

黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型应用评价

王贵江^{1*}, 吕典秋², 闵凡祥²

(1. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院植物脱毒苗木研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 马铃薯晚疫病是世界马铃薯生产上一种毁灭性病害, 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, 化学防治存在用药不及时和过度施药的问题, 采用马铃薯晚疫病预测预报模型可以有效解决这个问题。应用黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型, 对马铃薯晚疫病发生进行了预测, 并与丹麦NegFry模型、每7 d施药和每10 d施药处理比较。黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型处理、丹麦NegFry模型处理和每7 d施药处理与对照相比在病害防治效果方面差异显著, 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型处理与丹麦NegFry模型处理和每7 d施药处理相比不显著。采用黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型与实际病害发生拟合度达95%。黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型与丹麦NegFry模型处理、每7 d施药处理、每10 d施药处理相比, 减少杀菌剂使用次数1~3次。与空白对照相比, 增产48.24%, 小薯率降低5.63个百分点, 烂薯率降低4.52个百分点, 增加纯收入12 090元/hm²。所以, 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型与丹麦NegFry模型和每7 d防治处理达到同等防治效果, 且降低农药使用量, 可及时指导晚疫病田间防治工作。

关键词: 马铃薯晚疫病; 预测预报; 黑龙江省

Evaluation of Potato Late Blight Forecasting Model in Heilongjiang Province

WANG Guijiang^{1*}, LU Dianqiu², MIN Fanxiang²

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China;

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

Abstract: Potato late blight is the most destructive disease for potato production in the world. Fungicide application is considered as the most effective and common used measure for the control of potato late blight. However, there are the problems of untimely administration and excessive application of fungicide. Potato late blight forecast model is an effective solution to these problems. The purposes of this study were to apply Heilongjiang Forecasting model (FM) for late blight control in Heilongjiang Province, and compare the control results with those of Denmark NegFry model (FN), and the treatments of one week fungicide application (FW) and ten days fungicide application (FT). FM, FN and FW were significantly higher than control for disease control, but no significance was found in FM, FN and FW. The prediction model of FM was fitted to the actual disease by 95%. Fungicide application was reduced by 1-3 times, when based on FM compared with FN, FW and FT. Compared with control, tuber yield was increased by 48.24%, small-sized tuber percentage decreased by 5.63 percentage points, rotten tuber percentage decreased by 4.52 percentage points, and net income increased by 12 090 Yuan/ha. FM achieved the same results for late blight control as FN and FW did, but reduced fungicide usage, therefore, it could be used for timely guidance for field prevention and control of late blight.

Key Words: potato late blight; forecast model; Heilongjiang Province

收稿日期: 2017-12-06

基金项目: 黑龙江省马铃薯产业技术协同创新体系项目(HNWJZTX201701); 黑龙江省科技攻关重大项目(YC2015D003); 科技部国际科技合作计划项目(2014DFG32260); 国家重点研发计划项目课题(2018YFD0200803)。

作者简介: 王贵江(1963-), 男, 研究员, 主要从事马铃薯高效生产技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 王贵江, E-mail: minfanxiang@126.com。

马铃薯是黑龙江省第四大粮食作物, 2014年, 黑龙江省马铃薯种植面积26.7万 hm^2 , 总产为440万t, 单产为16.5 t/ hm^2 ^[1], 与发达国家单产45~60 t/ hm^2 相比存在巨大差距^[2], 其最主要原因是晚疫病频繁爆发, 各种植区品种繁多, 防治技术水平良莠不齐, 防治方法单一。目前, 生产上最常用方法是化学防治, 但普遍存在盲目施药, 滥施杀菌剂问题, 既污染环境, 又增加病原菌抗药性, 达不到很好的效果, 最终导致黑龙江省马铃薯单产仅占发达国家50%左右, 严重制约黑龙江省马铃薯产业发展^[3]。因此, 为了杜绝滥用农药和提高防效, 发达国家都在积极探索晚疫病的预测预报方法和决策支持系统。目前, 国际上已经使用的晚疫病预测预报模型有17个^[4], 然而, 中国在晚疫病预测预报模型研究方面远落后于欧美发达国家^[5]。本研究借鉴国外马铃薯晚疫病预测预报模型原理, 结合黑龙江省气象数据、品种特性和杀菌剂特点, 自主设计了黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型。本模型集成了地理信息系统GIS、无线通讯、WEB技术、数据分析、预警发布和病害流行等技术, 具有病害信息实时发布、监测预警和决策支持的功能。本研究通过田间小区试验, 与丹麦NegFry测报模型和不同时间喷药处理比较, 验证黑龙江省晚疫病预测预报模型应用效果, 以科学指导农民施药, 达到推广目的。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验马铃薯品种为‘Favorita’, 种薯级别为一级种(G3), 对晚疫病高度感病。

试验药剂具体信息见表1。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地点及小区设置

2016年, 试验选择在哈尔滨市道外区民主乡国家示范园区, 该地每年均有晚疫病发生。马铃薯播种时间为5月13日, 出苗80%时间为6月1日, 收获时间为10月3日, 行距为80 cm, 株距为22 cm。试验设5个处理: 黑龙江省晚疫病预测预报模型、NegFry模型、每7和10 d施药和空白对照(表2)。小区采取随机区组排列, 每个处理4次重复, 每个重复6行, 行长5 m, 小区面积24 m^2 , 四周设隔离行和保护行。

1.2.2 施药方法

采用背负式电动喷雾器进行叶面喷雾, 直至叶片有轻微药液流下, 杀菌剂施用浓度见表1。每种杀菌剂交替使用, 施用不得超过2次, 避免病原菌产生抗药性。

1.2.3 气象数据的收集方法

气象数据采集利用美国DAVIS公司生产的4要素野外便携式气象站, 主要收集温湿度、降雨和风向, 仪器以太阳能板为动力, 气象数据每2.5 s更新1次。通过GPRS进行远程数据传输, 本试验在田间出苗80%后, 开始接收数据。

1.2.4 马铃薯晚疫病感染严重程度确定

黑龙江省晚疫病预测预报模型依据平均温度和相对湿度大于90%时持续时间, 将马铃薯潜在感染程度数划分为5个级别(无感染、轻度感染、中度感染、重度感染和极重感染)。根据图1可判断晚疫病的潜在感染程度。例如: 当相对湿度 $\geq 90\%$ 时的平均温度为7 $^{\circ}\text{C}$ 时, 当持续时间 < 16.5 h时为“无感染”; 当 $16.5 \text{ h} \leq \text{持续时间} < 19.5$ h时为

表1 杀菌剂基本信息

Table 1 Fungicide information

杀菌剂 Fungicide	主要成分 Main component	施用剂量 Dosage	作用方式 Action mode	价格(元/次) Price (Yuan/time)	厂家 Manufacturer
克露 Cymoxanil + mancozeb	72% 代森锰锌 + 霜脲氰	100 g/667 m^2	内吸兼保护	15	杜邦
福帅得 Fluazinam	50% 氟啶胺	25 mL/667 m^2	内吸兼保护	20	日本石原
银法利 Propamocarb-HCl + fluopicolide	68.75% 氟吡菌胺 + 霜霉威 + HCl	75 mL/667 m^2	内吸	40	德国拜耳
瑞凡 Mandipropamid	25% 双炔酰菌胺	50 mL/667 m^2	保护	25	先正达
代森锰锌 Mancozeb	75% 代森锰锌	100 g/667 m^2	保护	10	先正达

表2 不同处理
Table 2 Different treatments

处理 Treatment	处理名称 Name of treatment
对照 Control	CK
黑龙江省晚疫病预测预报模型 Fungicide application based on Heilongjiang Province forecast model	FM
每10 d施药处理 Fungicide application at 10 days interval	FT
每7 d施药处理 Fungicide application at a week interval	FW
NegFry模型施药处理 Fungicide application based on NegFry forecast model	FN

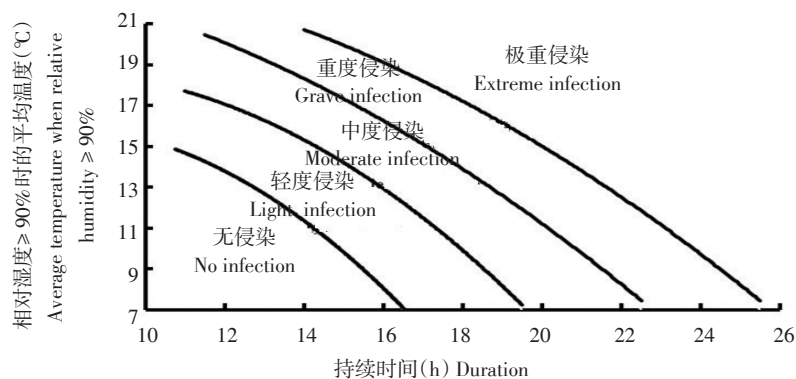


图1 晚疫病发生严重程度与湿润期持续关系

Figure 1 Relationship between late blight severity and wetting period

“轻度侵染”；当 $19.5 \text{ h} \leq \text{持续时间} < 22.5 \text{ h}$ 时为“中度侵染”，当 $22.5 \text{ h} \leq \text{持续时间} < 25.5 \text{ h}$ 时为“重度侵染”；当持续时间 $\geq 25.5 \text{ h}$ 时为“极重侵染”。以此类推，确定马铃薯晚疫病侵染严重程度。

1.2.5 马铃薯晚疫病病害循环计算和喷施药剂时间确定

根据每天平均温度，可以确定每天得分值。如果存在病原菌情况下，晚疫病菌从孢子成熟—孢子萌发—新孢子侵染的过程，需要将每天得分值累加7分时完成一次侵染循环(表3)，而此时如果没有采取防治措施，则有可能看到侵染叶片上的病斑或其上的白色霉层。最佳施药时间为每次循环得分累加值在5~6分时所对应时间，再根据杀菌剂持效期、降雨、品种抗性和新的侵染循环确定下一次喷药时间。

1.2.6 病害调查时间及方法

每次喷施杀菌剂前，进行病害调查，如果发病，

则需每周调查2次，每试验小区调查25~30株，采用James^[6]分级计数法，统计病害发病百分率。

1.2.7 数据处理统计方法

将调查的马铃薯叶片病害发展情况，计算为病害发展病程曲线下面积AUDPC (Area under disease progress curve)。如果AUDPC值越大，则发病越严重，防治效果越差。反之，防治效果越显著。对不同处理AUDPC值进行显著性分析。AUDPC计算公式^[7]：

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

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

1.2.8 不同处理产量和烂薯率情况调查

每个试验小区调查中间2垄(8 m²)，调查产量、植株数、大中小薯比例(小薯<50 g、120 g≥中薯≥50 g、大薯>120 g)^[8]和晚疫病烂薯数量，计

表3 侵染循环每天侵染曲线得分的计算标准
Table 3 Calculation standard of infection cycle score of infection curve

每天平均温度(℃) Average temperature	得分 Score
< 8 ℃ Lower than 8 ℃	0.00
8 ℃≤温度≤12 ℃ Between 8 and 12 ℃ (including 8 and 12 ℃)	0.75
12 ℃ < 温度≤16.5 ℃ Between 12 and 16.5 ℃ (including 16.5 ℃)	1.00
16.5 ℃ < 温度≤20 ℃ Between 16.5 and 20 ℃ (including 20 ℃)	2.00
20 ℃ < 温度≤30 ℃ Between 20 and 30 ℃ (including 30 ℃)	1.00
> 30 ℃ More than 30 ℃	0.00

算单株产量及公顷产量和晚疫病病薯率^[9]。

晚疫病病薯率(%) = $\frac{\text{发病块茎数}}{\text{调查块茎数}} \times 100$

2 结果与分析

2.1 马铃薯晚疫病预测预报结果与施药情况

播种时间为2016年5月13日，6月1日马铃薯出苗率达到80%以上。所以，从6月1日开始采集气象数据，经黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型数据处理后，得到6月1日~8月11日整个马铃薯生育期温度、湿度和降雨情况，黑色柱形是降雨，浅色细线是湿度曲线，黑色细线是温度曲线，灰色柱形是侵染严重程度(图2)。由黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报软件得出适合晚疫病发生共计19次(极重侵染5次、重度侵染3次、中度侵染6次、轻度侵染5次)，柱形高矮表示可能发生晚疫病严重程度。依据1.2.5判断喷药时间依次为7月8日、7月

15日、7月22日、7月29日、8月9日，共计5次用药，每次用药次序为75%代森锰锌、25%双炔酰菌胺、72%代森锰锌 + 霜脲氰、68.75%氟吡菌胺 + 霜霉威 + HCl和50%氟啶胺(表4)。

将以上采集气象数据，运用丹麦 NegFry 测报模型分析结果显示，6月30日累积的风险值为140，日风险值为8.95，因此6月30日为首次施药时间(图3)。通过气象数据利用 NegFry 测报模型计算每天病情指数，进行累加。当病情指数累加大于40时，则需进行喷施杀菌剂。然后将病情指数归0，重新累加病情指数。2016年采用 NegFry 测报模型需要喷施杀菌剂7次，分别为6月30日、7月6日、7月13日、7月20日、8月7日、8月14日和9月5日(图4)，喷施药剂次序为75%代森锰锌、68.75%氟吡菌胺 + 霜霉威 + HCl、75%代森锰锌、72%代森锰锌 + 霜脲氰、25%双炔酰菌胺、72%代森锰锌 + 霜脲氰和50%氟啶胺。

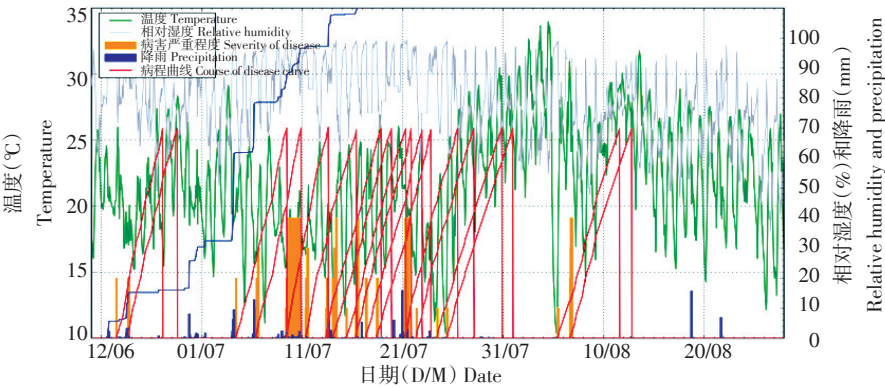


图2 马铃薯晚疫病可能发生严重程度及喷药时间

Figure 2 Possible severity of potato late blight and time of fungicide application

表4 不同处理喷施药剂情况
Table 4 Fungicide application in different treatments

处理 Treatment	施药次数 Application times	施药日期(D/M)及施用杀菌剂名称 Date of fungicide application and name of applied fungicide							
FW	8	30/06	07/07	15/07	22/07	29/07	05/08	12/08	19/08
		代森锰锌	银法利	克露	瑞凡	银法利	克露	瑞凡	福帅得
FT	6	30/06	09/07	19/07	28/07	05/08	19/08		
		代森锰锌	银法利	克露	瑞凡	银法利	福帅得		
FM	5	08/07	15/07	22/07	29/07	09/08			
		代森锰锌	瑞凡	克露	银法利	福帅得			
FN	7	30/06	06/07	13/07	20/07	07/08	14/08	05/09	
		代森锰锌	银法利	代森锰锌	克露	瑞凡	克露	福帅得	

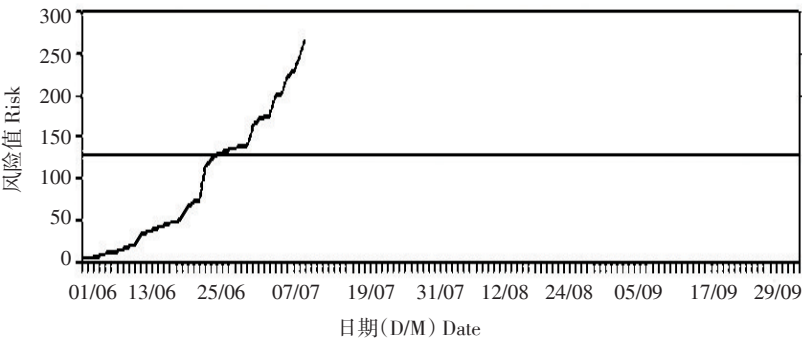


图3 NegFry测报模型首次喷施杀菌剂日期
Figure 3 Date of fungicide application for the first time based on NegFry model

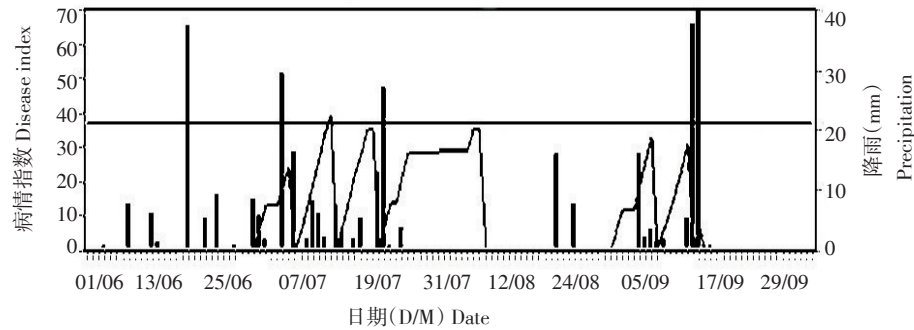


图4 NegFry测报模型喷药次数情况
Figure 4 Number of fungicide appliciton times based on NegFry model

每7 d喷药和每10 d喷药处理，首次喷药时间选择丹麦 NegFry 模型时间，为6月30日。按照表4进行药剂喷施，与黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型相比，施药次数多1~3次。

2.2 黑龙江省晚疫病预测预报模型与实际病害发生拟合情况
2016年，采用黑龙江省晚疫病预测预报模型，预测马铃薯生育期内出现19次晚疫病感染周

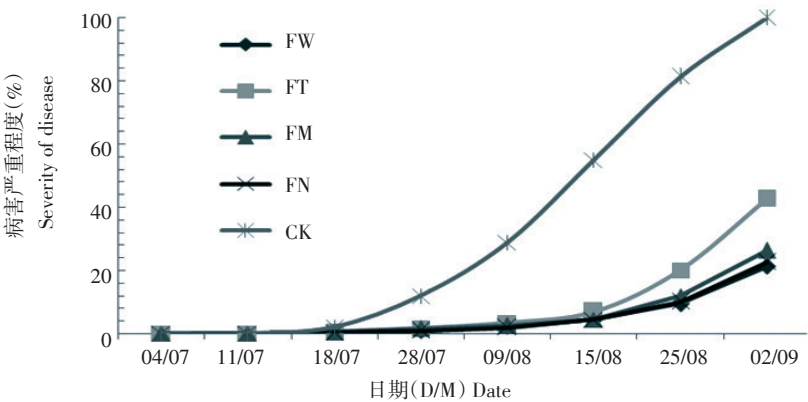


图5 不同处理的晚疫病病害发展曲线

Figure 5 Development curve of late blight under different treatments

表5 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型的验证结果

Table 5 Validation for the model of fungicide application based on Heilongjiang Province forecast

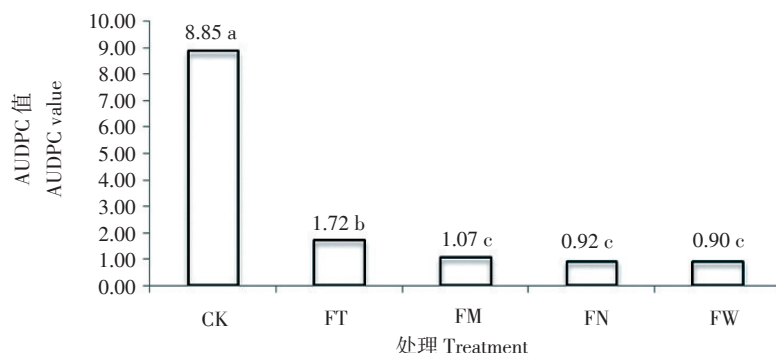
项目 Item	病害发生等级 Actual occurrence level				总计 Total
	轻度侵染	中度侵染	重度侵染	极重侵染	
	Light infection	Moderate infection	Grave infection	Extreme infection	
预测等级数总数 Total numbers of forecast grade	5	6	3	5	19
实际发生等级数总数 Total numbers of actual grade	6	6	3	5	20
测报准确率(%) Accuracy rate	83	100	100	100	95

期(图5)。通过田间调查验证,实际马铃薯晚疫病发生情况为20次,黑龙江省晚疫病预测预报模型与实际病害发生拟合达到95%,具体情况如下:7月3~16日,田间出现中心病株,实际病害发生情况与黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型结果拟合度为83%。7月16~22日,病情进入指数增长期,晚疫病病叶达到中度侵染,实际病害发生情况与黑龙江省晚疫病预测预报模型拟合度达100%。7月22~27日,田间又一次出现中心病株,与黑龙江省晚疫病预测预报模型预报拟合为100%。7月27日~8月5日,晚疫病开始流行,与黑龙江省晚疫病预测预报模型拟合度为100%。第5次为8月5~15日,晚疫病大流行,与黑龙江省晚疫病预测预报模型预报拟合;8月15~22日,晚疫病发病达高峰,与黑龙江省晚疫病预测预报模型预报拟合。8月22日~9月3日,晚疫病病情已到衰退期,与黑龙江省晚疫病预测预报模型预报

拟合。这些数据说明黑龙江省晚疫病预测预报模型预测的结果与实际发生期接近,拟合程度较高,为95%(表5)。

2.3 防治效果

通过对整个生育期马铃薯晚疫病发生情况调查,结果表明,空白对照(CK)最先发病,首次发病日期为7月15日,仅有零星叶片发病,其他试验处理均未发病。采用黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型施药处理(FM)、每7 d喷药处理(FW)和NegFry模型施药处理(FN)病害发展缓慢,发病日期为7月28日。到生育期结束,病害发病百分率仅为26.25%、22.50%和21.25%,而对照CK到9月2日就已经全部死亡(图5)。由图6显示不同处理的AUDPC值,CK为8.85,FT为1.72,FM为1.07, FN为0.92, FW为0.90。对以上数据进行方差显著性分析,结果显示,各处理与CK对照处理比较达显著水平,每7 d喷药处理(FW)、黑龙



处理平均值多重比较采用LSD法, 不同小写字母表示0.05水平上的显著性。

Treatment means are compared using LSD method, and lowercase letters above treatment mean denotes significance at 0.05 level.

图6 不同处理AUDPC值

Figure 6 AUDPC values with different treatments

江省晚疫病预测预报模型处理(FM)和丹麦 NegFry 测报模型处理(FN)间比较差异并不显著。表明采用黑龙江省晚疫病预测预报模型防治晚疫病效果与每7 d喷施药剂处理和丹麦 NegFry 测报模型处理达到同等效果。

2.4 不同处理对产量的影响

采用不同处理防治马铃薯晚疫病, 其产量各不相同, 产量最高是每7 d喷药处理(FW), 其次是FM、FN、FT和CK。对数据进行方差分析, 结果表明, FW、FM和FN与对照CK相比在0.05水平上增产效果达显著水平, 表明采用黑龙江省晚疫病预测预报模型可以有效防治马铃薯晚疫病流

行, 可提高产量, 本测报与空白对照相比, 增产48.24%。对各处理马铃薯晚疫病烂薯率进行调查, 结果显示, 烂薯率最高是空白对照(CK), 达到9.33%, 其次为FN, 为5.76%, 之后依次为FT、FM、FW(表6)。因此, 采用黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型处理能够有效避免和降低块茎感染几率, 烂薯率降低4.52个百分点, 降低次年初侵染源。

大薯率多少, 决定商品薯率高低, 因此, 本研究对不同处理大中小薯率进行统计。图7结果表明, 晚疫病防治效果越好, 对应小薯率就越低, 大中薯率就越高。其中, 大薯率最高是FW, 为

表6 不同处理产量和烂薯率

Table 6 Yield and rotten tuber percentage under different treatments

处理 Treatment	单产(t/hm ²) Yield (t/ha)	增产(%) Increased compared with control	晚疫病烂薯率(%) Rotten tuber percentage	差异显著性 Difference significant	
				0.05	0.01
CK	28.485	—	9.33	a	A
FW	42.285	48.45	3.29	c	B
FM	42.225	48.24	4.81	c	B
FN	40.695	42.86	5.76	c	B
FT	36.585	28.44	5.13	b	B

注: 处理产量平均值多重比较采用LSD法, 不同小写和大写字母分别表示0.05和0.01水平上的显著性。

Note: Treatment means are compared using LSD method, and different lowercase and capital letters indicate significance at levels of 0.05 and 0.01, respectively.

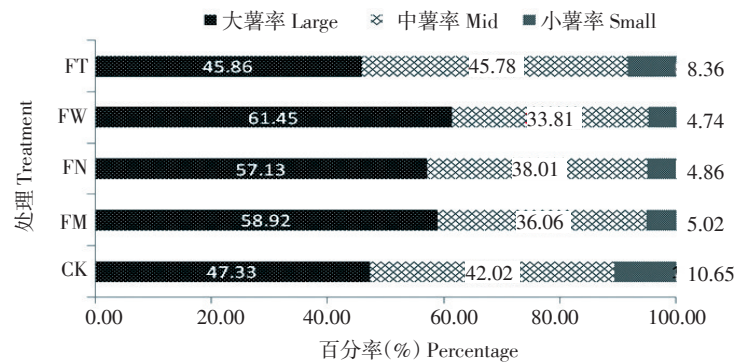


图7 不同处理大中小薯率
Figure 7 Large-, medium- and small-sized potato tuber percentage under different treatments

61.45%，其次为FM，为58.92%，FN为57.13%。对照CK为47.33%。与空白对照相比，采用黑龙江省晚疫病预测预报模型处理提高大薯率11.59个百分点，小薯率降低5.63个百分点，可有效提高马铃薯商品薯率。

2.5 经济效益分析

结果表明(表7)，黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型处理与空白对照处理相比新增产值为13 740元/hm²，人工费用除外，扣除用药成本1 650元/hm²，新增纯收入为12 090元/hm²；每7 d喷药处理与空白对照相比新增产值为13 800元/hm²，扣除用药成本2 850元/hm²，新增纯收入10 950元/hm²。

采用丹麦NegFry测报模型与空白对照相比新增产值为12 210元/hm²，扣除用药成本1 875元/hm²，新增纯收入10 335元/hm²。每10 d喷药处理与空白对照相比新增产值为8 100元/hm²，扣除用药成本2 250元/hm²，新增纯收入5 850元/hm²。由此得出，采用黑龙江省晚疫病预测预报模型较空白对照增收13 740元/hm²，新增纯收入较每7 d喷药处理多1 140元/hm²，节约用药成本1 200元/hm²，较丹麦NegFry模型处理增收1 755元/hm²。所以，采用黑龙江省晚疫病预测预报模型即可产生明显的经济效益，又可以降低农药使用量，以达到增产增收的目的。

表7 不同马铃薯晚疫病防治处理的经济效益评价(元/hm ²)				
Table 7 Economic evaluation of various treatments for control of potato late blight (Yuan/ha)				
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
CK	0	28 485	0	0
FW	2 850	42 285	13 800	10 950
FM	1 650	42 225	13 740	12 090
FN	1 875	40 695	12 210	10 335
FT	2 250	36 585	8 100	5 850

注：马铃薯按市场平均价格为1.00元/公斤计算。
Note: Potato was marketed at price of 1.00 Yuan/kg.

3 讨 论

“十三五”以来，国家提出化肥农药零增长的

目标^[10]，而马铃薯晚疫病预测预报模型，作为一种保证杀菌剂精准施用的技术，在中国马铃薯绿色生产中，具有重要意义。关于马铃薯晚疫病预

测预报模型应用, 2003年, 孙茂林等^[11]应用CASTOR软件建立马铃薯晚疫病预警系统研究。2008年, 刘浩和张宗山^[12]采用比利时CARAH模型对晚疫病进行预测预报, CARAH模型仅针对感病品种, 且对何时进行首次喷药, 并不明确。2010年, 河北农业大学胡同乐和曹克强^[13]开发了China-blight系统, 但受系统监测网络建设问题的限制, 普及还需要很长时间。2013年, 闵凡祥等^[14]用丹麦NegFry模型对黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报, 取得显著防治效果, 但数据采集生成文本格式不同, 需要进行数据转换, 导致系统无法进行兼容。本研究采用拥有自主知识产权黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型, 与国际先进模型和每7 d喷药处理数据进行比较, 结果显示, 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型与每7 d施药处理和丹麦NegFry模型相比达到同等防治效果, 且节约2~3次用药, 测报与实际病害发生拟合度为95%, 增产效果显著, 为48.24%, 经济效益明显, 与丹麦NegFry模型相比, 效益增加1 755元/hm²。所以, 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型具有良好推广和应用前景。

本研究系统比较分析了黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型应用效果, 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型可以有效控制感病品种晚疫病发生与流行, 而针对抗性品种, 黑龙江省马铃薯晚疫病预测预报模型是否可以精准指导喷药, 还需要进一步细化研究, 也是当前研究主要方向。

[参 考 文 献]

[1] 张丽娟, 李庆全, 牛志敏, 等. 2014年黑龙江省马铃薯产业回顾

及发展建议 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与现代可持续农业. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2015.

- [2] 秦军红, 李文娟, 卢肖平, 等. 世界马铃薯产业发展概况 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与中国式主食. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2016.
- [3] 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, 33(2): 198-202.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] James W C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases [J]. Canadian Plant Disease, 1971, 51(2): 39-65.
- [7] 王文桥, 马平, 张小凤, 等. 生物源杀菌剂与化学药剂协调防控番茄病害 [J]. 植物保护学报, 2011, 38(1): 75-80.
- [8] 蔺冬梅, 刘东旭, 王勇, 等. 涂尿素缓释控肥的施用量对旱地全膜垄作侧播马铃薯的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2014(10): 56-58.
- [9] 闵凡祥, 郭梅, 高云飞, 等. 5种药剂对马铃薯晚疫病的防治效果分析 [J]. 中国马铃薯, 2012, 26(1): 36-39.
- [10] 金书秦, 张惠, 吴娜伟. 2016年化肥、农药零增长行动实施状况评估 [J]. 中国发展观察, 2017(13): 45-49.
- [11] 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(s1): 154-157.
- [12] 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): 142-144.
- [13] 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.
- [14] 闵凡祥, 郭梅, 高云飞, 等. NegFry马铃薯晚疫病预测预报模型的评价 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(2): 87-92.