8 号	—	7	—	—	—	—	—	—	33	—	[15]
2007	青薯 8 号	—	9	—	—	—	—	—	—	9	—	
2012	—	6	14	2	4	4	4	57.1	43.9	46	—	
2013	—	6	17	6	5	6	—	35.3	64.7	34	—	[11]
2014	—	5	7	6	1	—	—	0	100	8	—	
2010	费乌瑞它	6	19	2	4	3	10	68.4	31.6	23.23	—	[9]
2010	—	10	47	9	16	4	18	46.8	53.2	>80	—	[5]
2011	—	5	10	2	2	4	2	60	40	15.15	—	
2012	—	8	13	3	3	3	4	53.8	46.2	12.19	—	[21]
2013	—	8	20	4	5	5	6	55	45	14.8	—	
2013	—	14	65	9	14	14	28	64.6	35.4	—	4~5	
	—	12	47	12	5	5	22	57.4	42.6	—	4~5	
	—	11	48	9	11	11	20	65.2	34.8	—	4~5	
	—	10	47	9	6	6	23	61.7	38.3	—	4~5	[13]
	—	8	21	2	11	3	4	33.3	66.7	—	3	
	—	4	13	6	2	2	2	30.8	69.2	—	2	

1) “—”表示无该项数据。发生程度 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级分别为轻发生、偏轻发生、中等发生、偏重发生和大发生。

“—”: the data were not obtained. Occurrence level of 1, 2, 3, 4, 5 means that potato late blight occurs mildly, relatively mildly, moderately, severely and extremely severely, respectively.

表 6 致病疫霉侵染情况与田间马铃薯晚疫病发生程度的可能关系

Table 6 Possible relationships between infection of *Phytophthora infestans* and occurrence level in the field

侵染代数 Infection	重度及以上侵染比率 r Ratio of severe and extremely severe infection	中度及以下侵染比率 r Ratio of moderate and mild infection	田间发生程度 Occurrence level in field
10 代以上	$r > 50\%$	—	偏重至大发生(4~5 级)
5~9 代	—	$50\% \leq r < 80\%$	中等发生(3 级)
5 代以下	—	$r \geq 80\%$	偏轻以下发生(1~2 级)

2.3 防治策略及防治效果分析

2.3.1 不同抗性品种马铃薯晚疫病防控策略

马铃薯晚疫病是一种流行性病害,重在预防,一般需在致病疫霉发生侵染前后开展预防。因此,制定科学的防治策略是发挥 CARAH 模型作用的关键,CARAH 模型对中心病株出现时间及其后侵染的预测为田间马铃薯晚疫病的预防和防治提供了依据。近些年来,各地依据 CARAH 模型指导马铃薯晚疫病的试验和探索表明,依据 CARAH 模型指导防治可提高马铃薯晚疫病的防效。但由于不同抗性品种在不同区域,马铃薯晚疫病中心病株出现时间存在差异,防控策略上不应拘于成规,应分类指导。西南产区经过近年的试验和摸索,已初步形成了适合当地的防控策略(表 7);北方主产区建议在参考西南地区防控策略的基础上,感病品种从致病疫霉

第 3、4 代、抗病品种从第 5、6 代,在第 1 次侵染积分达 4~6 分时开始第 1 次保护剂喷药防治,以后间隔 7~10 d 用治疗性药剂防治 1 次^[20],但仍需要开展相关试验,制定更有针对性、更科学的防控策略。

(1) 高感品种。出苗始见期后 30 d 内,致病疫霉第 3 代第 1 次侵染生成后,根据未来 5 d 内天气预报提供的温度数据,对照 Conce 分值计算,每代第 1 次侵染湿润期 Conce 分值预计达 3~7 分时,选用保护性杀菌剂进行防治;出苗始见期 30 d 后至收获期内,预计每代第 1 次侵染湿润期 Conce 分值预计达 3~7 分时选用治疗性杀菌剂进行防治,直至马铃薯叶片全部枯黄为止。

(2) 中感品种。在苗期至现蕾期内,从致病疫霉第 5 代第 1 次侵染生成开始,根据未来 5 d 内天气预报提供的温度数据,对照 Conce 分值计算,每代第 1

次侵染湿润期 Conce 分值预计达 3~7 分时选用保护性杀菌剂进行防治;在花期至收获期内,每代第 1 次

侵染湿润期 Conce 分值预计达 3~7 分时选用治疗性杀菌剂进行防治,直至马铃薯叶片全部枯黄为止。

表 7 CARAH 模型指导下的马铃薯晚疫病防控策略

Table 7 Control strategy for potato late blight under guidance of CARAH model

品种类型 Cultivar resistance	生育期 Growth period	施药时间 Application time	喷施药剂 Fungicide
高感品种 HS variety	出苗始见期 30 d 内 出苗 30 d 后至收获期	3 代 1 次及以后各代 1 次侵染 Conce 分值达 3~7 分时	喷施保护性杀菌剂 喷施治疗性杀菌剂
中感品种 MS variety	苗期至现蕾期 花期至收获期	5 代 1 次及以后各代 1 次侵染 Conce 分值达 3~7 分时	喷施保护性杀菌剂 喷施治疗性杀菌剂

2.3.2 CARAH 模型指导下的防控效果分析

CARAH 模型要求高度感病品种在致病疫霉第 3 代及其以后每代第 1 次侵染时要进行保护剂防治,错过时间需及时喷施治疗性杀菌剂进行防治。从各地试验的结果看,依据 CARAH 模型指导的马铃薯晚疫病防治都取得了比较好的防治效果^[9,13, 20-25]。相对于

农民自防或习惯防治,CARAH 模型指导下的防治,防效可达 56.6%~67.3%,高的达 97.6%~100%;相对于未防对照,防效一般在 74.4%~100%,防治较差的也在 57.9%~65.2%。增产幅度在 12.3%~29.4% (表 8),对防止马铃薯晚疫病蔓延危害,挽回产量损失发挥了较大作用。

表 8 CARAH 模型指导下的马铃薯晚疫病防治效果

Table 8 Control effect of potato late blight under guidance of CARAH model

地点 Site	年份 Year	品种 Cultivar	田间最终病情指数 Final disease index			相对防效/% Relative control effect		增产率/% Yield increasing rate	数据来源 Data from
			CARAH	自防 Common control	对照 CK	自防 Common control	对照 CK		
四川雅安 Ya'an, Sichuan	2010	南湖塔	0	64.00	88	100	100	—	[23]
	2013	中薯 3 号	23.74	—	100	—	76.60	—	
		中薯 3 号	23.48	—	91.78	—	74.40	—	
贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	2014	费乌瑞它	13.44	—	82.00	—	83.68	—	[24]
		费乌瑞它	10.00	—	83.19	—	87.98	—	
		费乌瑞它	19.96	—	100	—	80.04	—	
	2010	—	—	—	—	67.34	78.41	17.16	
贵州威宁 Weining, Guizhou	2011	—	—	—	—	67.21	75.17	21.63	[25]
	2012	—	—	—	—	66.53	77.52	14.23	
贵州修文 Xiuwen, Guizhou	2010	费乌瑞它	0.28	11.42	23.23	97.55	98.79	—	[9]
贵州荔波 Libo, Guizhou	2013	—	0.38	18.11	35.55	97.90	98.93	—	[13]
贵州修文 Xiuwen, Guizhou		—	2.63	14.00	—	81.21	—	—	
宁夏固原 Guyuan, Ningxia	2012	陇薯 3 号	30.80	—	88.60	—	65.24	14.81	[26]
	2011	—	6.38	—	15.15	—	57.90	32.30	
	2012	—	4.59	—	12.19	—	62.40	29.20	[21]
宁夏西吉 Xiji, Ningxia	2013	—	4.10	—	14.80	—	72.30	29.40	
		陇薯 7 号	2.70	—	20.00	—	86.50	23.30	
		天薯 11	4.20	—	22.50	—	81.33	14.85	[20]
甘肃天水 Tianshui, Gansu	2013	陇薯 3 号	8.90	—	24.90	—	64.16	12.34	
		陇薯 3 号	5.20	—	18.50	—	71.89	23.81	
		大白花	4.45	—	32.50	—	86.31	25.00	[17]
甘肃榆中 Yuzhong, Gansu	2009	陇薯 5 号	4.15	—	35.50	—	88.31	29.27	

3 影响 CARAH 模型准确性的因素

病害流行是寄主、病原菌、环境以及人的影响作

用的综合系统。对于马铃薯晚疫病,相同品种在不同气候环境、不同菌源结构下,晚疫病的流行规律也有差异。品种抗性、病菌种群结构及区域环境都会

影响 CARAH 模型的准确性。

3.1 品种抗性的影响

培育抗性品种是防控马铃薯晚疫病最直接、最经济的方法。品种抗性机制不同,有的表现出抗侵入,有的表现出抗扩散等,都将影响 CARAH 模型参数及其准确性。已有研究表明,CARAH 模型用于不同抗性的马铃薯品种时,晚疫病田间中心病株出现时间预测的代次是不同的,即使是同一品种在不同区域也存在差异。感病品种是符合 CARAH 模型最初设计的,而对于抗病品种经常在致病疫霉发生第 5~6 代第 1 次侵染时,田间方可查见中心病株(表 4)。目前的研究初步明确了 CARAH 模型在我国应用于不同抗性品种的基本规律,但尚没有建立抗性指数与中心病株出现时间预测的定量关系。此外,品种的生育期长短也对 CARAH 模型产生影响,目前生产上早熟品种一般为感病品种,而中晚熟品种一般比较抗病。研究表明,早熟品种在致病疫霉发生第 3 代第 1 次、中晚熟品种在第 4 代第 1 次以后田间才会发现中心病株^[11]。

3.2 种植区域环境的影响

气候因素,特别是湿度和温度,决定着致病疫霉的侵入和侵入风险程度。因此,任何影响马铃薯种植区域环境的因素也将影响 CARAH 模型的应用,如海拔、干旱、冷凉气候等。海拔对 CARAH 模型的影响是通过影响湿度、温度等区域气候特征表现的(表 3)^[10]。由于 CARAH 模型是基于感病品种在常年湿度较高的区域研制的,干旱气候特征对模型应用存在影响。研究表明,由于宁夏西吉常年为干旱气候,湿度低,对湿润期的计算 4 h 比 8 h 更符合宁夏西吉的马铃薯种植区域气候特征^[15]。在高寒地区,CARAH 模型比较符合当地晚疫病发生规律^[11]。

3.3 病原菌群体结构的影响

病原菌群体结构对 CARAH 模型的影响,是通过品种抗性表现的。根据基因对基因假说,寄主的抗性基因和病菌的致病基因是对应的,在生产上马铃薯品种多为垂直抗性品种,对少数生理小种存在抗性,且在选择压力大的情况下抗性也会衰退。同一个品种对不同的病菌群体结构的抗性表现是不一样的,因此即使针对同一个品种,CARAH 模型在不同地区的适用性也会存在差异。寄生适合度可衡量马铃薯和致病疫霉的互作关系^[27],笔者认为应考虑将寄生适合度作为 CARAH 模型应用的参考之一。

4 讨论

中心病株出现时间预测对马铃薯晚疫病的防控至关重要,国内外大多数的预警模型也多集中在对中心病株出现时间的预测上^[4]。从 CARAH 模型原理看,模型本身的运行是相对独立的,即使在马铃薯非生长季节,根据田间的湿度、温度条件,模型仍可生成侵染曲线。所以,田间监测仪器的开启时间对中心病株出现时间的预测以及防控指导都有着关键性的影响,早开和迟开都将直接影响中心病株出现时间的预测以及防治策略的制定。据国内学者研究和实践,认为在监测区第一株马铃薯出苗时,就存在被侵染的可能,就应该及时开启田间小气候监测仪。对于田间监测设备开机时间,理论上应该是第一株出苗时间,实际上笔者认为合理的做法是综合初始菌源、侵染概率、出苗率等因素经试验确定,但这样较为复杂,生产上仍应以监测区出现第一株苗时开启监测设备比较容易掌握。

关于 CARAH 模型的适用性问题。由于我国马铃薯主产区南北气候差异大、品种复杂,CARAH 模型不可能不加调整和校验而普遍适用于我国所有的马铃薯产区。目前,虽然各地反映 CARAH 模型比较准确,其中也存在着对模型原理和应用技术掌握不够而理解出现偏差的情况。今后应围绕 CARAH 模型在北方、南方不同生态区域下的适用性开展更细致深入的研究,通过将模型预测与田间调查相结合的办法,研究不同品种抗性、不同区域气候特征和不同病菌群体结构下,CARAH 模型的适用性参数,分类制定应用 CARAH 模型开展马铃薯晚疫病监测预警的技术方法,提高我国马铃薯晚疫病监测预警水平。

参考文献

- [1] 中国农业科学院植物保护研究所,中国植物保护学会. 中国农作物病虫害[M]. 第 3 版. 北京:中国农业出版社,2015:811-815.
- [2] 黄冲,刘万才. 近年我国马铃薯病虫害发生特点与监控对策[J]. 中国植保导刊,2016,36(6):48-52.
- [3] 黄冲,刘万才. 近几年我国马铃薯晚疫病流行特点分析与监测建议[J]. 植物保护,2016,42(5):142-147.
- [4] 谢开云,车兴壁,Ducattillon C,等. 比利时马铃薯晚疫病预警系统及其在我国的应用[J]. 中国马铃薯,2001,15(2):67-71.
- [5] 谭监润,袁文斌,武海燕,等. 马铃薯晚疫病预警系统引进与应用[J]. 南方农业,2011,5(5):61-63.

- 物保护, 1998, 24(3): 14 - 16.
- [8] 葛新权. 应用数理统计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995: 192 - 195.
- [9] 何忠全, 毛建辉, 张志涛, 等. 我国近年来水稻重大病虫害可持续控制技术重要研究进展——非化学控害技术研究[J]. 植物保护, 2004, 30(2): 23 - 27.
- [10] 马国兰, 刘都才, 刘雪源. 杂草稻的发生及其控制措施[J]. 杂草科学, 2008(1): 12 - 15.
- [11] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 不同作物轮作制度对土壤杂草种子库特征的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 385 - 389.
- [12] 吴竞仑, 周恒昌. 稻田土壤杂草种子库研究[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(1): 37 - 42.
- [13] 张勇, 王艳艳, 王梅, 等. 不同除草剂对水稻水直播田杂草的防除效果及安全性评价[J]. 植物保护, 2016, 42(4): 230 - 235.
- [14] 林长福, 杨玉廷. 除草剂混用、混剂及其药效评价[J]. 农药, 2002, 43(8): 5 - 7.
- [15] 黄文文, 陈永, 黄劲飞, 等. 南方水稻抛秧田杂草药剂防除技术研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(5): 94 - 96.
- [16] 吴竞仑, 周恒昌. 稻田土壤多年生杂草种子库研究[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 89 - 96.
- [17] 谭乾开, 黎华寿, 林洁. 除草剂影响下南方双季稻田冬季杂草群落调查分析[J]. 广东农业科学, 2014, 41(8): 107 - 115.
- [18] 叶照春, 王楠, 陆德清, 等. 稻田杂草眼子菜对磺酰脲类除草剂的抗性研究[J]. 植物保护, 2013, 39(3): 143 - 146.
- [19] Jabran K, Mahajan G, Sardana V, et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems [J]. Crop Protection, 2015, 72: 57 - 65.
- [20] Mohapatra S, Mohanty A K, Tripathy S K, et al. Integrated weed management under modified water regimes in system of rice intensification [J]. Indian Journal of Weed Science, 2016, 48(1): 17 - 20.
- [21] 胡飞, 孔垂华, 徐效华, 等. 水稻化感材料的抑草作用及其机制[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1160 - 1165.
- [22] 林文雄, 何海斌, 熊君, 等. 水稻化感作用及其分子生态学进展[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2687 - 2694.
- [23] 郭怡卿, 陆永良. 水稻化感作用与杂草的生物防治[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 157 - 165.
- [24] 李贵, 吴竞仑, 王一专, 等. 水稻化感品种结合使用除草剂及深水层管理对稻田杂草的抑制作用[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(6): 1292 - 1296.
- [25] 王建花, 陈婷, 林文雄. 植物化感作用类型及其在农业中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1173 - 1183.
- [26] 林文雄. 化感水稻抑草作用的根际生物学特性与研究展望[J]. 作物学报, 2013, 39(6): 951 - 960.
- [27] 覃凤玲, 彭海峰, 饶佳兴, 等. 化感稻田间化感抑草率的稳定性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15): 180 - 186.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 157 页)

- [6] 胡同乐, 曹克强. 马铃薯晚疫病预警技术发展历史与现状[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(2): 114 - 119.
- [7] 胡同乐, 张玉新, 王树桐, 等. 中国马铃薯晚疫病监测预警系统“China-blight”的组建及运行[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 106 - 111.
- [8] 黄冲, 刘万才, 张君. 马铃薯晚疫病物联网实时监测预警系统平台开发及应用[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(12): 45 - 48.
- [9] 张斌, 耿坤, 余杰颖. 比利时马铃薯晚疫病预警系统的应用[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(1): 42 - 46.
- [10] 张斌, 耿坤, 李添群, 等. CARAH 模型预测不同海拔马铃薯晚疫病中心病株出现时间观察[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(5): 40 - 43.
- [11] 仲彩萍, 杜立和, 漆文选, 等. 高寒山区马铃薯晚疫病预警系统实践与应用[J]. 陕西农业科学, 2015, 61(2): 45 - 47.
- [12] 李定莉, 刘祥贵, 车兴壁, 等. 马铃薯晚疫病预警系统在巫溪县马铃薯生产中的应用[J]. 南方农业, 2013, 7(S1): 93 - 96.
- [13] 唐建锋, 苏跃, 焦明姚, 等. 贵州省马铃薯晚疫病数字化监测预警系统建设与应用[J]. 耕作与栽培, 2014(5): 47 - 48.
- [14] 张斌, 耿坤, 余杰颖, 等. 基于 CARAH 模型的不同品种马铃薯晚疫病发生情况观察[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 112 - 115.
- [15] 刘浩, 张宗山. 比利时 CARAH 马铃薯晚疫病预测模型在宁夏南部山区的应用[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 14172 - 14174.
- [16] 马洪管. 51%啞菌酯烯酰吗啉 WDG 的研制及其对马铃薯晚疫病防控研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [17] 李继平. 甘肃马铃薯晚疫病菌群体结构及病害治理技术研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [18] 张斌, 耿坤, 莫莉娅, 等. CARAH 马铃薯晚疫病预警模型在贵阳地区的应用[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2070 - 2074.
- [19] 李洪浩, 周评平, 罗孝贵, 等. 马铃薯晚疫病监测预警系统在九龙县的建设初探[J]. 四川农业科技, 2015(3): 47 - 48.
- [20] 王鹏, 郭天顺, 李芳弟, 等. CARAH 马铃薯晚疫病监测预警模型在天水的应用初报[J]. 甘肃农业科技, 2015(9): 8 - 12.
- [21] 谢成君, 刘普明, 王颖, 等. 马铃薯晚疫病预警系统在西吉县的应用[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(2): 106 - 110.
- [22] 张斌. 马铃薯晚疫病预警及信息发布系统使用技术指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 北京, 2015: 47 - 48.
- [23] 王余明, 彭洁, 马定邦, 等. 2 种预警系统对雅安市冬作马铃薯晚疫病防治的效应[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 107 - 109.
- [24] 张斌, 宇杰颖, 李添群, 等. CARAH 模型指导下防控马铃薯晚疫病的效果[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 185 - 188.
- [25] 龙玲, 刘红梅, 李丹, 等. 比利时马铃薯晚疫病监测预警模型在贵州省威宁县的应用[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(1): 48 - 52.
- [26] 董凤林, 郭志乾, 刘秉义, 等. 利用预警系统指导大田药剂防治马铃薯晚疫病[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(3): 172 - 174.
- [27] 袁军海, 赵美琦, 姚裕琪, 等. 马铃薯晚疫病菌寄生适合度测定方法的研究[J]. 中国马铃薯, 2001, 15(1): 9 - 13.

(责任编辑: 杨明丽)