

中图分类号: S532; S436.32 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2010)02-0114-06

综 述

马铃薯晚疫病预警技术发展历史与现状

胡同乐, 曹克强*

(河北农业大学植物保护学院, 河北 保定 071001)

摘 要: 本文系统介绍了国内外马铃薯晚疫病预警技术的发展历史和应用现状。马铃薯晚疫病预警技术的发展大体经历了三个阶段, 第一阶段是基于一定气象条件规则的人工预警方法; 第二阶段是基于预测模型的电算预警技术; 第三阶段是基于田间病害监测和信息技术的监测预警系统。目前, 一些发达国家特别是欧洲主要应用监测预警系统。我国也已组建了“中国马铃薯晚疫病监测预警系统”, 并已实现网上运行和服务(其域名为: www.china-blight.net), 该系统的进一步推广应用, 将为我国马铃薯晚疫病监测预警和有效防控提供有力保障。

关键词: 马铃薯晚疫病; 预警技术; 预警系统

Historial and Current Situation of Warning Techniques on Potato Late Blight

HU Tongle, CAO Keqiang

(College of Plant Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: The historial and current situation of the development of warning techniques on potato late blight was reviewed in this paper. The development of warning techniques on potato late blight could be divided into three stages. The artificial warning methods based on certain meteorological rules were used in the first stage; the computerized warning techniques based on forecast models were developed and utilized in the second stage; and in the third stage monitoring and warning systems based on disease monitoring in the field as well as the information techniques have been widely used today. At present, the monitoring and warning systems are mainly used in the developed countries especially in Europe. "The monitoring and warning systems on potato late blight of China" has been constructed in our country, and has been running and servicing on Internet (the domain name is: www.china-blight.net). With the further popularizing of this system, the monitoring, warning and effective control against potato late blight in our country will be firmly supported.

Key Words: potato late blight; warning technique; warning system

由致病疫霉(*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) 引起的马铃薯晚疫病曾于 1845 年在爱尔兰大流行, 造成了著名的“爱尔兰大饥荒(Irish potato famine)”^[1], 目前该病在世界各马铃薯主产区均有发生和流行^[2-3], 其危害性、防治难度及对社会造成的影响, 已超过稻瘟病和小麦锈病, 成为全球第一大作物病害, 据估计, 全球每年因晚疫病造成的经济损失(直接损失和药剂花费)高达 30~50 亿美元^[4-5]。

由于生产上应用的品种多不抗病, 国内外主要依靠化学防治控制该病危害。为了提高施药的针对性和防治效果, 近 100 年来科研人员一直致力于晚疫病预警技术的研究和应用。从国内外马铃薯晚疫病预警技术发展的历史来看, 大体经历了三个阶段, 第一阶段是基于一定气象条件规则的人工预警方法; 第二阶段是基于预测模型的电算预警技术; 第三阶段是基于田间病害监测和信息技术的预警系统。

收稿日期: 2010-01-27

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(nyhyzx07-006-03)。

作者简介: 胡同乐(1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为植物病害流行与综合防治。

* 通信作者: 曹克强, 教授, 研究方向为植物病害流行与综合防治, E-mail: ckq@hebau.edu.cn。

1 基于一定气象条件规则的人工预警方法

在多年的研究基础上，人们认识到马铃薯晚疫病的发生与气象条件有密切的关系，其中温度、相对湿度和降雨是主要的气象要素。在世界各地都有人开始研究何种气象条件能够导致晚疫病病菌的侵染和发病，进而进行预测预报指导防治。比较著名的气象条件规则有以下几个。

1.1 Cook 规则

由 Cook^[6]于 1949 年为美国弗吉尼亚建立，适用于晚疫病发生年份比例低于 50% 的地区。75 F ($\approx 23.9^{\circ}\text{C}$ ，笔者注)被认为是决定性温度(Critical temperature)，高于此温度将不利于晚疫病发生；从历史记载晚疫病发生最早日期之前的某一天开始记录累积降雨量(Cumulative rainfall)，根据晚疫病发生年份和未发生年份的累积降雨量采用最小二乘回归法或目测法划定中线(Median line)即决定性降雨量线(Critical rainfall line)；累积降雨量超过决定性降雨量线并且 7 日平均温度低于 75 F 被认为是有利于晚疫病发生的条件。至少连续两周达到有利于晚疫病发生的条件才可导致晚疫病严重发生，此时模型建议施药防治。该模型曾在美国弗吉尼亚和康乃狄格州以及加拿大不列颠哥伦比亚应用。

1.2 Wallin 规则

由 Wallin^[7]于 1951 年提出，曾在美国北部和世界其它地方应用，根据马铃薯生长期间的相对湿度和温度的一定累积值来预测病害的始发期。按照 $\text{RH} \geq 90\%$ 的持续小时数与此时期的平均温度组合，人为给定一系列的“严重值”(Severity)(表 1)，自植株出土开始记录。当表中严重值累计超 18~20 后，7~14 日内开始发病。

1.3 Irish rules

由 Bourke^[8]于 1953 年建立，在爱尔兰应用。所需气象数据为温度、相对湿度和降雨量。 $\text{RH} \geq 90\%$ 且温度 $> 10^{\circ}\text{C}$ ，连续 12~16 h (如 $\text{RH} \geq 90\%$ 的两次间隔不超过 5 h 则视为连续)，满足上述条件后 7 d 可以施药防治。

1.4 Hyre 规则

由 Hyre^[9]于 1954 年报道，曾在美国东部应用。以每日雨量和最高、最低温度为依据，5 日平均温度 $< 25.5^{\circ}\text{C}$ ，最近 10 日内雨量总和 $\geq 30 \text{ mm}$ ，可作为“有利晚疫日”的标准，最低温度低于 7.2°C 则不

表 1 温度和相对湿度与 Wallin 严重值(0~4)的关系
(据 Krause 1975 年改制)

Table 1 The relationship of temperature and relative humidity to the severity values of Wallin
(Adapted from Krause, 1975)

RH $\geq 90\%$ 时 平均温度($^{\circ}\text{C}$) Average temperature in RH $\geq 90\%$	RH $\geq 90\%$ 的时数 Consecutive hours of RH $\geq 90\%$						
	<9	10~12	13~15	16~18	19~21	22~24	>25
7.2~11.6			0	1	2	3	
11.7~15.0		0	1	2	3	4	
15.7~26.6	0	1	2	3	4	4	

能作为“有利晚疫日”，“有利晚疫日”连续出现 10 d，则 7~14 d 后开始发病。

1.5 Smith Periods

由 Smith^[10]于 1956 年报道，目前仅在英国应用，以相对湿度和最低温度为依据。其规则为：生长季内在连续 2 d 最低温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 并且每日均出现 $\text{RH} \geq 90\%$ 连续 11 h 以上的条件，有利于病菌侵入。

1.6 Beaumont rules

这是 Beaumont^[11]提出的早期应用较广的预测方法，目前还有一些地方仍在采用。其预测标准是：在生长季节中第一次出现连续 48 h 内相对湿度不低于 75%、温度不低于 10°C ，则 15~22 d 后将普遍发病。

我国各地曾试用 Beaumont rules 预测法，但发现其准确性不够理想，测报日期与实际发病日期常相差 20~40 d，因此对指导防治的实际意义不大，目前已很少有人采用。英国认为此法的准确度可达 70%，可能与其独特的地理环境和气候条件有关。

1.7 中心病株观测法

我国曾采用过根据中心病株的出现预测病害流行的方法，在达到上述 Beaumont rules 后，检查大田或观测圃的中心病株，观测圃发现中心病株后，可开始普查大田，消灭中心病株并准备防治。

1.8 CARAH 模型

由比利时的 Ducattillon 于 1986 年提出，以田间逐小时相对湿度和温度为依据，当生长季节出现表 2 中任何一种情形后，晚疫病病菌的孢子将进入叶片内，即开始进入侵染过程。只要得到以后每天的平均温度，就可以根据表 3 中提供的数据得到一个分值，然后将每天得到的分值进行累加，得够 7 分表

明一个侵染过程已经结束，新的侵染过程即将开始。在比利时，10 年前还采用 Guntz-Divoux 的方法进行分值计算，但由于近年来生理小种的变化，现在一般采用 Conce 的参数进行分值计算^[12]。

表 2 晚疫病发生的严重程度与湿润期持续的时间和湿润期间的平均温度的关系

Table 2 The relationship of the disease severity to the consecutive hours and the average temperature in the humid period

湿润期间平均温度 (℃) The average temperature in humid period	湿润期(相对湿度大于 90%)持续的时间 (h) The consecutive hours in humid period (RH≥90%)			
	轻 Mild	中等 Moderate	重 Severe	极重 Very severe
7	16.30	19.30	22.30	25.30
8	16.00	19.00	22.00	25.00
9	15.30	18.30	21.30	24.30
10	15.00	18.00	21.00	24.00
11	14.00	17.30	20.30	23.30
12	13.30	17.00	19.30	22.30
13	13.00	16.00	19.00	21.30
14	11.30	15.00	18.00	21.00
15	10.45	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

1.9 Negative prognosis 模型

由 Ullrich 和 Schrodter^[13]于 1966 年报道，在德国应用。Negative prognosis 模型所需气象数据为逐小时相对湿度、温度和降雨量，采用负预测 (Negative prognosis) 的方法预测何种条件下不适合晚疫病的发生，主要用于指导生长季节的第一次化学防治。在生长季节，根据表 4 进行分值累加，当累加值达到 150，进行预警，田间需要针对晚疫病开始第一次化学防治。不同地区在使用时需根据当地条件对预警值进行调整。

表 3 进入侵染过程后每天侵染曲线得分的计算方法

Table 3 The method to calculate the daily infection capability score after infection

Guntz-Divoux 方法 Guntz-Divoux mehod		Conce 方法 Conce method	
温度范围 (℃) Temperature range	得分 Score	温度范围 (℃) Temperature range	得分 Score
<10	0	< 8	0
10.0~12	0.25	8.1~12	0.75
12.5~14	0.5	12.1~16.5	1
14.5~17	1	16.6~20	1.5
17.5~20	2	>20.1	1
20.5~23	1		

表 4 晚疫病发生危险值(据 Ullrich 和 Schrodter 1966 年改制)

Table 4 Late blight risk values(Adapted from Ullrich and Schrodter, 1966)

系数 (r) Multiplication factor	逐小时平均温度在这些温度范围内的小时数(h), 或其它条件 Number of hours hourly temperature averages are in this range (h), or other conditions to be met	相对湿度和降雨量要求或其它条件 RH or precipitation requirements, or other conditions to be met
0.8990	10.0~11.9	仅计数同时出现至少连续 4 h RH≥90% 或 rain ≥ 0.1 mm·h ⁻¹
0.4118	14.0~15.9	
0.5336	16.0~17.9	
0.8816	18.0~19.9	
1.0498	20.0~21.9	
0.5858	22.0~23.9	仅计数同时出现至少连续 10 h RH≥90% 或 rain ≥ 0.1 mm·h ⁻¹
0.3924	10.0~11.9	
0.0702	14.0~15.9	
0.1278	16.0~17.9	
0.9108	18.0~19.9	
1.4706	20.0~21.9	不考虑 RH 或 rain, 在 r×h 所得数值基础上加 7.5479 在 r×h 所得数值基础上减去 7.8624
0.8550	22.0~23.9	
0.1639	15.0~19.9	
0.0468	RH < 70% 的持续小	

2 基于预测模型的电算预警技术

人工预警方法是依据单一气象条件规则, 通过人工计算而进行晚疫病预警的技术方法, 其缺点是操作人员的劳动强度大, 且时效性较差。随着上世纪个人电子计算机(微机)的普及, 使复杂的数学计算变得容易进行, 并且可以在很短时间内完成, 另一方面, 气象数据采集和传输的自动化使得及时得到最新的数据和计算结果成为可能, 因此促进了马铃薯晚疫病预警技术的发展。世界各地均出现了一些单机版的预警程序(也可称为专家系统: Expert System, ES), 此外, 一些系统模型和模拟模型也开始借助于微机应用于晚疫病的预警。

2.1 微机计算代替人工计算的预警技术

这些预警程序其实质是用微机计算代替人工计算, 是上述人工预警技术的计算机程序, 如 Blightcast 系统是将 Hyre 规则和 Wallin 规则共同纳入计算机程序; 比利时的 CARAH 模型直接纳入计算机程序等。

2.2 应用系统模型或模拟模型的预警系统

这些预警系统除依据上述气象规则外, 还将作物的生长发育时期、抗病性程度和化学药剂的持效时间等因素共同纳入计算机程序, 即所谓系统模拟的方法。先后出现了 Fry 模型(1983, 美国)、NEGFY(1995, 丹麦)、PHYTEB(1995, 德国)、PDM(1983, 美国)、PIANT-PLUS(荷兰)、PROPHY(荷兰)和 PROPLANT(德国)。这些系统的共同特点是均为单机运行, 也就是说向程序中输入一些数据(气象数据、作物生育期、品种抗病性、最近一次化学防治时间及所用药剂)之后, 程序就会自动运算, 最终给出是否需要晚疫病进行化学防治、何时防治以及药剂种类。以下将对几个主要的预警系统作一简介。

2.2.1 Fry 模型

Fry 模型包含两个模拟模型, 一个模型模拟百菌清(此模型专门针对百菌清设计)施用后天气条件对其在作物表面的分布及保留量的影响; 另一个模型模拟作物品种抗病性和天气条件对晚疫病病菌侵染的影响, 两个模型共同决定下一次施用百菌清的时间和剂量^[14]。

2.2.2 NEGFY

NEGFY 包含两个模型, 一个模型为上述

Negative prognosis, 负责指导生长季中第一次化学防治的时间(预警值为 160), 其后的化学防治时间由上述 Fry 模型的第二个模拟模型决定^[15]。

2.2.3 PROPHY

PROPHY 是荷兰开发的一个计算机系统, 其模型根据所输入的气象数据、天气预报、作物品种抗病性、最近一次施用化学药剂的时间种类剂量以及该药剂抗雨水冲刷的能力等判断晚疫病病菌的侵染危险性和作物表面化学药剂的保留量, 并给出是否需要用药以及所需的药剂种类和剂量^[16]。

3 基于田间病害监测和网络技术的预警系统

上述单机版的预警系统适合针对单一田块或单一农场, 每个农场均需要配备气象站、微机(安装上述程序)和系统运行维护人员, 因此, 其推广应用受到了很大限制, 目前只有 PIANT-PLUS(荷兰)和 PROPLANT(德国)被一些农业服务公司出售和推广, 但用户较少。另一方面, 上述模型对于生长季中的第一次化学防治均依赖于预测模型, 而不同的模型气象条件指标各不相同, 因此在一个具体的地区还需要对不同的模型进行试验和校对, 事实上欧洲一些国家进行的模型实用性测试结果表明, 不同年份田间最早出现病害的时间, 往往与模型的预测结果出入较大, 没有一个模型适用于几个不同的地点。因此, 如果完全按照模型的预测进行喷药, 在很多年份可能偏早或偏晚; 再有, 一个农场(或一个田块)的晚疫病最初来源不一定是本农场(或本田块), 很多情况下是从周围农场(或田块), 病害可以跨过边界(农场主的边界、省界甚至国界)传播蔓延, 这是模型预测所解决不了的, 同时也往往是晚疫病在大范围内流行的主要原因。

基于上述问题, 人们越来越重视对田间晚疫病发生情况进行监测的重要性的必要性, 并且随着网络技术的发展和互联网的普及, 使这种田间疫情监测结果可以实时呈现(以网页的形式)或发放(通过电话、传真、Email 或手机短信)给周边马铃薯种植者。因此, 基于田间病害监测和网络技术的马铃薯晚疫病预警系统(有的称作决策支持系统: Decision Support System, DSS)在世界各地特别是欧洲发达国家建立, 并且成为该领域当今发展趋势的主流。

目前服务于实际生产的马铃薯晚疫病预警系统

主要有 Fight Against Blight(英国, www.potato.org.uk/blight, www.blightwatch.co.uk)、PhytoPRE + 2000(瑞士, www.phytopre.ch)、Pl@nteInfo(丹麦, <http://planteinfo.dk/BlightMgmt/BlightMgmt.asp>) Phyto-phthoramodel-Weihenstephan(德国, <http://www.syn-genta-agro.de/de/regio/service/phyto/content/navi/normal/ph0.shtm>)、MILEOS(法国, www.mileos.fr)和 China-blight(中国, www.china-blight.net)。这些系统的结构和功能基本相近, 主要包含“田间晚疫病实时分布”和“近期天气条件是否适合晚疫病菌侵染”两项功能, 此外还包括马铃薯品种抗病性、化学药剂和晚疫病综合防治方法等信息。下面简单介绍一下 Fight Against Blight & Blightwatch、PhytoPRE + 2000、Pl@nteInfo 和 China-blight。

3.1 Fight Against Blight

由英国马铃薯协会(British Potato Council)组建并负责运行, 主要包含两个功能模块, 一个是“Blight Incidents”即“田间晚疫病疫情分布”, 另一个是“Blightwatch”即“近期天气条件是否适合晚疫病菌侵染”。前者是由一个具有 300 多名“观察员”(为科研人员、农业咨询顾问或农场主)组成“晚疫病疫情监测报告人员网络”在生长季对所在地田间晚疫病的发生情况进行观察, 一旦发现晚疫病即向系统报告, 经有关部门或实验室确认后在英国地图上标记疫情发生地点, 并提供该疫情发生点的详细信息(地块位置、发病时间、发病程度和品种等), 以便为该疫情发生点周围马铃薯种植者提供晚疫病预警信息^[17]。这些“观察员”分布于英国所有的马铃薯种植区, 因此可以对生长季晚疫病的田间分布和发生动态做到全面的监测和预警。“Blightwatch”即“近期天气条件是否适合晚疫病菌侵染”, 是根据英国气象部门提供的气象数据(可以精确到全英范围内任何一个邮政编码所对应的区域)判断是否达到前面所述“Smith Periods”, 从而让马铃薯种植者了解本地近期的气象条件是否适合晚疫病菌侵染, 以采取相应的措施^[18]。

3.2 PhytoPRE + 2000

由瑞士联邦农业研究所(Agroscope Reckenholz-Tanikon ART)组建并负责运行, 其“Reports of late blight”即“田间晚疫病疫情分布”的“观察员”组成和运行模式基本与 Fight Against Blight 相同; 其“近期天气条件是否适合晚疫病菌侵染”功能实现同样采用气

象部门提供的气象数据和天气预报, 判断是否达到“病原菌大量产孢和侵染时段(MISP: Mass Infection and Sporulation Period)”, 结果以红黄绿三种颜色表示“达到 MISP”、“接近 MISP”和“未达到 MISP”^[19]。MISP 由 Cao 等^[20]1996 年报道, 其规则为: 在 24 h 之内出现 6 h 以上降雨(降雨量 > 0.1 mm), 并且 RH ≥ 90% 至少连续 6 h, 而且日平均温度 ≥ 10℃。

3.3 Pl@nteInfo

由丹麦奥胡斯大学(Aarhus University, AU)、丹麦农业咨询委员会(the Danish Agricultural Advisory Service, DAAC)和丹麦气象局(the Danish Meteorological Institute, DMI)共同组建并负责运行。其“Potato late blight monitoring”即“田间晚疫病疫情分布”的“观察员”组成及运行模式也基本与 Fight Against Blight 相同。其“近期天气条件是否适合晚疫病菌侵染”功能实现同样采用气象部门提供的气象数据和天气预报, 绘制“Infection pressure(侵染压力)”图, 即在丹麦地图上以红色区域(10 h 以上 RH ≥ 88%, 并且温度 Temp ≥ 10℃)表示“High risk(高度危险)”、黄色区域(10 h 以上 RH ≥ 86%, 并且温度 Temp ≥ 10℃)表示“Possible risk(可能危险)”和绿色区域表示“Low risk(不危险)”^[21]。

3.4 China-blight

由河北农业大学组建并与全国主要马铃薯种植省(自治区或直辖市)科研、推广和生产人员共同维护运行。其“晚疫病发生实况”即“中国马铃薯晚疫病实时分布图”的运行模式基本与 Fight Against Blight、PhytoPRE + 2000 和 Pl@nteInfo 相同; 其“近期天气条件是否适合晚疫病菌侵染”功能实现是根据中央气象台的“未来 24 h 降雨量预报图”和“未来 48 h 降雨量预报图”绘制“未来 48 h 中国马铃薯晚疫病侵染预测图”, 在中国地图上以红色和黄色分别表示“未来 48 h 内天气条件非常适合晚疫病菌侵染即非常危险”和“未来 48 h 内天气条件接近适合晚疫病菌侵染的条件即比较危险”, 其他区域则不危险^[22]。

上述展现在全国地图上的侵染预测图其反映的是宏观地域范围内的天气条件是否适合晚疫病菌侵染, 如想了解某一具体地区范围内的天气条件是否适合晚疫病菌侵染、某一田块是否需要晚疫病进行化学防治, 则需要系统提供更具针对性的预测和建议, 基于此设计了“马铃薯晚疫病化学防治决策支持系统”^[22]。打开该系统后, 用户可根据自己田块的

具体情况,选择相应的信息(生育期、品种抗病性、地块周围晚疫病发生情况、本地近期天气情况和近期针对晚疫病的用药情况等),系统就会根据这些信息给出相应地预测结果和建议,为该田块的马铃薯晚疫病化学防治提供指导。

4 展 望

目前,China-blight 系统的设计与功能实现与上述 Fight Against Bligh、PhytoPRE + 2000 和 Pl @ nteInfo 处于同等水平,但在运行方面存在较大差距,主要表现为“晚疫病疫情监测报告人员网络”的“观察员”数目偏少(英国、瑞士和丹麦等国家面积还不足我们的一个省但均具有几百个观察员),另一方面系统得不到来自全国范围内的气象数据(我国气象部门的观测站数目及覆盖程度远远低于上述国家,并且气象数据目前不对外开放提供)。鉴于我国幅员辽阔和气象服务发展现状,在我国可以基于现有的 China-blight 平台,分区域、分步骤建设和完善“晚疫病预警体系”,即在各马铃薯集中种植区域(省、自治区、直辖市或几个地域相连的行政区域)分别建设“观察员”队伍,通过多年积累最终形成覆盖全国马铃薯产区的“中国马铃薯晚疫病监测预警体系”,为我国马铃薯产业的持续健康发展保驾护航。

[参 考 文 献]

- [1] The Irish Potato Famine and the Birth of Plant Pathology [EB/OL]. <http://www.apsnet.org/online/feature/lateblit/chapter1/top.htm>
- [2] Fry W E, Goodwin S B. Resurgence of the Irish potato famine fungus [J]. BioScience, 1997, 47: 363-371.
- [3] Fry W E, Goodwin S B. Re-emergence of potato and tomato late blight in the United States [J]. Plant Disease, 1997, 81 (12): 1349-1357.
- [4] Judelson H S, Blanco F A. The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer [J]. Nature Reviews Microbiology, 2005(3): 47-58 .
- [5] Haldar K, Kamoun S, Hiller N L, et al. Common infection strategies of pathogenic eukaryotes [J]. Nature Reviews Microbiology, 2006 (4): 922-931.
- [6] Cook H T. Forecasting late blight epiphytotics of potatoes and tomatoes [J]. Journal of Agricultural Research. 1949, 78: 54-56.
- [7] Wallin J R. Forecasting tomato and potato late blight in the north-central region (Abstr) [J]. Phytopathology, 1951, 41: 37.
- [8] Bourke P M. Potato blight and the weather: A fresh approach[R]. Met Eireann: Irish Meteorological Service, 1953.
- [9] Hyre R A. Progress in forecasting late blight of potato and tomato[J]. Plant Disease Reporter, 1954, 38: 245-253.
- [10] Smith L P. Potato blight forecasting by 90% humidity criteria [J]. Plant Pathology, 1956, 5: 83-87.
- [11] Beaumont A. The dependence on the weather of the dates of outbreak of potato blight epidemics [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1947, 31: 45-53.
- [12] 谢开云, 车兴壁, Christian Ducatillon, 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.
- [13] Ullrich J, Schrodter H. Das problem der vorhersage des aufretens der kartoffelkrautfaule (*Phytophthora infestans*) and die moglichkeit seiner losung durch eine negativprognose[J]. Nachrichtenblatt Dt. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig), 1966, 18: 33-40.
- [14] Fry W E, Apple A E, Bruhn J A. Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering [J]. Phytopathology, 1983, 73: 1054-1059.
- [15] Hansen J G, Andersson B, Hermansen A. NEGFY- A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes [M]// Dowley L J. *Phytophthora infestans* 150: European Association for Potato Research (EAPR)—Pathology Section Conference. Dublin: Boole Press Ltd, 1995: 201-208.
- [16] DSS for the control of late blight in potatoes in Europe [EB/OL]. <http://www.euroblight.net/EuroBlight.asp>.
- [17] Fight Against Blight [EB/OL]. http://www.potato.org.uk/departments/knowledge_transfer/fight_against_blight/index.html.
- [18] Blightwatch [EB / OL]. <http://www.blightwatch.co.uk/content/bw-Home.asp>.
- [19] PhytoPRE + 2000 [EB/OL]. <http://www.phytopre.ch>.
- [20] Cao K Q, Ruckstuhl M, Forrer H R. Crucial weather conditions for *Phytophthora infestans*. A reliable tool for improved control of potato late blight [M]// Bouma E, Schepers H T A M. Special PAGV- report 1 (issn:1386-3126): Proceedings of the First Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. Lelystad: Research Station for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 1996: 85-90. British Mycological Society, 1947, 31: 45-53.
- [21] Kartoffelskimmel[EB/OL]. <http://planteinfo.dk/BlightMgmt/BlightMgmt.asp>.
- [22] 中国马铃薯晚疫病监测预警系统[EB/OL]. <http://www.china-blight.net>.