

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2013)02-0087-06

# NegFry 马铃薯晚疫病预测预报模型的评价

闵凡祥, 郭梅\*, 高云飞, 吕典秋, 王晓丹, 胡林双, 杨帅

(黑龙江省农业科学院脱毒苗木研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:** 本研究主要应用丹麦 NegFry 马铃薯晚疫病预测预报模型, 以不喷药和每 7 d 喷药作对照, 采用感病品种 'Favorita' 和中抗品种 '克新 18' 进行田间试验, 对马铃薯晚疫病进行预测和防治。感病品种不喷药处理(CK1)、感病品种每 7 d 施药处理(FW)、感病品种测报处理(FN)、中抗品种不喷药处理(CK2)、中抗品种每 7 d 施药处理(KW)和中抗品种测报处理(KN)的 AUDPC 值分别为 12.73、0.12、0.17、0.12、0.074 和 0.034, 通过邓肯多重极差法(LSR 法)进行比较, CK1 与 FW, FN, CK2, KW, KN 5 个处理差异显著, 其余各处理之间差异不显著。说明采用测报处理, 每 7 d 施药处理和采用抗病品种能够达到同等防治效果。对于感病品种, 测报处理与每 7 d 施药处理相比减少杀菌剂使用次数 2 次, 每 667 m<sup>2</sup> 降低成本 70 元, 与每 7 d 施药处理相比每 667 m<sup>2</sup> 增收 27 元。对于抗病品种, 测报处理与每 7 d 施药处理相比减少杀菌剂使用次数 5 次, 每 667 m<sup>2</sup> 降低成本 160 元, 与每 7 d 施药处理相比每 667 m<sup>2</sup> 增收 213 元。所以, 通过丹麦 NegFry 预测预报模型, 可以准确得出施药时间, 既降低生产成本, 又有效防控马铃薯晚疫病, 同时又提高马铃薯产量和质量。

**关键词:** 马铃薯晚疫病; 预测预报; NegFry 软件

## Evaluation for NegFry Potato Late Blight Forecasting Model

MIN Fanxiang, GUO Mei\*, GAO Yunfei, LU Dianqiu, WANG Xiaodan, HU Linshuang, YANG Shuai

(Virus-free Seedling Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

**Abstract:** The potato late blight forecasting model is an efficient tool to deal with this problem. The purpose of this study was to apply NegFry forecasting model for the control of late blight in Heilongjiang Province, with no application and application of fungicides weekly as controls and using susceptible variety 'Favorita' and moderately resistant variety 'Kexin 18' as tested plant materials. Area under Disease Progress Curve (AUDPC) of CK1 (susceptible variety with no fungicide application), FW (susceptible variety with fungicide application weekly), FN (susceptible variety with fungicide application based on Negfry model), CK2 (resistant variety with no fungicide application), KW (resistant variety with fungicide application weekly), and KN (resistant variety with fungicide application based on Negfry model), were 12.73, 0.12, 0.17, 0.12, 0.074 and 0.034, respectively. Significant difference was found between CK1 and FW, FN, CK2, KW, and KN for AUDPC as tested by using DMRT, but for the five treatments no significant difference was detected, suggesting that fungicide application based on Negfry model, application weekly, and using resistant variety all could reach the same effect for late blight control. For the susceptible variety, fungicide application based on Negfry model was reduced by two times, application cost reduced by 70 Yuan/667 m<sup>2</sup>, and benefit increased by 27 Yuan/667 m<sup>2</sup> compared with application weekly. For the resistant variety, fungicide application based on Negfry model was reduced by 5 times, application cost reduced by 160 Yuan/667 m<sup>2</sup>, and benefit increased by 213 Yuan/667 m<sup>2</sup> compared with application weekly. Therefore, by using Negfry model fungicide application time could be predicted, and the production cost reduced, but late blight controlled, and potato yield and quality improved accordingly.

**Key Words:** *Phytophthora infestans*; forecast; NegFry software

收稿日期: 2012-03-19

基金项目: 科技部国际科技合作计划项目(2010DFA32810); 科技部“十二五”农村领域国家科技计划研究课题(2012BAD06B02); 哈尔滨市科技攻关计划项目(2010AA6CN071)。

作者简介: 闵凡祥(1980-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事马铃薯真菌病害研究。

\*通信作者(Corresponding author): 郭梅, 研究员, 主要从事马铃薯真菌病害研究, E-mail: guo\_plum@yahoo.com。

由致病疫霉 *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary 引起的晚疫病是目前危害马铃薯生产最严重的病害<sup>[1]</sup>, 其具有高速流行性, 防治比较困难, 每年因此病的发生导致全世界经济损失约 170 亿美元, 我国经济损失约 10 亿美元<sup>[2]</sup>。一直以来, 化学防治是控制马铃薯晚疫病最有效和最简单的方法。但是, 在病害防治过程中, 一直都存在着用药不及时和滥用农药等问题<sup>[3]</sup>, 一旦用药不及时很难有效控制病害发生和流行, 而且滥用农药使有毒化学物质在植物体内、水及土壤中残留, 一部分有害物质便通过物质循环进入农作物及人畜体内, 严重污染农产品和环境, 对人体健康造成危害, 从而容易引发各种疾病<sup>[4]</sup>。因此, 世界各国都在探索晚疫病的预测预报方法, 以保证及时用药和杜绝滥用农药。目前国际上已经使用的晚疫病预测预报模型有 17 个<sup>[5]</sup>, 且各具优缺点,

然而, 我国目前还没有一套成型的晚疫病预测预报模型在生产中进行应用。因此, 本研究首先采用自动气象站进行气象数据收集、整理和输出; 然后, 应用丹麦 NegFry 预测预报模型, 预测喷药时间; 再后, 通过田间小区试验, 比较病害防治效果, 以期建立适合本地区马铃薯晚疫病预警系统; 最终指导农民施药, 达到应用的效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验品种及药剂: 田间试验采用感病品种为 ‘Favorita’ 和中抗病品种 ‘克新 18’。采用药剂为 72% 代森锰锌+霜脲氰、54% 甲霜灵 + 代森锰锌、68.75% 氟吡菌胺 + 霜霉威 + HCl、25% 双炔酰菌胺、50% 氟啶胺和 75% 代森锰锌(表 1)。

表 1 杀菌剂特点、用量和生产厂家

Table 1 Fungicide characteristics, dosage and manufacturer

杀菌剂名称 Fungicide	有效成分 Active component	作用方式 Mode of action	使用量 Dosage/667 m <sup>2</sup>	生产厂家 Manufacturer
金雷 Metalaxyl	54% 甲霜灵 + 代森锰锌	内吸兼保护	100 mL/667 m <sup>2</sup>	先正达
克露 Cymoxanil + Mancozeb	72% 代森锰锌 + 霜脲氰	内吸兼保护	100 g/667 m <sup>2</sup>	杜邦
福帅得 Fluazinam	50% 氟啶胺	内吸兼保护	25 mL/667 m <sup>2</sup>	日本石原
代森锰锌 Mancozeb	75% 代森锰锌	保护	100 g/667 m <sup>2</sup>	先正达
银法利 Propamocarb-HCl + Fluopicolide	68.75% 氟吡菌胺 + 霜霉威 + HCl	内吸	75 mL/667 m <sup>2</sup>	德国拜耳
瑞凡 Mandipropamid	25% 双炔酰菌胺	保护	50 mL/667 m <sup>2</sup>	先正达

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验地点及小区设置

2011 年, 田间试验地点位于哈尔滨市呼兰区庆平村, 该地点每年均有晚疫病发生, 播种时间为 4 月 20 日, 株距为 25 cm, 行距为 68 cm。试验设置 2 个空白对照, 2 个处理, 见表 2。每个处理 4 次重复, 随机区组排列, 每个小区面积 20m<sup>2</sup>, 四周设保护行。

#### 1.2.2 施药方法

采用背负式手动喷雾器进行茎叶均匀喷雾, 直至轻微滴水, 药液使用量见表 1。每种药剂交替使用, 不得超过 2 次, 避免产生抗药性。

#### 1.2.3 气象数据的收集方法

试验采用美国 DAVIS 公司生产的 Vantage Pro2 自动气象测量仪, 主要测量温湿度、降雨和风向, 仪器以太阳能板为动力, 它的扩频跳频无线电技术, 无线传输高达 300 m, 气象信息每 2.5 s 更新。

表 2 不同处理对应名称

Table 2 Names of different treatment

处理 Treatment	品种 Variety	
	Favorita	克新 18 Kexin 18
对照 CK	CK1	CK2
测报模型施药 Spray fungicide by forecast model	FN	KN
每 7 d 施药 Spray fungicide weekly	FW	KW

通过 GPRS 进行远程数据传输, 采用 Weather-link 软件, 下载数据, 可以实时接收下载数据。本试验在田间出苗 80% 后, 开始接收数据。

#### 1.2.4 施药时间确定

NegFry 是 1992~1996 年由丹麦农业科学研究所研制的马铃薯晚疫病化学防治决策支持系统。该模型基于气象数据(降雨、相对湿度和温度)和晚疫病菌的侵染规律而进行监测模型。采用自动气象站收集每小时气象数据。利用 Ullrich 和 Schordter 研发

的“负值分析”模型<sup>⑥</sup>, 计算出每日风险值和累加风险值, 当积累的风险值大于 130 和日风险值大于 7 时, 确定第 1 次喷药时间。然后, 根据 Fry 原理和模型, 计算每天病情指数, 进行累加。根据不同品种抗性, 如果感病品种累加病情指数 > 40, 中感品种累加病情指数 > 45, 中抗品种累加病情指数 > 50 时, 就需要进行第 2 次喷药。之后, 累加降雨量和病情指数归 0, 重新开始计算, 确定下一次施药时间。

### 1.2.5 田间病害调查方法

每次喷施药剂前, 进行调查, 发病后每周调查 2 次, 每个小区调查 25~30 株, 采用 James<sup>⑦</sup>调查标准, 调查发病百分率。

### 1.2.6 数据处理方法

将马铃薯叶片发病情况详细记录, 利用病害发展病程曲线下面积(Area under disease progress curve, AUDPC)来描述, 这一参数能够有效描述病情发展累积情况。发病越严重, AUDPC 值越大, 防治效果越差, 反之, 则效果显著。对不同处理 AUDPC 值进行显著性分析。AUDPC 计算公式<sup>⑧</sup>:

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^n [(X_{i+1} + X_i) / 2] [T_{i+1} - T_i]$$

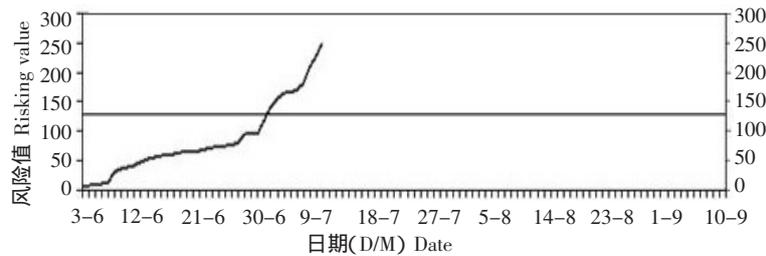
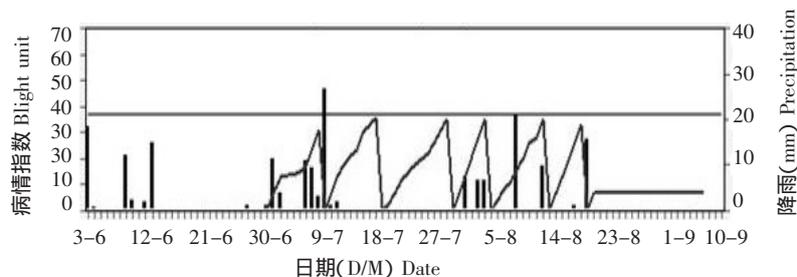


图 1 负值分析模型确定首次施药日期

Figure 1 Negative prognosis model to determine the first spraying date



曲线表示累加病情指数; 柱形图为降雨, 下同。

Curve represents blight units; bar chart represents precipitation. The same below.

图 2 感病品种喷药次数的确定

Figure 2 Determination of spraying number on susceptible variety

其中,  $n$  = 总调查次数,  $X_i$  = 第  $i$  次调查的严重程度,  $T_i$  为第  $i$  次调查的时间。

### 1.2.7 不同处理产量分析及块茎晚疫病发病情况调查

每个小区调查 2 垄, 每垄 5 m, 调查株数、产量、大中小薯比例(小薯 < 50 g, 50 g ≤ 中薯 < 120 g, 大薯 ≥ 120 g)和晚疫病烂薯数量, 计算单株产量及 667 m<sup>2</sup> 产量, 晚疫病病薯率。

## 2 结果与分析

### 2.1 施药时间确定

本试验马铃薯种植时间为 4 月 20 日, 通过田间调查, 6 月 3 日田间出苗率达到 80% 以上, 所以本试验从 6 月 3 日开始收集气象数据, 通过计算每天风险值, 进行累加, 7 月 2 日累积的风险值大于 130 和日风险值大于 7 时, 因此首次施药时间为 7 月 2 日(图 1)。计算每天病情指数, 进行累加, 感病品种大于 40 时, 需要下一次喷药, 然后病情指数归 0, 重新计算累加病情指数, 依次类推, 感病品种需要喷施药剂 7 次, 分别为 7 月 2 日, 7 月 10 日, 7 月 19 日, 7 月 30 日, 8 月 5 日, 8 月 14 日和 8 月 20 日(图 2), 喷施药剂依次为瑞凡、克露、瑞凡、

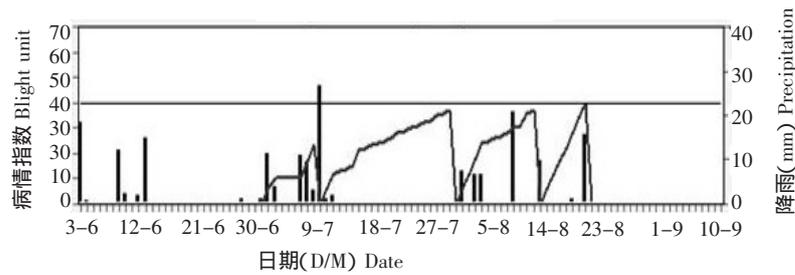


图 3 中抗品种施药次数的确定

Figure 3 Determination of spraying number on moderately resistant variety

克露、金雷、银法利和福帅得；中抗病品种需要喷施药剂 4 次，分别为 7 月 2 日，7 月 10 日，8 月 4 日和 8 月 20 日(图 3)，喷施药剂分别为瑞凡、克露、瑞凡、金雷。对照为不喷药和每 7 d 喷 1 次药，而如果每 7 d 喷 1 次药，首次喷药时间为 7 月 2 日，需要喷施 9 次药剂，依次为克露、瑞凡、代森锰锌、克露、瑞凡、金雷、银法利、福帅得和科佳。

### 2.2 防治效果

通过田间病害调查，结果显示：CK1 首先发病，发病日期为 7 月 18 日，仅有 3~5 片叶片发

病，其它处理均未发病。采用 NegFry 测报模型施药和每 7 d 施药处理首次发病时间为 8 月 6 日，向后推迟病害发生时间 19 d。到生育期结束，NegFry 测报模型施药和每 7 d 施药处理病害发病百分率仅为 10%和 5%，而对照 CK1 到 8 月 16 日就已经全部死亡(图 4)。CK2 首次发病时间为 8 月 2 日，比 CK1 晚发生 15 d，至生育期结束，不喷药发病率为 4%，NegFry 测报模型施药和每 7 d 施药处理发病百分率仅为 2%和 1%(图 5)。图 6 显示不同处理的 AUDPC 值，CK1、FN、FW、CK2、KW 和 KN 分别

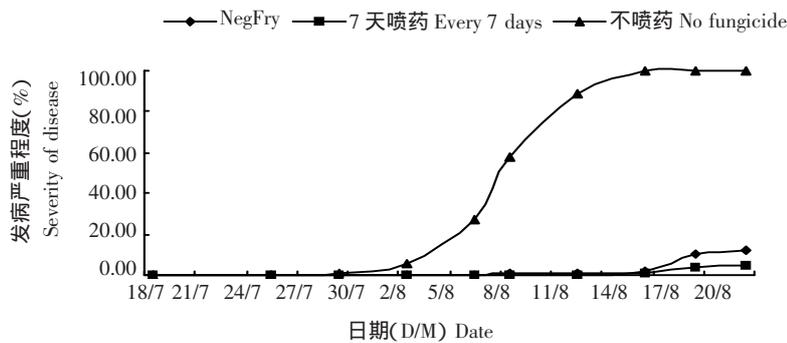


图 4 感病品种不同处理的病害发展曲线

Figure 4 Disease development curve of different treatments on susceptible variety

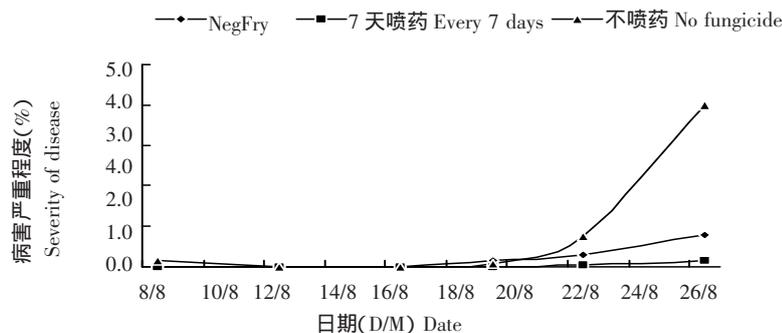


图 5 中抗品种不同处理的病害发展曲线

Figure 5 Disease development curve of different treatments on moderately resistant variety

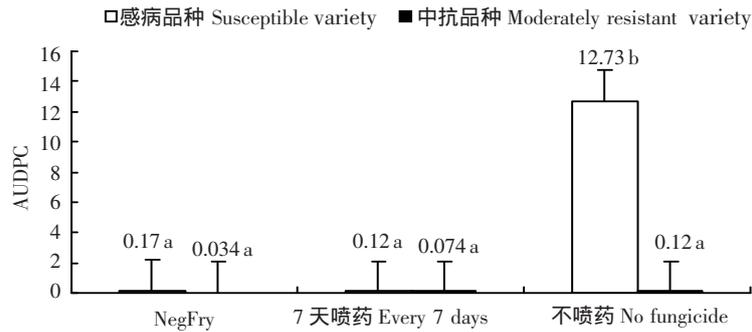


图6 不同抗性品种之间 AUDPC 值

Figure 6 AUDPC values between susceptible variety and moderately resistant variety

为12.73、0.17、0.12、0.12、0.074 和 0.034，通过邓肯多重极差法(LSR 法)进行方差显著性分析，采用测报模型喷施和每 7 d 喷施药处理的 AUDPC 值与 CK1 处理比较达极显著水平，其它处理间比较并不显著。说明采用测报模型防治晚疫病效果与采用抗病品种和每 7 d 喷试药剂达到同等效果。

2.3 不同处理对产量的影响

不同处理产量各不相同，产量最高是 FW，然后是 FN、KN、KW、CK2 和 CK1，采用邓肯多重极差法(LSR 法)进行显著性分析，结果表明：FW 和 FN 与对照 CK1 差异显著，其中 FW 增产最高达 30.52%，FN 增产 29.30%。KN、KW 和 CK2 的产量相比没有显著差异(表 3)。晚疫病烂薯率调查结果显示，烂薯率最高是 CK2，达到 2.40%，其次为 CK1，为 2.22%，依次为 KW、KN、FW 和 FN(表 3)，‘克新 18’烂薯率略高于‘Favorita’，可见，‘克新 18’块茎对晚疫病比较感病的，易受到晚

疫病菌感染。

对不同处理进行大中小薯率进行调查，由图7显示：病害防治效果越好，对应小薯率就越低，大中薯率就越高，感病品种小薯率最低是 FW，为 4.74%，其次为 FN，为 5.60%。对照 CK1 为 8.65%。在中抗品种中小薯率最低的是 KN，为 11.06%，其次为 KW，对照 CK2 小薯率为 20.16%。与对照相比，感病品种采用测报模型降低小薯 3.05 个百分点，中抗品种降低 9.1 个百分点，直接提高马铃薯商品薯率。同时，试验结果表明：不同品种之间小薯率差别非常明显，‘克新 18’小薯率明显高于‘Favorita’。

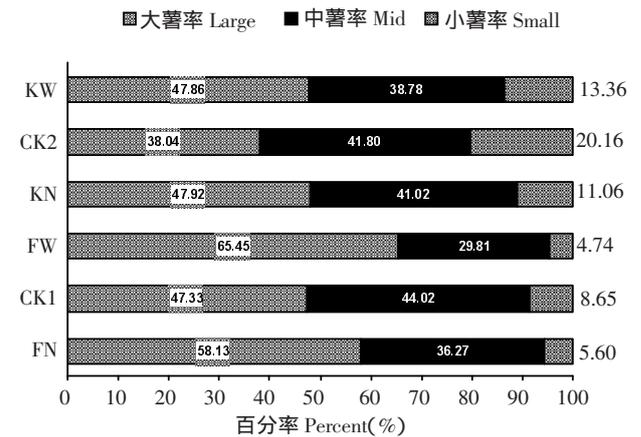


图7 不同处理的大中小薯率(%)

Figure 7 Percentage of large, medium and small sized potato tubers in various treatments

表3 不同处理产量和烂薯率测定  
Table 3 Determination of yield and rot rate of potato tuber in various treatments

处理 Treatment	单产(kg/667 m <sup>2</sup> ) Yield	增产(%) Increase compared with control	烂薯率(%) Rot potato percent	产量显著性 Significance	
				0.05	0.01
FW	2934	30.52	0.89	a	A
FN	2906	29.30	0.87	a	A
KN	2784	11.72	1.06	ab	A
KW	2741	9.97	1.33	ab	A
CK2	2492		2.40	ab	A
CK1	2247		2.22	b	A

2.4 经济效益分析

对不同处理的马铃薯晚疫病进行经济效益评价(表 4)。感病品种：采用测报模型增产值为 852 元，人工费用除外，扣除用药成本 150 元，新增纯收入

表 4 不同处理的经济效益评价(元/667 m<sup>2</sup>)  
Table 4 Economic evaluation of various treatments for control of potato late blight (Yuan//667 m<sup>2</sup>)

处理 Treatment	用药成本 Fungicide cost	总产值 Total output value	新增产值 Increased output value	新增纯收入 Increased net income
FN	150	2906.73	852	702
CK1	0	2247.98	0	0
FW	220	2934.03	895	675
CK2	0	2492.71	0	0
KW	220	2741.14	273	53
KN	60	2784.85	326	266

注:按马铃薯市场平均价格为 1 元/kg 计算。

Note: Potato was marketed at the price of 1 Yuan/kg

702 元;每 7 d 喷药处理增产值为 895 元,扣除用药成本 220 元,新增纯收入 675 元。由此得出,采用测报模型每 667 m<sup>2</sup> 比不喷药增收 702 元,比每 7 d 喷药处理增收 27 元,节约用药成本 70 元。中抗品种:采用测报模型增产值为 326 元,扣除用药成本 60 元,新增纯收入 266 元;每 7 d 喷药处理增产值为 273 元,扣除用药成本 220 元,新增纯收入 53 元。由此得出,采用测报模型每 667 m<sup>2</sup> 比不喷药增收 266 元,比每 7 d 喷药处理增收 213 元,节约用药成本 160 元。根据中抗品种和感病品种不喷药处理结果比较得出,不喷药中抗品种每 667 m<sup>2</sup> 产值为 2 492.71 元,不喷药感病品种每 667 m<sup>2</sup> 产值为 2 247.98 元,中抗品种比感病品种增收 10.88%。表明采用抗病品种可以显著增收,如果种植感病品种,采用测报模型即可产生明显的经济效益,又可以降低农药使用量,达到增产增收目的。

### 3 讨论

我国在马铃薯晚疫病预测预报研究和应用方面报道并不多,而且应用普及更少。2003 年,孙茂林等<sup>[9]</sup>应用 CASTOR 软件建立马铃薯晚疫病预警系统研究,仅仅应用其中 3 个模型,就取得了一定预测预报效果。2008 年,刘浩等<sup>[10]</sup>采用比利时 CARAH 模型进行应用, CARAH 模型对晚疫病适合发病时期预测比较准确,但对于何时进行首次喷药,并不明确。最近几年,由于晚疫病发生越来越严重,对马铃薯晚疫病预测预报,也越来越重视,河北农业大学开发出 China-blight 系统,但受气象数据采集等

因素影响,普及还需要很长时间<sup>[11]</sup>。我国采用丹麦 NegFry 模型,对晚疫病预测预报进行应用,但至今还没有报道。该模型 1993 年由丹麦农业科学院研制,并在欧洲广泛使用,据统计与常规防治方法相比较可减少杀菌剂使用量 40%~50%<sup>[12]</sup>。

通过本试验研究,利用丹麦 NegFry 模型进行晚疫病预测预报,及时喷施药剂,可有效控制马铃薯晚疫病发生与流行,通过田间试验比较显示,采用测报模型防治效果与每 7 d 喷施药剂防治可达到同等作用效果,而且,与中抗品种防治效果也无显著差异。并且,利用测报模型可降低杀菌剂使用次数,降低成本,提高产量,减少化学药剂对环境带来的压力。试验同时表明,中抗品种不同处理之间区别并不显著,因此,对于中抗品种施药时间和次数需要进一步研究和测定。因此,对于感病品种,可以使用本测报模型进行晚疫病预测预报,应用于马铃薯生产。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 宋伯符,王军,张志铭,等.我国马铃薯晚疫病的研究进展和建议[J].马铃薯杂志,1996,10(3):138-141.
- [ 2 ] Fry W E, Goodwin S B. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways and implications [J]. Plant Disease, 1993, 77: 653-661.
- [ 3 ] 司乃国,刘君丽.卵菌病害的化学防治现状与防治策略[J].农药,2000,39(2):7-10.
- [ 4 ] 李永刚,文景芝,郝中娜.植物源杀菌剂的研究现状与展望[J].东北农业大学学报,2002,3(2):198-202.
- [ 5 ] 孙茂林,李树莲,赵永昌,等.马铃薯晚疫病预测模型与预警技术研究进展[J].植物保护,2004,30(5):15-19.
- [ 6 ] Ullrich J, Schrodter H. Weitere centersuchangen zur biometeorologie und epidemiologie von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Ein neues konzept zur losung des problems der epidemiologischen prognose[J]. Phytopathology, 1966, 56: 265-278.
- [ 7 ] James W C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases [J]. Canadian Plant Disease, 1971, 51(2): 39-65.
- [ 8 ] 王秀娜,段霞瑜,周益林,等.小麦品种多样性对白粉病及产量和蛋白质的影响[J].植物病理学报,2011,41(3):285-294.
- [ 9 ] 孙茂林,李树莲,赵永昌,等.应用 CASTOR 软件建立马铃薯晚疫病预警系统研究[J].云南农业科技,2003,154-157.
- [ 10 ] 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].现代农业科技,2008,15:142-144.
- [ 11 ] 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):114-118.
- [ 12 ] 刘文文.马龙地区马铃薯晚疫病预警系统的研制[D].昆明:昆明理工大学,2005:7-8.