

# 甘肃旱区马铃薯晚疫病始发期的预测研究

李亚杰<sup>1,2</sup>, 石强<sup>1</sup>, 李德明<sup>2</sup>, 吕汰<sup>3</sup>, 何建强<sup>4</sup>,  
王鹏<sup>3</sup>, 张俊莲<sup>1</sup>, 白江平<sup>1</sup>, 王蒂<sup>1</sup>

(1. 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室 - 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070;

2. 定西市农业科学研究所, 甘肃 定西 743000; 3. 天水市农业科学研究所, 甘肃 天水 741000;

4. 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 本研究利用 2012—2013 年甘肃省马铃薯主栽区的气象资料, 结合甘肃马铃薯晚疫病发生的实情, 筛选出显著影响晚疫病发生的相关气象因子, 建立了甘肃干旱山区, 二阴区和川塬区的马铃薯晚疫病始发期预报方程, 但川塬区晚疫病始发期预报模型还需进一步的设计与优化。方程模拟结果: 温度是二阴区内晚疫病始发的关键因素; 降水量主要影响干旱山区马铃薯的晚疫病发生; 在同一地区内, 川塬区和二阴区晚疫病始发期早于干旱山区, 这与干旱山区空气流动性相对强于川塬区和二阴区有关。通过对甘肃干旱山区, 二阴区与川塬区马铃薯晚疫病始发期预报方程进行验证, 得知预报方程对干旱山区和二阴区晚疫病始发期的预测准确率较高, 预测始发期区间较小, 误差小, 在甘肃晚疫病预警和防治工作中具有较强的指导作用。

**关键词:** 马铃薯晚疫病始发期; 预测预报; 甘肃省

**中图分类号:** S431.13 **文献标志码:** A

## Prediction of late blight outbreak in arid regions of Gansu Province

LI Ya-jie<sup>1,2</sup>, SHI Qiang<sup>1</sup>, LI De-ming<sup>2</sup>, LV Tai<sup>3</sup>, HE Jiang-qiang<sup>4</sup>,  
WANG Peng<sup>3</sup>, ZHANG Jun-lian<sup>1</sup>, BAI Jiang-ping<sup>1</sup>, WANG Di<sup>1</sup>

(1. Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science - Gansu Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancement,

Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Dingxi Agricultural Science Research Institute, Dingxi, Gansu 743000, China;

3. Tianshui Agricultural Science Research Institute, Tianshui, Gansu 741000, China;

4. Key Laboratory of Agricultural Soil & Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, College of water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To identify the meteorological factors that induce the outbreak of late blight, meteorological data of potato main planting area during 2012—2013 were analyzed, as well as the observed potato late blight outbreak data in Gansu Province. Furthermore, the late blight outbreak predictive equation was constructed for the arid mountainous area including high-humid mountain and plain areas, nevertheless the late blight forecast models for the plain regions remained to be further developed and optimized. The equation indicated that the temperature was the key factor for late blight outbreak in the high-humid mountain area. Rainfall influenced the incidence of late blight in arid mountainous area. In the same area, late blight originating period occurred earlier in plain regions and high-humid mountain area than that happened in the arid mountainous area, which might be due to the relatively strong mountain air flow in arid mountainous area. According to the validation data for the equation at different sites around arid mountainous, plain and high-humid mountain areas, forecast equation on late blight in arid mountainous area and high-humid mountain area showed higher forecast accuracy than plain area, and had a strong practical role in the prediction and prevention of late blight.

**Keywords:** potato late blight originating period; prediction; Gansu Province

收稿日期: 2015-05-14

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD06B03); 甘肃省重大专项项目(1102NKDA025); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-10)

作者简介: 李亚杰(1986—), 男, 甘肃庆阳人, 硕士, 主要从事作物遗传育种。E-mail: liyajie\_2008@163.com。

石强(1990—), 男, 甘肃临夏人, 硕士, 主要从事作物遗传育种。E-mail: nongdasq@126.com。

通信作者: 白江平(1978—), 男, 甘肃天水人, 博士, 主要从事作物遗传育种。E-mail: baijp@gsau.edu.cn。

王蒂(1955—), 男, 陕西长安人, 教授, 主要从事作物遗传育种。E-mail: wangdi@gsau.edu.cn。

马铃薯晚疫病 (*Phytophthora infestans*) 是一种与气候条件密切关联的真菌性病害<sup>[1-2]</sup>, 连续的高温阴雨多雾天气是晚疫病发生的主要因素。

甘肃马铃薯种植面积约有 65 万  $\text{hm}^2$ , 种植面积逐年增加, 随着全球气候变暖和马铃薯种植的区域规模化, 晚疫病的发生与流行规律也发生变化, 危害程度呈上升趋势, 尤其在有效降雨多的地区, 因常年栽培品种多为高产低抗晚疫病品种, 晚疫病的危害导致产量下降 20% 左右<sup>[3]</sup>, 在发病两周后导致薯田病叶面积占 50% 左右, 影响叶片光合作用功能, 造成植株枯萎, 影响产量, 并且相对湿度和降水量较高于干旱地区, 晚疫病在马铃薯收获贮藏期间造成的损失也不容小觑<sup>[4]</sup>。

针对甘肃省复杂的地理气候特征以及不同区域的马铃薯生产特点, 为了更进一步掌握区域气候与

晚疫病发生规律的关系, 提前进行马铃薯晚疫病的有效防治, 本研究利用甘肃省马铃薯主栽区的气象资料, 结合甘肃马铃薯不同气候区域晚疫病发生的病害实情, 筛选出显著影响晚疫病的相关气象因子, 建立甘肃马铃薯主栽区的晚疫病始发期预报方程。

## 1 材料与方法

### 1.1 甘肃马铃薯晚疫病预测气候区域的划分标准

甘肃马铃薯主栽区按照降雨量和灌溉条件可划分为: 干旱区(降水量 < 300 mm, 灌溉不便)、川塬区(降水量在 500 mm 左右, 灌溉便利)和二阴区(降水量约 600 mm, 无灌溉)。本试验选取甘肃省张掖市民乐县洪水镇(川塬区)、定西市安定区香泉镇(半干旱区)、天水市秦州区中梁乡(二阴区)为主要观测点(表 1)。

表 1 甘肃省马铃薯晚疫病三个主要观测点气象资料简介

Table 1 Descriptions of three observation sites for initiation dates of potato late blight disease and weather condition in Gansu province

地点 Sites	经度/°E Longitude	纬度/°N Latitude	海拔/m Height	年降水量/mm Precipitation	农业生态环境 Agroecological environment
张掖市民乐县洪水镇 Hongshui Town, Mingle County, Zhangye City	100.82	38.44	2309.59	369 ~ 457	绿洲农业区 Oasis agricultural area
定西市安定区香泉镇 Xiangquan Town, Anding Region, Dingxi City	104.52	35.43	2131.04	350 ~ 414	干旱农业区 Arid agricultural area
天水市秦州区中梁乡 Zhongliang Countryside, Qingzhou Region, Tianshui City	105.64	34.60	1650.76	574 ~ 600	雨养农业区 Rain fed agricultural area

张掖民乐县洪水镇、定西安定区香泉镇、天水秦州区中梁乡分别处于甘肃北部、中部、东部。张掖地区属大陆性气候, 干燥少雨, 蒸发量大, 日照辐射在三地中最为充足, 形成了大量的绿洲农业区, 近年来, 马铃薯的种植面积不断提高(2012 年 3.2 万  $\text{hm}^2$ , 2013 年 3.5 万  $\text{hm}^2$ , 其中民乐 2012 年 1.6 万  $\text{hm}^2$ , 2013 年 1.7 万  $\text{hm}^2$ )。定西地区属温带半干旱地区, 环境特点是干旱少雨, 海拔高, 日照较为充足, 温差大, 气候冷凉, 适合马铃薯生长, 使得马铃薯种植生产成为该地的主要农业经营方式。天水地区属温带半湿润地区, 高湿温润, 降雨量较充沛, 日照辐射相对其他两地匮乏。马铃薯是该地区的主要农作物之一(秦州区马铃薯种植面积约有 1.2 万  $\text{hm}^2$ , 占天水种植面积的三分之一)。

### 1.2 气象和晚疫病始发期资料获取

气象数据采集采用美国制造便携式小型气象仪 portlog, 气象站数据采集设置为每 30 分钟自动采集一次, 气象站离地面高度为 2 m, 采集项目包括降水

量、空气相对湿度和温度, 气象数据通过 Wlcom 软件输入个人计算机, 以 Excel 表的格式呈现。

根据各观测点植保站的多年病害调查资料以及最新的调查数据显示分析, 确定晚疫病始发期的调查时间为雨季(7—9 月), 降雨过后温度升高, 湿度增大, 出现晚疫病的几率加大, 田间出现马铃薯晚疫病中心病株的时期为始发期。

张掖民乐县的主栽品种为大西洋, 克星 1 号, 定西安定区的主栽品种为新大坪, 陇薯 6 号, 天水市秦州区的主栽品种为天薯 10 号, 天薯 11 号。

### 1.3 马铃薯晚疫病始发期预测方程的建立

1.3.1 利用 2012—2013 年各观测地气象数据和相对应种植品种的晚疫病发病历年记录, 筛选晚疫病的实际首次始发期。以气象因素中的降水量、平均相对湿度、平均温度为自变量  $X$ , 晚疫病始发期为因变量  $Y$ 。在表 3~表 5 中, 将  $L_1, L_2$  值转换为日期值的方法: 将晚疫病始发期的月份保留不变, 对具体日期进行两位小数百进制计算, 小数点后面的数字

乘以 30(如 6.15 转换为为日期值 6/05, 7.10 转换为日期值 7/03)。

1.3.2 确定各观测点晚疫病开始发生概率较大的时间段,晚疫病根据甘肃各地植保站最近多年的病虫害记录,马铃薯晚疫病常年始发期(薯田晚疫病病叶面积占总叶面积比首次超过 10%的时期)在川塬区和二阴区最早从 6 月上旬开始,部分年份 7 月始发;干旱山区的晚疫病常年始发期集中在 7 月上旬。因此,研究川塬区和二阴区的晚疫病始发期规律与气象条件的关系从 6 月开始,干旱山区则从 7 月开始。

1.3.3 确定筛选方法,采用统计学比较符号法对预报因子进行初步筛选,即以  $X$  和各  $Y$  值的平均值为参考标准,凡小于平均值的符号转换为“-”,大于平均数的为“+”。根据始发预报期  $Y$  的符号序列,对比较各个  $X_i$  值符号的序列,凡  $X$  与  $Y$  的符号相同的记作  $m_i$ ,相关概率记作  $P_i$ ,为了防止过多因子

在初步筛选中不被淘汰,从而使建立的回归方程显著性受到影响,应根据筛选出的相关因子数量确定  $P$  值的区间。

筛选出关系相对密切的预报因子,通过逐步回归(Design - Expert)和 Excel 统计分析,逐步淘汰影响不显著的自变量,保存显著影响的自变量,最后设计建立最优的线性回归相关预报方程。采用某一观测值  $X$  所对应的  $Y$  值估算预测区间

$$L_1 = \hat{y} - t_a \hat{s}_y \quad (1)$$

$$L_2 = \hat{y} + t_a \hat{s}_y \quad (2)$$

式中, $\hat{y}$  表示样本估计值, $t_a$  表示在  $a$  概率下的  $t$  值, $s_y$  表示  $y$  值单个时的标准误。

通过求解 95% 的置信度范围,同时作预测检验,最终得到干旱山区(定西市安定区香泉镇),川塬区(张掖市民乐县洪水镇)和二阴区(天水市秦州区中梁乡)三种不同栽培区域晚疫病始发期预测(预报)的最佳方程,相关因子的假设见表 2。

表 2 马铃薯晚疫病始发期预测预报相关因子

Table 2 Influential factors for the forecasting of initiation dates of potato late blight

栽培区类型 Region of cultivation	气象因子 Meteorological factors	6月上旬 Early June	6月中旬 Mid June	6月下旬 Late June	7月上旬 Early July	7月中旬 Mid July	7月下旬 Late July
二阴区、川塬区 High-humid mountain and plain-plateau areas	降水量 Precipitation/mm	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
	平均温度 Temperature/°C	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
	相对湿度 Relative humidity/%	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$
栽培区类型 Region of cultivation	气象因子 Meteorological factors	7月上旬 Early July	7月中旬 Mid July	7月下旬 Late July	8月上旬 Early August	8月中旬 Mid August	8月下旬 Late August
干旱山区 Drought mountain area	降水量 Precipitation/mm	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
	平均温度 Temperature/°C	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
	相对湿度 Relative humidity/%	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$

1.3.4 结合 2012—2013 年的晚疫病发病规律和气象因素,对晚疫病始发期的影响进行归类整理,发现干旱山区取降水量  $P > 0.66 \text{ mm}$  或  $P < 0.33 \text{ mm}$  ( $P$  在  $0.33 \sim 0.66 \text{ mm}$  之间对应时期晚疫病几乎没有发现),通过筛选发现,  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$  符合要求,相对湿度  $X_{16}$ 、 $X_{17}$ 、 $X_{18}$  符合初步筛选要求,把这 8 个气象因子初步选定为干旱山区预测因子。同理,川塬区取  $P > 0.58 \text{ mm}$  或  $P < 0.42 \text{ mm}$ ,  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{15}$ 、 $X_{16}$ 、 $X_{17}$ 、 $X_{18}$  符合初步筛选标准,把这 10 个气象因子初步选为川塬区预报因子。二阴区取  $P > 0.70 \text{ mm}$  或  $P < 0.30 \text{ mm}$ ,发现  $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{15}$ 、 $X_{16}$  符合标准(二阴区相对湿度高,在二阴区温度对晚疫病的影响比相对湿度大),把这 8 个因子初步选为二阴区预报因子。

#### 1.4 马铃薯晚疫病始发期预测方程的检验

干旱山区的验证,统计 2012—2013 年东乡县董岭乡、通渭县碧玉乡、安定区鲁家沟、会宁白草塬乡的 8 月上旬的降水量(见表 3),同时利用干旱山区的线性预测模型预报预测 2012—2013 年各监测点马铃薯晚疫病始发期(用 2012/2013 结果表示)。

川塬区的验证同理,搜集整理 2012—2013 年临夏北塬乡、民乐六坝的 6 月中旬和下旬、7 月上旬的降水量,6 月下旬、7 月上旬和中旬的空气相对湿度相关气象资料,结合川塬区的线性相关方程预报预测 2012—2013 年各监测点晚疫病始发期。

二阴区的验证同理,搜集整理积石山吹麻滩乡、临夏县麻尼寺沟乡、临洮康家集乡、陇西永吉乡、渭源五竹镇、通渭华家岭、天水中梁乡的 7 月下旬降水量、7 月上旬平均温度及 8 月上旬空气湿度见表 5。

根据表 5, 预测 2012—2013 年各监测点马铃薯晚疫病始发期。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯晚疫病始发期预测的线性回归方程

对于干旱山区, 经过三级回归分析, 依次淘汰偏回归系数不显著的预报因子  $X_{17}$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_{16}$ ,  $X_{18}$ , 确定得到干旱山区晚疫病始发期预测(预报)最优线性回归方程为

$$Y = 9.05433 - 0.0187X_4 \quad (3)$$

通过  $F$  检验得知,  $P - \text{value} < 0.01$ , 这说明干旱山区晚疫病的始发期与 8 月上旬降水量有极显著的直线性负相关回归关系, 即 8 月上旬降水量越大, 晚疫病始发期越早。所以, 在干旱山区马铃薯农业生产中, 预测预报 8 月上旬的降水量十分重要, 在此段时期及其前期(7 月底)做好喷药和其他农艺措施对当年的马铃薯保产、增产起重要作用。

对于川塬区, 经过二级回归分析, 依次淘汰偏回归系数不显著的预报因子  $X_5$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{14}$ ,  $X_{18}$ , 确定得到川塬区晚疫病始发期预测(预报)最优的线性回归方程为

$$Y = 6.9337 - 0.0168X_1 - 0.0303X_3 + 0.0108X_4 - 0.0319X_{15} + 0.0847X_{16} - 0.0401X_{17} \quad (4)$$

通过检验得知,  $P - \text{value} > 0.05$ , 可知川塬区晚疫病的始发期与 6 月上旬、6 月下旬、7 月上旬降水量; 6 月下旬、7 月上旬、7 月中旬的空气相对湿度有相关性, 其中自变量  $X_3$ (6 月下旬降水量)的偏回归系数不显著。但是, 当淘汰  $X_3$  后, 得到的五元线性回归方程不显著, 这说明淘汰六元线性回归方程中的不显著因子  $X_3$  后, 反而影响了整个线性方程的显著性, 由此知川塬区建立五元线性回归方程并不是最佳的预测(预报)模型, 而是由  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_{15}$ 、

$X_{16}$ ,  $X_{17}$  组成的六元线性回归方程。

但上述模型显示川塬区的马铃薯晚疫病始发期与 7 月上旬的降水量( $X_4$ ) 和空气相对湿度( $X_{16}$ ) 呈正相关性, 这与实际田间发病情况不符, 因此, 建立川塬区的晚疫病始发期预测(预报)模型还需进一步的设计与优化。模拟方程显示气象因子  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_{15}$ ,  $X_{17}$  与始发期  $Y$  线性负相关: 6 月上旬和下旬的降水量及相对湿度、7 月中旬的相对湿度与晚疫病始发密切相关, 所以, 在此时段及其前期重视气象预报, 而后进行喷药和相关农艺措施对马铃薯当年的安全收获有重要作用。

二阴区线性方程的建立: 经过一级回归分析后, 依次淘汰偏回归系数不著的预报气象因子  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_9$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{15}$ , 确定得到二阴区晚疫病始发期预测(预报)最优的线性回归方程为

$$Y = 10.1637 - 0.0148X_3 - 0.01653X_7 - 0.0261X_{16} \quad (5)$$

通过  $F$  检验得知,  $P - \text{value} < 0.01$ , 且自变量  $X_{10}$ ,  $X_{16}$  的偏回归系数都达极显著水平, 这说明马铃薯晚疫病始发期在二阴区中与  $X_3$ ,  $X_7$ ,  $X_{16}$ (7 月上旬平均温度、7 月下旬的降水量、8 月上旬平均相对湿度) 有极显著的负相关直线关系, 即在二阴区内 7 月上旬的平均温度和空气相对湿度越高, 晚疫病始发期越提前。所以, 在二阴区内种植者要在 6 月底和 7 月初做好马铃薯晚疫病始发预防工作。

### 2.2 马铃薯晚疫病始发期预测方程的验证

2.2.1 干旱山区的验证 结果表明 4 个站点的预测始发期与实际大田始发期均相符或接近(表 3)。通过晚疫病预测预报检验, 95% 的置信区间范围为 12 ~ 15 d(14 d 左右), 所以, 干旱山区晚疫病线性预测预报模型的建立对马铃薯栽培和晚疫病防治工作具有较强的指导作用。

表 3 2012—2013 年干旱山区(II 区)各监测点气象资料及发病始期

Table 3 Initiation dates of the disease and climatic data of drought mountain area (II region) in 2012—2013

乡(镇) Town	8 月上旬 降水量 Rainfall in Early - August/mm	预测区间范围 Predicted interval				实际始发期 (月 - 日) Actual date(M - d)
		$L_1$	日期(月 - 日) Date(M - d)	$L_2$	日期(月 - 日) Date(M - d)	
董岭乡 Dongling	28.5/25.7	8.42/8.48	08 - 13/08 - 15	8.83/8.88	08 - 25/08 - 26	08 - 16/08 - 13
碧玉乡 Biyu	39.8/24.2	8.17/8.50	08 - 05/08 - 12	8.64/8.90	08 - 19/08 - 27	08 - 19/08 - 17
鲁家沟 Lujiagou	25.4/30.4	8.47/8.38	08 - 14/08 - 12	8.86/8.75	08 - 25/08 - 23	08 - 15/08 - 13
白草原 Baicao yuan	39.5/34.1	8.13/8.21	08 - 04/08 - 06	8.51/8.48	08 - 15/08 - 14	08 - 13/08 - 18

注: 表中“/”前后分别代表 2012 年和 2013 年数据。

2.2.2 川塬区的验证 在川塬区 2 个观测站点中, 虽然晚疫病始发期与实际大田晚疫病始发期相符或

接近(见表 4), 但是线性方程预报模式的置信区间长达 25 ~ 41 d, 即预测始发期的时间区间跨度过长,

所以,在以后的晚疫病防治工作中需进一步优化方 防治。  
程,同时即时即地结合实际气象条件做好晚疫病的

表 4 2012—2013 年川塬区(I 区)各监测点气象资料及发病始期

Table 4 Initiation dates of the disease and climatic data of plain-plateau area (I region) in 2012—2013

乡(镇) Town	降水量 Precipitation/mm			相对湿度 Relative humidity/%			预测区间范围 Predicted interval				实际始发 期(月-日) Actual date(M-d)
	6月中 M-June	6月下 L-June	7月上 E-July	6月下 L-June	7月上 E-July	7月中 M-July	$L_1$	日期(月-日) Date(M-d)	$L_2$	日期(月-日) Date(M-d)	
北塬乡 Beiyuan	31.5/42.3	43.2/31.5	33.5/29.0	68/75	73/62	81/77	7.02/6.55	07-01/ 06-16	7.85/7.24	07-25/ 07-09	07-13/ 07-01
六坝镇 Liuba	30.2/40.1	38.9/41.2	34.6/28.8	70/74	78/69	75/72	7.20/8.39	07-06/ 08-12	7.65/7.82	07-20/ 07-25	07-11/ 07-16

注:表中“/”前后分别代表 2012 年和 2013 年数据。

2.2.3 二阴区的验证 结果表明,7 个监测站点预  
测期与实际发生期相符(表 5),经过预测预报检验,  
预测准确率达 83%,准确率高,且该预测预报模式

置信区间为 7~13 d,在马铃薯晚疫病防治工作中具  
有实际指导意义。

表 5 2012—2013 年二阴区(I 区)各监测点气象资料及发病始期

Table 5 Initiation dates of the disease and climatic data of high-humid mountain area (I region) in 2012—2013

乡镇 Town	7月下旬 L-July	8月上旬 Early-August	7月上旬 E-July	$L_1$	预测区间 Predicted interval			实际始发 期(月-日) Actual date (M-d)
	降水量 Precipitation/mm	相对湿度 Relative humidity/%	平均温度 Temperature/°C		$L_1$	日期(月-日) Date(M-d)	$L_2$	
吹麻滩乡 Chuimatan	28.7/24.1	85/88	22/25	7.66/7.37	07-19/07-11	7.92/7.73	07-27/07-22	07-21/07-15
麻尼寺沟 Manisigou	25.4/25.6	80/73	24/25	7.54/7.12	07-15/07-03	7.89/7.46	07-27/07-14	07-20/07-11
康家集乡 Kangjiaji	27.7/18.2	81/79	23/24	7.45/7.18	07-14/07-06	7.90/7.56	07-27/07-17	07-18/07-10
永吉乡 Yongji	19.8/23.8	78/75	23/23	7.71/7.30	07-21/07-09	7.99/7.70	07-31/07-21	07-22/07-12
五竹镇 Wuzhu	21.3/24.9	88/79	23/22	7.62/7.15	07-18/07-05	7.92/7.63	07-28/07-18	07-23/07-11
华家岭 Huajialing	14.1/18.8	72/81	24/23	7.68/7.21	07-20/07-06	7.90/7.62	07-27/07-19	07-18/07-10
中梁乡 Zhongliang	46.8/29.6	85/68	23/23	7.08/6.24	07-02/07-07	7.63/7.55	07-19/07-16	07-11/07-08

注:表中“/”前后分别代表 2012 年和 2013 年数据。

针对甘肃省各个马铃薯种植区域的气候特点,  
以及对各区域马铃薯晚疫病始发期的预测研究,在  
马铃薯生产上要注重利用这些晚疫病始发期预测模  
型进行晚疫病的预测预报,将晚疫病预测模型运用  
到实践中。在干旱山区中,根据晚疫病始发期与 8  
月上旬降水量的极显著直线性负相关回归关系,可  
知 8 月上旬降水量直接影响晚疫病的发生,降雨量  
越大,晚疫病发生的时间越提前,所以,在干旱山区  
马铃薯生产中,预测预报 8 月上旬的降水量十分重  
要,7 月底进行喷施保护性药剂(如代森锰锌、阿米

西达、达克宁等)和适当有效的农艺措施对马铃薯保  
产、增产起重要作用。在川塬地区,根据预测方程可  
知,6 月上旬和下旬的降水量及相对湿度、7 月中旬  
的相对湿度与晚疫病始发密切相关,所以,在此时段  
及其前期重视气象预报,而后进行喷药和相关农艺  
措施对马铃薯当年的安全收获起重要作用。二阴区  
内降雨量大,空气相对湿度高,根据预测方程,二阴  
区内 7 月上旬的平均温度和空气相对湿度越高,晚  
疫病始发期越提前,所以,在二阴区内农业工作者要  
在 6 月底和 7 月初做好马铃薯晚疫病始发预防工作。

### 3 讨论

与川塬区、二阴区相比,干旱山区空气干燥,流速强烈,空气相对湿度变化更为明显,干旱山区的马铃薯叶表面很难形成长时间的水层,较难维持叶片湿润,即很难创造和提供适合晚疫病发病的空气相对湿度适宜条件,但在8月初,由于封垄干旱山区有效降水过多会形成有利于晚疫病发病的田间小气候,空气相对湿度升高,容易发生晚疫病。在川塬区观测站点中,线性方程预报模式的置信区间长达25~41 d,预测始发期的时间区间跨度过长,影响因素很多,川塬区附近多有蔬菜栽培区,其初侵染源除了带菌马铃薯种薯外,附近田块的茄科作物(番茄、茄子等)也是晚疫病菌丰富的初侵染源,并且川塬区的灌溉情况及周围茄科作物棚架建设差导致周围空气流动性不同,因此薯田的小气候环境更为复杂多变,不确定性因素的增多导致川塬区的线性预测方程的建立更为困难,即在川塬区晚疫病始发期与空气相对湿度、周边地块灌溉情况、建筑物的形状及分布都有一定的相关性。所以,要进一步规范川塬区晚疫病试验,尽量剔除影响空气流动性的其他相关因素(如建筑、设施遮挡等),减弱或排除灌溉和周边其它茄科作物菌源量等因素的干扰,把空气相对湿度监测转化为田间湿度监测,优化和补充其他实验,扩展试验数据容量,以便获得较为准确的川塬区预测预报晚疫病线性方程(模型)。

研究表明,晚疫病菌(*Phytophthora infestans*)在17℃~19℃时在培养基上生长最快,生产孢子最适温度为19℃~22.5℃<sup>[5]</sup>,晚疫病菌孢子囊萌发最适温度为12℃~13℃<sup>[6]</sup>,当温度≤7.2℃或≥22.5℃时,温度对马铃薯晚疫病的流行不利<sup>[7]</sup>,7月份二阴区普遍进入雨季,温度昼夜变化较为明显,气温要低于川塬区和干旱山区,所以温度是影响二阴区马铃薯晚疫病发病的关键气象因子。

在本试验中主要利用了降雨量,空气湿度与温度,在今后晚疫病预测预报的研究中,不仅要研究气候各因子对晚疫病始发的影响,还需分析种植栽培方式、大田播种密度、灌溉施肥、其它茄科植物、建筑设施等因素的影响,整体综合考虑各因子的影响<sup>[8-11]</sup>,筛选出有效因子进行监测和调试,参照国外有关马铃薯晚疫病预警系统的原理<sup>[12-14]</sup>,建立和获得适合西北地区晚疫病预测预报模型。

根据方程的模拟结果得知,在同一地区内,川塬区和二阴区晚疫病始发期早于干旱山区,这与干旱山区空气流动性相对强于川塬区和二阴区有关。通过对甘肃干旱山区,二阴区与川塬区马铃薯晚疫病始发期预报方程进行验证,得知预报方程对干旱山区和二阴区晚疫病始发期的预测准确率较高,预测始发期区间较小,误差小,在甘肃晚疫病预警和防治工作中具有较强的指导作用,值得马铃薯工作者参考、使用、借鉴和推广。

#### 参考文献:

- [1] 裘维蕃,吴三友,范怀忠,等.农业植物病理学[M].北京:农业出版社,1982:220-223.
- [2] 陈素华,潘进军,王志春.气候变化对内蒙古马铃薯晚疫病流行的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):56-63.
- [3] 姚玉璧,张存杰,万信,等.黄土高原马铃薯晚疫病发生发展与气象条件关系的研究:以甘肃定西市为例[J].植物保护,2008,34(4):90-92.
- [4] 姚玉璧,万信,张存杰,等.甘肃省马铃薯晚疫病气象条件等级预报[J].中国农业气象,2009,30(3):445-448.
- [5] Utrata A. Agrometeorological conditions determining the occurrence of potato blight (*phytophthora infestans* de bary) in poland[J]. EPPO Bulletin, 1980,10(2):75-81.
- [6] Kable P F, Mackenzie D R. Survival of *Phytophthora infestans* in potato stem lesions at high Temperatures and implications for disease forecasting[J]. Plant Disease (formerly Plant Disease Reporter), 1980,64(2):165-167.
- [7] Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer[J]. Molecular plant pathology, 2008,9(3):385-402.
- [8] Ryant P, Dolezelova E, Fabrik I, et al. Electrochemical determination of low molecular mass thiols content in potatoes (*Solanum tuberosum*) cultivated in the presence of various sulphur forms and infected by late blight (*Phytophthora infestans*)[J]. Sensors, 2008,8(5):3165-3182.
- [9] 彭九慧,郭丽霞,马秀玲.河北省承德市马铃薯晚疫病气象条件分析及预报[J].干旱气象,2009,27(1):217-220.
- [10] 李丹.毕节地区马铃薯癌肿病疫情监测及治理[J].植物检疫,2005,19(1):31-33.
- [11] 马旭洁,张文解,杨海玲,等.临夏州马铃薯晚疫病始发期的预测预报[J].中国农业气象,2011,32(4):627-631.
- [12] Hijmans R J, Forbes G A, Walker T S. Estimating the global severity of potato late blight With GIS-linked disease forecast models[J]. Plant Pathology, 2000,49(6):697-705.
- [13] Wharton P S, Kirk W W, Baker K M, et al. A web-based interactive system for risk management of potato late blight in Michigan[J]. Computers and Electronics in agriculture, 2008,61(2):136-148.
- [14] Batista D C, Lima M A, Haddad F, et al. Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions[J]. Crop Protection, 2006,25(7):664-670.