

# 植物病害流行生长模型预测法\*

王振中 林孔勋 范怀忠

(植保系)

## 提 要

本文提出了植物病害预测的生长模型预测法,即利用较早期的病害发展数据,估计病害流行生长模型的有关参数,然后利用这些参数对病害未来的发展水平和发展速率作出预测。利用花生锈病等九个植病系统(包括真菌、细菌和病毒病害)47组流行数据对生长模型预测法进行了917次应用性检验,并用准确度参数 $P(P = [1 - \text{abs}(\hat{X} - X) / X] \times 100)$ 作为预测准确度标志,平均准确度为86%。

关键词:植物病害预测,生长模型预测法。

## 前 言

植物病害预测的目的是希望能较准确地了解某种病害在某个时期可能达到的水平或者发展趋势<sup>[8][10]</sup>。除电算模拟方法外,大多数病害预测方法只能预测流行过程中某一时间的病情或病害发展速率。

电算模拟方法可以在流行期的一定时间区间内对病害进行连续性预测,并且在生产实践中已显示了一定的作用<sup>[2]</sup>。但模拟方法往往需要较大容量的电子计算机和较精确的气象数据,因而它的应用还受到一定的限制<sup>[2]</sup>。

所有现行的病害预测方法多具有病害种类或预测时间区间或流行空间(区域)的特定性,即每一种具体的病害预测方法只能用于一定的病害、或一定病害的一定的流行区域或一定的预测区间,当病原物小种(或菌系等)发生变化、或寄主品种发生改变时,病害预测方法也要随之改变,同时,建立一种病害预测方法往往需要投放较大的人力物力和时间,这便使得及早预测病害的发生发展,制订防治策略带来了一定的困难。

本文的目的,便是探讨一种较简单通用的病害预测方法,能在一定的范围内应用于多种植物病害,同时也能在一定的限度内可以适应较广泛的环境条件。

## 生长模型预测法的导出

Van der plaank<sup>[12]</sup>首先将病害分为单利式和复利式两类,并且用单分子生长模型描述单利式病害的增长,用Logistic方程描述复利式病害的增长。这两种模型已被广泛应用于描述病害发展的时间动态。

Berger<sup>[6]</sup>在分析了复利式病害的九个植病系统113组流行曲线后认为,对于描述复

\*湛江市农作物病虫害测报站提供花生锈病流行数据,谨此谢忱!

1986年10月7日收稿

利式病害的时间动态, Gompertz方程优于Logistic方程。

单分子生长模型的数学式为:

$$X = 1 - \exp [ - (rt + a) ] \dots\dots\dots (1)$$

Gompertz方程的数学式为:

$$X = \exp \{ - \exp [ - (rt + a) ] \} \dots\dots\dots (2)$$

在式(1)(2)中,t为时间,x为病情,r和a是由流行速率和初始菌量决定的常数。

a和r是病害流行时间动态的特征参数,若病害流行时间动态过程确定以后,a和r便被确定,反之,若我们已知某流行过程有某a和r值,也可以知道该流行的时间动态过程。

实际上,在流行过程中,不同时间的病情 $x(t = t_i) = x_i$ 组成时间序列,可以应用时间序列分析方法进行分析和预测。

因此,我们可以利用较早阶段的病害发展数据,估计病害在此流行季节的a和r值,并根据时间趋势外推原理,利用相应的生长模型对病害未来的发展进行预测。

### 生长模型预测法

在流行期间,定期调查病害发展情况,计算病情参数(发病率或严重度等)。病情调查的时间间距随病害的不同而异,对于循环时间较短,流行速度较快的病害如锈病等,可5~7天进行一次调查,而一些流行速度较慢的多年流行病如桃丛生衰退病等,则可以一年调查一次。

在病害流行初期进行4次病害调查以后,可得到与时间 $t_1, t_2, t_3, t_4$ 对应的4个病情数据 $x_1, x_2, x_3, x_4$ 。每对 $t_i, x_i$ 称为一对基本数对。

以此4对基本数对作为依据,依病害发展数学模型组配流行方程,估计a和r值。单利式病害利用单分子生长模型组配流行方程,复利式病害利用Gompertz方程组配方程。

两种生长模型的线性化方法为:

单利式方程变换方法:  $Y = -\ln(1 - X)$

Gompertz方程变换方法:  $Y = -\ln(-\ln X)$

r值和a值的估算方法为: 
$$\begin{cases} r = \frac{\sum(Y - \bar{Y})(t - \bar{t})}{\sum(t - \bar{t})^2} \\ a = \bar{Y} - r \cdot \bar{t} \end{cases}$$

估计a和r值以后,则可回代式(1)或式(2)预测在t时的病害发展情况,计算病情水平,并且可以根据式(3)或式(4)预测病害的发展速率。

单利式病害发展速率:

$$\frac{dx}{dt} = r \cdot \exp [ - (rt + a) ] \dots\dots\dots (8)$$

复利式病害发展速率:

$$\frac{dx}{dt} = r \cdot \exp[-(rt+a)] \cdot \exp\{-\exp[-(rt+a)]\} \dots \quad (4)$$

在植物病害流行期间, 持续进行病情调查, 增加基本数对, 重新估计a和r参数值, 再对病害的发展水平和发展速率进行预测。一般说来, 随着基本数对的增加, 误差将逐渐减小, 预测准确度将越来越高。

### 生长模型预测法的检验

利用花生锈病等九个植物病害系统的47组病害流行数据, 对生长模型预测法进行917次应用性检验, 验证生长模型预测法在植物病害流行预测中的可用性和通用性。

为了统计预测的准确程度, 本文利用下述准确度P作为预测准确度参数。

$$P = [1 - \text{abs}(\hat{x} - x)/x] \times 100$$

式中,  $\hat{x}$  为病情预测值, x为病情实测值, P称为预测准确度 ( $P \leq 100$ ), 若  $P < 0$ , 则令  $P = 0$ 。

应用本法进行应用性检验时, 均将第一次进行病情调查的时间定为1, 其余时间以第一次为标准推算, 这对本法的预测性没有影响。

在本文中, 只对生长模型预测法的病害发展水平预测方面进行验证, 对于病害发展速率的预测, 在本文中未加以检验, 因为病害发展速率的预测方法是病害发展水平预测方法的引伸, 若生长模型预测法在预测病害发展水平方面是可行的, 那么, 它在预测病害发展速率方面也是可行的。

#### (一) 复利式病害

生长模型预测法在复利式病害中的应用性检验, 共用了花生锈病流行数据32组(表1), 玉米枯萎病流行数据3组<sup>[3]</sup>(表2), 马铃薯晚疫病流行数据3组<sup>[9]</sup>(表3)、水稻白叶枯病流行数据2组<sup>[1]</sup>(表4)、番茄叶霉病流行数据1组<sup>[6]</sup>, 花椰菜花叶病流行数据1组<sup>[7]</sup>和桃丛生衰退病流行数据2组<sup>[11]</sup>共44组病害流行数据进行。以各组流行数据的前几对基本数对估计a、r参数值, 然后采用时间趋势外延的方法, 对其后面的各调查点的病情进行预测, 用准确度P检验预测的准确程度。

在花生锈病的应用性检验结果(表5)表明, 花生锈病流行的预测较适合于应用生长模型预测法, 大部分结果的准确度都在80%以上。在马铃薯晚疫病发展水平的预测中, 利用4~6对基本数对, 进行7~25天的病害流行状况的预测, 准确度均在90%以上, 大部分预测值与实测值相差很小(表6)。在表7中, 可以看到, 生长模型预测法在水稻白叶枯病中, 也有很高的准确度。

在番茄叶霉病流行的1, 14, 28, 42, 56和70天的病情分别为: 0.1, 1.2, 4.6, 17.5, 40.0和60%<sup>[6]</sup>, 利用前4对基本数对对第56、70天的病情预测, 准确度分别为80

表1 花生锈病病情发展情况

时间	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61
	0.88	1.22	4.16	9.17	25.49	33.29	42.75	57.87	72.27	88.68	89.25	93.19	95.68
	0.20	0.68	2.95	12.08	24.92	61.62	79.65	96.43	98.96				
病	1.60	9.57	32.12	80.66	87.51	94.99							
	1.10	1.18	12.16	33.58	52.32	81.22	82.68	83.81	88.76	92.29	93.11		
	0.77	5.60	11.22	31.03	48.36	68.71	73.44	82.13	85.40	90.99	96.27	96.47	
	0.54	1.20	4.19	4.17	23.26	52.05	79.08	73.68	83.01	95.19	99.71	99.99	
叶	4.81	7.66	11.23	59.08	73.86	84.36	87.30	91.75	94.75	97.29	99.99	99.99	
	0.09	0.25	2.71	8.90	30.38	56.26	82.59	91.47	93.35	99.69			
	2.14	2.14	7.39	30.58	52.93	64.13	71.58	84.23					
	0.71	2.83	6.07	16.79	35.10	51.21	58.66	70.66	79.24	77.70	95.81		
率	1.44	21.87	60.33	81.68	84.78	88.78	89.21	90.50	94.79	95.31	95.60	96.87	98.20
	0.37	1.13	1.59	6.70	19.34	31.16	61.66	78.56	89.40	95.73	94.45	90.31	
	15.19	37.74	71.88	79.08	84.24	84.26	87.44	94.46	95.08				
(%)	2.70	27.74	55.91	77.54	70.88	93.09	97.24	99.99					
	1.49	5.86	14.49	35.62	50.82	76.28	80.78	90.51	98.55	99.14	99.99		
	0.53	1.80	3.70	6.24	19.22	24.97	31.39	39.97					
	0.22	0.31	1.03	2.41	5.38	6.91	11.86	19.96	26.56	36.00	45.92	66.76	83.31
	0.05	0.15	0.74	3.02	7.23	15.48	20.79	44.79	88.89				
产	0.40	2.40	8.03	20.30	22.55	26.35							
	0.27	0.29	3.04	8.27	13.40	21.60	31.40	42.39	57.89	65.95	68.14		
	0.13	1.40	2.78	7.76	12.13	20.58	31.52	40.88	59.83	67.32	81.67	82.58	
	0.13	0.30	1.05	1.04	6.21	14.12	26.25	34.52	41.06	47.00	80.05	84.37	
重	1.20	1.92	2.93	15.29	19.72	36.78	38.67	49.92	66.03	74.21	78.77	98.50	
	0.02	0.06	0.68	2.22	7.59	14.14	20.26	37.27	49.28	71.06			
	0.53	0.53	1.77	7.64	13.66	23.06	24.74	32.18					
	0.18	0.73	1.54	3.88	9.57	14.14	16.74	26.56	34.11	39.36	51.46		
度	0.44	5.47	15.34	22.74	25.58	34.89	43.26	53.66	58.68	61.53	66.44	78.94	91.02
	0.09	0.93	0.40	1.67	4.84	7.90	16.08	20.46	24.84	29.07	39.21	48.40	
	3.87	9.57	29.53	33.69	36.23	45.06	47.41	52.04	61.65				
(%)	0.25	3.40	7.39	11.72	21.13	43.80	47.65	54.09					
	0.37	1.59	3.45	15.44	18.59	21.22	26.66	32.96	38.99	60.71	72.99		
	0.13	0.45	0.93	1.56	4.80	6.34	8.09	9.24					

表2 玉米枯萎病病情发展情况

时间(天)		1	15	19	28	36	43	51
病	I	1.0	13.3	17.8	25.7	42.1	56.1	74.0
情	II	0.5	8.4	12.4	18.6	36.3	52.4	72.0
(%)	III	0.2	5.4	10.4	16.4	30.9	42.1	70.0

表 3 马铃薯晚疫病病情发展情况

时间(天)	1	11	18	25	35	42	50
病情(%)	0.4	38.0	93.0	97.0	99.9	99.99	99.99
时间(天)	1	8	14	18	24	35	42
病情(%)	0.1	5.0	43.0	75.0	98.0	99.99	99.99
时间(天)	1	8	20	32	39	55	
病情(%)	0.1	5.0	60.0	95.0	99.99	99.99	

表 4 水稻白叶枯病病情发展情况

时间(天)	1	3	6	8	10	14	17	20	22	24
病情 I (%)	12.5	15.8	31.6	47.6	52.4	71.5	81.0	85.7	90.5	95.3
病情 II (%)	12.5	18.6	26.0	27.7	36.9	58.8	75.9	76.1	76.1	76.1

表 5 花生锈病流行生长模型预测法检验结果(准确度)

预测天数	基本数对 项目	项目									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5	平均准确度	73	83	86	92	92	92	94	94	92	
	预测次数	32	32	30	30	24	20	18	12	4	
10	平均准确度	70	82	87	91	91	93	93	90		
	预测次数	32	30	30	24	20	18	12	4		
15	平均准确度	75	83	88	91	92	93	90			
	预测次数	30	30	24	20	18	12	4			
20	平均准确度	76	83	90	92	91	89				
	预测次数	30	24	20	18	12	4				
25	平均准确度	74	86	90	92	88					
	预测次数	24	20	18	12	4					
30	平均准确度	78	88	89	87						
	预测次数	20	18	12	4						
35	平均准确度	79	86	88							
	预测次数	18	12	4							
40	平均准确度	75	89								
	预测次数	12	4								
45	平均准确度	83									
	预测次数	4									

和81%，利用5对基本数对对第70天进行预测，准确度为91%。

花椰菜花叶病在流行的1, 43, 64, 93和124天的病情分别为：8.0, 14.2, 24.0, 36.7和45.8%<sup>(7)</sup>，利用前4对数据作31天的预测，准确度为99%。

在玉米枯萎病的三组流行数据中（表2），利用前面4、5、6对基本数对，进行期为7、8、15、23天，7、15天和8天的预测，准确度分别为96、93、83、96、83和85%。

Smith等人<sup>[11]</sup>在对桃丛生衰退病的流行病学研究中，共获得2组数据，在一个流行区中，流行期为1~5年的数据为：1.5、5.3、11.0、16.7和29.6%，在另一个流行区中，时间为1~11年的流行数据为：0.9、2.8、6.4、12.1、17.0、20.8、29.2、56.8、2.7、77.8和91.5%。在这些数据中应用生长模型预测法，结果（表8）表明，生长模型预测法的预测仍有一定的准确度。本例准确度比其它各例要低的原因可能由于该病为积年流行病，每年的调查时间不大一致，每个时间区间不大一致所导致。

复利式病害流行预测的结果表明，生长模型预测法有较高的准确度，在全部912次应用性检验中，平均准确度为86%。

表6 马铃薯晚疫病生长模型预测法检验结果

重 复	I						I						II		
基本数对	4	4	4	5	5	6	4	4	4	5	5	6	4	4	5
预测天数	10	17	25	7	15	8	6	17	24	11	18	7	7	23	16
准 确 度	100	100	100	100	100	100	91	99	100	100	100	100	98	100	100

表7 水稻白叶枯病生长模型预测法检验结果\*

基本数对	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	9
预测天数	2	6	9	12	14	16	4	7	10	12	14	3	6	8	10	3	5	7	2	4	2
准 确 度	94	88	84	88	92	93	89	85	91	93	94	91	97	99	97	98	96	92	96	93	94

\*表中准确度为二次平均值

表8 桃丛生衰退病生长模型预测法检验结果（准确度）

基本对数 预测年数	基本对数						
	4	5	6	7	8	9	10
1	88°	73	93	68	76	91	87
2	60	79	70	64	82	85	
3	67	78	66	69	77		
4	85	73	71	66			
5	79	78	68				
6	84	74					
7	79						

\*本数字为二次平均值

## (二) 单利式病害

生长模型预测法在单利式病害的应用性检验, 用了3组病害流行数据进行。

Yung<sup>[13]</sup>曾在两种不同类型的病田中对棉花镰刀菌枯萎病进行病情调查, 调查日期为7月5、20日, 8月5、20日和9月5日, 两组病情发展数据分别为: 0.048、0.106、0.135、0.2、0.343和0.0095、0.035、0.054、0.063、0.077。应用前4对基本数对进行时间为16天的预测时, 准确度为80% (二次平均)。

Bald<sup>[4]</sup>对番茄斑萎病的一次调查数据为: 在11月6、14、21、28日, 12月5、12日的相应病情为0.108、0.261、0.481、0.814、0.886和0.931, 应用4对基本数对进行8和14天的预测, 利用5对基本数对进行6天的预测, 其准确度为: 97、98和99%。

在上述九个植物病害系统47组流行曲线的917次应用性检验中, 生长模型预测法的平均准确度为86%。

## 结 论 和 讨 论

生长模型预测法可以适用于多种植物病害流行的预测, 在一定的限度内, 可以不为预测期的长短及流行区域所限制, 并且可以同时连续进行病害发展水平和发展速率的预测。这是以往的病害流行预测方法所没有的特点。

生长模型预测法可以对病害发展水平和速率进行连续性预测。电算模拟方法虽然也可以进行以解间距为步长的连续性预测, 但其预测时间也是有限的, 且还需要许多较精确的气象参数, 从一定的意义上说, 生长模型预测法显得更简单易用。

以往任何一种病害预测方法都是针对一定的病害 (严格地说, 针对于一定的小种/品种的组合)、一定的预测区间和一定的流行区域进行模型建立, 再进行预测。生长模型预测法已打破了这些限制, 它吸取了时间序列分析的一些原理, 基本上没有什么固定的模型, 且在预测过程中不断吸收系统反馈信息进行重新校正, 这便使得它成为一种适应性较强的较简单的病害预测方法。

植物病害流行过程是植病系统中各因子相互作用的过程, 随着时间的推移和环境条件的变化, 流行过程也必然会有相应的变化。生长模型预测法只考虑了基本数对获得阶段植病系统中各因子作用的总效应 (体现在参数 $a$ 、 $r$ 上), 并且假定, 在预测期内植病系统中各因子相互作用的平均状态与基本数对获得期间的平均状态一致。很显然, 这种假定是难于满足的。因此, 预测值的偏差, 除了由于随机过程的影响外, 还包含了生长模型预测法的假定所未能满足的环境条件的变化所产生的误差。但是, 从本文917次应用性检验结果来看, 尽管生长模型预测法的假定条件不能完全满足, 其预测结果还是有较高的准确度, 其预测还是可信的。

当然, 当植物流行过程中各因子的互作效应在前后期有较大的变化时, 例如天气状况的较大变化, 寄主植物敏感性的转变以及病害防治措施的应用等, 生长模型预测法的预测结果可能会产生较大的偏差。因此, 在应用本法于某一病害时, 要用一些资料对本

法进行检验,若检验结果表明准确度较高时,才可以应用生长模型预测法。

同时,在应用生长模型预测法时,应注意不可将预测时间外延过长,同时应不断地进行病情调查,利用流行系统的反馈信息重新估计参数,再行预测,从而保证预测结果有较高的准确度。

生长模型预测法过程简单,结果较为可靠,有较大的适用范围,在植物病害流行预测中,具有一定的应用价值。

#### 引 用 文 献

- [1] 农业部植物保护局,《水稻病虫害预测预报资料表册》,219,农业出版社,1965年。
- [2] 肖悦岩、曾士迈、张万义、王沛有, SIMYR—小麦条锈病流行的简要模拟模型,《植物病理学报》,13(1)1983,1~13。
- [8] Ayers, J. E., Nelson, R. R., Castor, L. L. and Blanco, M. H. 1976. Yield losses in corn caused by *Helminthosporium maydis* race T. *Plant Disease Reporter* 60: 331-335.
- [4] Bald, J. G. 1937. Investigations on "spotted wilt" of tomatoes III: Infection in field plots. *Bull. Council Sci. Ind. Research Australia* 106. 32pp.
- [5] Beaumont, A. 1954. Tomato leaf mold: Spraying trials in Lancashire and Yorkshire, 1949-52. *Plant Pathology* 8: 21-25.
- [6] Berger, R. D. 1981. Comparison of Gompertz and logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology*, 71, 716-719.
- [7] Broadbent, L. 1957. Investigations of virus disease of Brassic crops. 94pp. Cambridge University Press. London and New York.
- [8] Fry, W. E. 1982. Principles of plant disease management. Academic Press, Paris, San Diego, San Francisco, Sao Paulo, Sydney, Tokyo, Toronto. 378pp.
- [9] Large, E. C. 1945. Field trials of copper fungicides for the control of potato blight I: Foliage protection and yield. *Ann. Appl. Biol.* 32, 319-329.
- [10] Shrun, R. D. 1978. Forecasting of epidemics. In *Plant Disease Vol. II* (Horsfall, J. G. and Cowling, E. B. eds. ). pp. 223-228. Academic Press, New York, San Francisco and London. 436pp.
- [11] Smith, P. R., Stubbs, L. L. and Challen, D. I. 1977. Studies on the epidemiology of peach rosette and decline in Victoria. *Aust. J. Agr. Res.* 28: 103-113.
- [12] Van der Plank, J. E. 1963. *Plant Disease, Epidemics and Control*. Academic Press, New York and London. 349pp.
- [13] Young, V. H. 1938. Control of cotton wilt and "rust", or potash hunger, by the use of potash-containing fertilizers. *Arkansas University (Fayetteville) Agricultural Experiment Station Bulletin* 358, 26pp.



GROWTH-MODEL FORECASTING METHOD OF  
PLANT DISEASE EPIDEMICS

Wang Zhenzhong Lin Kunghsun Faan Hwei-chung

(Department of Plant Protection)

ABSTRACT

A growth-model forecasting method is proposed to be a new method of plant disease forecasting, in which the field data obtained during the early period of the disease development are used to fit a mathematical model (growth-model) which is then used to forecast the disease development in the following period; more data obtained in the following period will be used to correct the parameters of the growth-model and further forecasting will be made again. In the present study, epidemiological data of 47 sets of 9 plant diseases caused by fungi, bacteria or viruses were used to validate the growth-model forecasting method and among all the 917 forecasting tests the mean degree of accuracy was 86%.

Key words, Epidemiology, Plant Disease Forecasting, Growth-model Forecasting Method.