

文章编号: 1005-0906(2004)04-0094-05

玉米矮花叶病预测预报研究

王海光, 马占鸿

(中国农业大学植物病理学系, 北京 100094)

摘要: 为了较准确地预测玉米矮花叶病发生流行情况, 对该病进行有效控制, 根据历史资料 and 实际调查数据, 应用生长模型预测法、马尔科夫链预测法和回归模型预测法对该病进行了预测预报研究, 初步建立了玉米矮花叶病流行预测体系。生长模型预测法可对生长到一定阶段后的春玉米进行玉米矮花叶病短中期预测, 对夏玉米出苗后即可进行短中期预测。马尔科夫链预测法可对发生程度作概率预测, 可作为玉米矮花叶病长期发生趋势预测预报的一个参考。应用回归模型预测法可进行中期预测, 预测一个生长季的最终病情。

关键词: 玉米矮花叶病; 预测预报; 生长模型预测法; 回归模型预测法; 马尔科夫链预测法

中图分类号: S435.131

文献标识码: A

Forecast Methods of Maize Dwarf Mosaic

WANG Hai-guang, MA Zhan-hong

(Department of Plant Pathology, Chinese Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Adopting growth model forecasting method, Markov chains forecasting method and regression model forecasting method, research on forecast for maize dwarf mosaic (MDM) was conducted based on historical materials about this disease and our investigation data in order to predict its epidemic and control this disease efficiently. Forecasting system of MDM was built primarily. Growth model forecasting method could be used to make short-term and medium-term forecasting for MDM of spring corn after having grown to certain phase and to make short-term and medium-term forecasting for MDM of summer corn. Markov chains forecasting method could make probability prediction of MDM and could be a reference to long-term developing trend forecasting of this disease. Regression forecasting model could be used to make medium-term forecasting for MDM.

Key words: Maize dwarf mosaic; Forecast; Growth model forecasting method; Regression model forecasting method; Markov chains forecasting method

玉米矮花叶病(Maize dwarf mosaic)的发生具有爆发性、迁移性、间歇性三大特点^[1], 给玉米生产造成了较大的损失。对该病害发生情况进行预测, 以便及早采取措施, 有效预防、治理该病害, 笔者利用历史资料和田间试验调查数据, 对该病进行了预测预报研究, 初步构建了玉米矮花叶病流行预测体系。

1 数据来源

(1)由河北省承德市植保植检站提供的 1996 ~ 1997 年田间不同播期种植的掖 107 的玉米矮花叶

病系统调查数据, 把调查时间转化为距离玉米出苗时期的天数, 整理后, 获得时间(t)与病情指数(x , 以小数表示)相对应的按不同播期划分的 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 共 7 组数据用于生长模型预测(表 1)。P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 组数据分别为 1996 年 4 月 16 日、1996 年 4 月 26 日、1996 年 5 月 6 日、1996 年 5 月 16 日、1997 年 4 月 16 日、1997 年 5 月 6 日、1997 年 5 月 16 日播种的玉米调查数据。

(2)根据全国农业技术推广服务中心提供的数据资料, 获得 1968 ~ 2001 年我国玉米矮花叶病的发生情况(表 2), 利用这些数据进行马尔科夫链预测。

(3)通过对甘肃省甘谷县、北京市海淀区 2002 年的玉米矮花叶病的调查和河北、北京、甘肃等省(市)部分地区玉米矮花叶病历史资料的收集, 获得了玉米矮花叶病病情指数($\%$)(Y)以及 3 月份平均气

收稿日期: 2004-01-03

基金项目: 国家自然科学基金(30070490)和国家“十五”攻关项目(2001BA509B)

作者简介: 王海光, 硕士, 主要从事植物病害流行病学研究。马占鸿为通讯作者。Tel: 13810264434 E-mail: mazh@cau.edu.cn

温 (°C)(X₁)、3 月份降雨量 (mm)(X₂)、4 月份平均气温 (°C)(X₃)、4 月份降雨量(mm)(X₄)、5 月份平均气温(°C)(X₅)、5 月份降雨量(mm)(X₆)、种子带毒率(X₇)、蚜虫发生高峰期的百株蚜量(X₈)、百株有翅蚜量(X₉)及有关品种(自交系)抗病性鉴定的病情指数等流行因素共 10 组数据资料,并以 Mo17 为对照,Mo17 的相对抗病性指数为 0,计算有关品种(自交系)的相对抗病性指数(X₁₀),数据如表 3 所示。

表 1 玉米矮花叶病不同调查时间与病情指数对照

P1	时间(d)	3	11	18	25	32	39	46	51	60	67	74	81	88	95	102
	病情指数	0.0067	0.0067	0.0100	0.0116	0.0183	0.0250	0.0800	0.1580	0.3860	0.4460	0.4520	0.4650	0.4730	0.4780	0.5080
P2	时间(d)	4	11	18	25	32	39	44	53	60	67	74	81	88	95	
	病情指数	0.0044	0.0250	0.0350	0.0450	0.0930	0.3900	0.6250	0.6400	0.6700	0.7160	0.7500	0.7650	0.7720	0.7720	
P3	时间(d)	3	10	17	24	31	36	45	52	59	66	73	80	87		
	病情指数	0.0220	0.0380	0.0720	0.0920	0.4220	0.6570	0.6670	0.7220	0.7350	0.7650	0.7750	0.8120	0.8120		
P4	时间(d)	8	15	22	27	36	43	50	57	64	71	78				
	病情指数	0.1070	0.1420	0.2430	0.6400	0.6850	0.6970	0.7800	0.8100	0.8330	0.8570	0.8570				
P5	时间(d)	8	15	22	29	36	43	50	57	64	71	78				
	病情指数	0.0180	0.0210	0.0230	0.0300	0.0610	0.1180	0.2000	0.2350	0.2650	0.2780	0.3030				
P6	时间(d)	4	11	18	25	32	37	46	53	60	67					
	病情指数	0.0330	0.0400	0.0400	0.0850	0.1780	0.2500	0.3570	0.3970	0.4760	0.4900					
P7	时间(d)	5	12	19	26	31	40	47	54	61						
	病情指数	0.0800	0.1160	0.1280	0.2400	0.3070	0.3950	0.5470	0.5780	0.5820						

表 2 我国玉米矮花叶病发生情况历史资料

发生年份	发生面积(万 hm ²)	发生程度(级)	发生年份	发生面积(万 hm ²)	发生程度(级)
1968	30	2	1985	30	2
1969	16	1	1986	70	3
1970	20	2	1987	40	2
1971	5	1	1988	50	2
1972	10	1	1989	100	3
1973	20	2	1990	80	3
1974	30	2	1991	90	3
1975	130	4	1992	170	4
1976	89	3	1993	160	4
1977	57	2	1994	190	4
1978	50	2	1995	180	4
1979	70	3	1996	250	4
1980	25	2	1997	220	4
1981	10	1	1998	180	4
1982	20	2	1999	200	4
1983	5	1	2000	130	4
1984	10	1	2001	120	3

注:玉米矮花叶病发生程度分级标准:1 级<20 万 hm²,2 级在 20 万~63.5 万 hm²,3 级在 63.5 万~130 万 hm²,4 级≥130 万 hm²。

表 3 玉米矮花叶病流行因素数据资料

编号	品 种	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Y
1	Mo17	7.48	3.8	11.67	3.9	16.58	40.5	0.031 5	1 099.5	208.1	0.000	87.90
2	掖 107	7.24	5.2	14.09	5.1	19.39	42.8	0.010 2	699.3	160.2	0.917	40.10
3	掖 107	7.28	4.6	13.19	4.5	19.32	41.9	0.020 5	997.6	183.4	0.917	73.40
4	8112	6.39	3.5	12.56	4.6	18.24	38.7	0.042 0	1 303.1	210.7	3.708	89.30
5	中单 2 号	8.20	11.3	13.10	42.9	19.70	38.8	0.003 9	657.0	188.0	5.015	23.70
6	Mo17	10.20	2.3	14.40	41.5	22.70	6.1	0.111 1	1 080.0	60.0	0.000	50.69
7	天玉 1 号	10.20	2.3	14.40	41.5	22.70	6.1	0.072 7	925.0	240.0	0.330	43.64
8	330	10.20	2.3	14.40	41.5	22.70	6.1	0.069 8	1 005.0	240.0	1.630	50.58
9	Mo17	8.26	15.5	12.58	14.2	15.54	65.1	0.027 0	926.0	214.0	0.000	100.00
10	奥试 303	8.26	15.5	12.58	14.2	15.54	65.1	0.000 0	245.0	64.0	9.894	4.55

2 研究方法

(1)根据逻辑斯蒂增长模型(Logistic growth model)、冈珀茨模型 (Gompertz model) 和韦布尔模型

(Weibull model),对表 1 中数据进行拟合。对于逻辑斯蒂增长模型和冈珀茨模型,先把病情进行对数变换^[2]后,利用 SAS 软件进行线性回归分析。对于韦布尔模型参照肖悦岩等^[3]的方法进行。对获得的各个模型方程,利用剩余平方和检验方法^[2],进行拟合度检验,选择拟合效果最好的模型,作为描述玉米矮花叶病季节流行的最优模型。拟合的模型方程和检验结果见表 4。冈珀茨模型的差异平方和(Q)、回归误差(S)的值都最小,曲线相关比 $r_{\text{曲}}$ 的值都最大,说明其拟合度最好。因此,选择冈珀茨模型进行玉米矮花叶病的生长模型预测。利用王振中等^[4]的生长模型预测法进行矮花叶病病害增长情况预测,并利用准确度 P 的检验方法,验证生长模型预测法在玉米矮花叶病病害预测中的可用性和准确程度,根据下列公式进行:

$$P=\left(1-\frac{\left|\hat{x}-x\right|}{x}\right) \times 100$$

(1)

其中: $\hat{x}$ 为病情预测值,x 为病情实测值,P 为预测准确度,P 值越大说明预测效果越好。

(2)在玉米矮花叶病年度间发生状态马尔科夫链(表 2)中,系统状态的转移可以用一个转移概率矩阵来表示,m 阶转移概率矩阵为:

$$P(\text{year}, m)=\left(P_{i k}(\text{year}, m)\right)=\left[\begin{array}{cccc} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \cdots & P_{1 k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ P_{r 1} & P_{r 2} & P_{r 3} & \cdots & P_{r k} \\ P_{k 1} & P_{k 2} & P_{k 3} & \cdots & P_{k k} \end{array}\right]$$

其中:k 为转移最多步数,r 为转移步数。

按照下列公式计算预测项所处状态的概率,并以最大概率所在的状态作为预测结果。

$$P_i=\frac{\sum \operatorname{Prk}(\text{year}, m)}{k}$$

(2)

按照下列公式计算预测的准确率,以评价马尔科夫链预测的好坏。准确率越高,预测情况越好,预测结果就越可靠。

$$\text{准确率}=\left(\frac{\sum_{i=1}^n\left|x_i-X_i\right|}{\sum_{i=1}^n\left(a x_i\right)}\right) \times 100 \%$$

(3)

其中,i 为预测次序,n 为预测总次数, x_i 为预测值, X_i 为实际值, ax_i 为各级预测最大误差。最大误差是在实际发生级数与最高或最低级之差中取极大值。

(3)根据表 3 中数据,以 Y 为依变量,以 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 和 X_{10} 为自变量,利用 SAS6.12 进行逐步回归分析,建立回归预测模型。

表 4 玉米矮花叶病季节流行动态模型剩余平方和检验的 Q、S、 $r_{\text{曲}}$ 值

数据及模型类别	模型方程	Q	S	$r_{\text{曲}}$
P1 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+237.5497 \exp (-0.06323 t)]$	0.201 600	0.124 50	0.705 0
P1 的冈珀茨模型	$x=\exp [-6.9310 \exp (-0.02564 t)]$	0.081 230	0.079 05	0.881 1
P1 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.006205(t-1)]^{1.5731}\}$	0.236 100	0.134 80	0.654 5
P2 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+73.8135 \exp (-0.07160 t)]$	0.339 700	0.168 30	0.762 3
P2 的冈珀茨模型	$x=\exp [-5.3030 \exp (-0.03770 t)]$	0.145 200	0.110 00	0.898 4
P2 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.01504(t-1)]^{1.9420}\}$	0.174 000	0.120 40	0.878 2
P3 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+24.3685 \exp (-0.06516 t)]$	0.280 500	0.159 70	0.783 3
P3 的冈珀茨模型	$x=\exp [-3.6426 \exp (-0.03857 t)]$	0.142 900	0.114 00	0.889 6
P3 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.01831(t-1)]^{1.4032}\}$	0.146 300	0.115 30	0.887 0
P4 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+7.2569 \exp (-0.05697 t)]$	0.131 200	0.120 70	0.847 6
P4 的冈珀茨模型	$x=\exp [-2.4255 \exp (-0.04058 t)]$	0.095 330	0.102 90	0.889 3
P4 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.02534(t-1)]^{1.3525}\}$	0.096 880	0.103 80	0.887 5
P5 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+98.8716 \exp (-0.05381 t)]$	0.022 760	0.050 29	0.831 9
P5 的冈珀茨模型	$x=\exp [-5.3291 \exp (-0.02068 t)]$	0.009 119	0.031 82	0.932 7
P5 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.006131(t-1)]^{1.5192}\}$	0.014 750	0.040 48	0.891 1
P6 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+43.0119 \exp (-0.06157 t)]$	0.022 190	0.052 67	0.927 7
P6 的冈珀茨模型	$x=\exp [-4.4255 \exp (-0.02895 t)]$	0.007 303	0.030 21	0.976 2
P6 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.008466(t-1)]^{1.1414}\}$	0.040 710	0.071 34	0.867 4
P7 的逻辑斯蒂增长模型	$x=1/[1+14.5883 \exp (-0.05482 t)]$	0.014 410	0.045 37	0.956 9
P7 的冈珀茨模型	$x=\exp [-3.1667 \exp (-0.03130 t)]$	0.008 856	0.035 57	0.973 5
P7 的韦布尔模型	$x=1-\exp \{-[0.01289(t-1)]^{0.9765}\}$	0.027 870	0.063 10	0.916 6

3 结果与分析

(1)生长模型预测法对 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 这 7 组数据预测的准确度平均值分别为 45.07%、

74.22%、77.85%、88.57%、59.20%、74.28%和 88.91%。随着玉米播期的推迟,各个数对的预测准确度越高,生长模型预测法也更加适于对玉米矮花叶病进行预测。可能是由于玉米早播,遇到外界各因素变化比较

快,尤其是蚜虫数量变化比较大,并且有大量麦蚜迁入,早期玉米矮花叶病增长速度较快,预测值与实测值偏差较大,准确度较低。4 个基本数对(含 4 个和 4 个以上,下同)的预测准确度除 P4、P7 较高外,其余各组数据预测准确度较低。随着基本数对的增加,预测准确度也相应增加。P1 组数据利用 10 个基本数对,P2 组数据利用 7 个基本数对,P3 组数据利用 5 个基本数对,P4 组数据利用 4 个基本数对,P5 组数据利用 7 个基本数对,P6 组数据利用 6 个基本数对,P7 组数据利用 4 个基本数对,玉米矮花叶病预测的准确度分别为 78.69%、84.38%、85.10%、88.57%、83.26%、92.31%和 88.91%。由此可见,生长模型预测法可对生长到一定阶段后的春玉米进行短中期预测,对夏玉米出苗后即可进行短中期预测。

(2)按照马尔科夫链预测法,对 1987~2001 年玉米矮花叶病发生程度进行逐年预测(表 5),预测准确率为 66.7%。由此可见,用马尔科夫链预测法对玉

表 5 1987~2001 年我国玉米矮花叶病实际发生程度与马尔科夫链预测值比较

年份	实际值	预测值	年份	实际值	预测值
1987	2	2	1995	4	2
1988	2	2	1996	4	2
1989	3	2	1997	4	4
1990	3	2	1998	4	4
1991	3	2	1999	4	4
1992	4	2	2000	4	4
1993	4	3	2001	3	4
1994	4	2			

米矮花叶病发生程度进行预测其准确率较低,看似预测效果不是很好,这可能与准确率的计算方法有关。该方法可以作为玉米矮花叶病长期发生趋势预测预报的参考。

(3)表 3 中数据进行逐步回归后,建立以下回归预测模型:

模型 1: $Y=-71.894+0.812X_6+0.112X_8$ ($R^2=0.9178$, $P=0.0002$)

模型 2: $Y=-49.042+0.878X_6+0.091X_8-3.007X_{10}$ ($R^2=0.9642$, $P=0.0001$)

模型 3: $Y=-127.782+6.001X_1+1.203X_6+0.108X_8-2.363X_{10}$ ($R^2=0.9870$, $P=0.0001$)

模型 4: $Y=-135.500+6.237X_1+1.205X_6+0.106X_8+0.044X_9-2.139X_{10}$ ($R^2=0.9933$, $P=0.0002$)

模型 5: $Y=-188.058+11.205X_1-1.846X_2+1.748X_6+0.106X_8+0.056X_9-1.488X_{10}$ ($R^2=1.0000$, $P=0.0001$)

从以上模型可以看出,玉米矮花叶病病情指数与 X_1 、 X_2 、 X_6 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 因素相关,而与 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_7 因素无明显相关。

对回归预测模型进行回测(表 6),准确度的计算根据公式(1)进行,计算所得的模型 1、2、3、4、5 预测准确度平均值分别为 80.17%、81.76%、91.59%、90.54%和 99.56%,预测效果较好。所利用的数据由于变化幅度比较大,利用范围较广,可用于我国北方地区玉米矮花叶病的病情预测。

表 6 逐步回归预测模型预测值和实际值对照

编号	品种	模型	预测值	实际值	准确度	编号	品种	模型	预测值	实际值	准确度
1	Mo17	Model1	84.14	87.9	95.72	6	Mo17	Model1	54.02	50.69	93.43
		Model2	86.57	87.9	98.49			Model2	54.59	50.69	92.30
		Model3	84.57	87.9	96.21			Model3	57.41	50.69	86.75
		Model4	85.66	87.9	97.45			Model4	52.59	50.69	96.26
		Model5	87.74	87.9	99.81			Model5	50.49	50.69	99.61
2	掖 107	Model1	41.18	40.1	97.30	7	天玉 1 号	Model1	36.66	43.64	84.00
		Model2	49.42	40.1	76.77			Model2	39.50	43.64	90.51
		Model3	40.51	40.1	98.97			Model3	39.89	43.64	91.40
		Model4	40.44	40.1	99.14			Model4	43.37	43.64	99.39
		Model5	40.01	40.1	99.79			Model5	43.65	43.64	99.98
3	掖 107	Model1	73.86	73.4	99.37	8	330	Model1	45.62	50.58	90.19
		Model2	75.77	73.4	96.77			Model2	42.87	50.58	84.75
		Model3	71.88	73.4	97.94			Model3	45.45	50.58	89.87
		Model4	72.25	73.4	98.43			Model4	49.07	50.58	97.02
		Model5	72.92	73.4	99.34			Model5	50.19	50.58	99.24
4	8112	Model1	105.48	89.3	81.88	9	Mo17	Model1	84.68	100.00	84.68
		Model2	92.37	89.3	96.56			Model2	92.38	100.00	92.38
		Model3	89.09	89.3	99.77			Model3	100.11	100.00	99.89
		Model4	90.46	89.3	98.71			Model4	102.04	100.00	97.96
		Model5	89.14	89.3	99.82			Model5	99.82	100.00	99.82
5	中单 2 号	Model1	33.20	23.7	59.93	10	奥试 303	Model1	8.41	4.55	15.23
		Model2	29.73	23.7	74.55			Model2	0.66	4.55	14.50
		Model3	27.21	23.7	85.20			Model3	3.18	4.55	69.93
		Model4	29.58	23.7	75.17			Model4	2.09	4.55	45.84
		Model5	23.49	23.7	99.13			Model5	4.51	4.55	99.10

4 讨 论

对于玉米矮花叶病由于系统调查资料不多,又由于该病害涉及因素较多,尤其是传播介体在该病害系统中的重要作用^[5~9],准确预测预报一直是一个难题。本研究尝试实际调查和历史资料相结合,利用生长模型预测法、马尔科夫链预测法和回归模型预测法对该病害流行情况进行分期、分段预测,从而构建了玉米矮花叶病的流行预测体系,利用生长模型预测法可对该病进行短中期预测,利用回归模型预测法可对该病进行中期预测,利用马尔科夫链预测法可对该病进行长期发生趋势的概率预测。

生长模型预测法可不考虑环境条件的影响,利用病害早期的调查数据对病害的发展情况进行预测,由于生长模型预测方法的特点和应用到该病害系统的特殊性,可利用该方法对夏玉米和生长到一定阶段的春玉米进行短中期的预测。但由于生长模型预测法只考虑了基本数对(建模数据)获得阶段病害系统中各因子相互作用的总效应,并假定在预测期内病害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^[4],所以,应在预测过程中不断吸收系统反馈信息进行参数重新估计,以保证预测结果有较高的准确度。马尔科夫链预测法是一种概率预测方法,应用该方法不需要考虑病害发生的环境状态及其它因素的影响,只需要通过病害发生状态转移概率的计算预测病害的长期发生趋势,

可作为病害长期和宏观治理的一个参考。回归模型预测方法,考虑了各流行因素的影响,可通过对有关因素的调查做到病害的中期预测。生长模型预测法可得到玉米生长各个阶段的发病情况。而回归模型预测法可得到生长季的最终病情,其各有作用,但玉米矮花叶病病害系统因素是多变的,对玉米矮花叶病进行最终病情的预测时,最好选用回归模型预测方法。所构建的预测体系,可对玉米矮花叶病进行短、中、长期的预测,方法简单,易于操作,但该体系的可应用性及其准确程度尚需实践检验。

参考文献:

- [1] 马占鸿,李怀方,周广和. 玉米矮花叶病研究进展与存在问题[J]. 植物保护,1999,25(2):33-36.
- [2] 肖悦岩,季伯衡,杨之为,等. 植物病害流行与预测[M]. 北京:中国农业大学出版社,1998.
- [3] 肖悦岩,曾士迈. 小麦条锈病三种显症率预测式的比较[J]. 中国科学(B 辑),1985,(2):151-157.
- [4] 王振中,林孔勋,范怀忠. 植物病害流行生长模型预测法[J]. 华南农业大学学报,1987,8(1):1-9.
- [5] 苗洪芹,汪志和,祁景乔,等. 种子带毒与玉米矮花叶病发生的关系[J]. 植物保护,2000,26(2):50.
- [6] 李济宸,李桂珍,梁中海,等. 玉米矮花叶病发生与蚜虫消长的关系[J]. 北京农业科学,1998,16(3):30-32.
- [7] 陈雨天,郭满库. 玉米矮花叶病在甘肃省局部地区回升的原因及对策[J]. 甘肃农业科技,1994,(2):32-33.
- [8] 王海光,马占鸿. 玉米矮花叶病流行病学研究进展[J]. 玉米科学,2003,11(2):89-92.
- [9] 李新海,韩晓清,等. 玉米矮花叶病研究进展[J]. 玉米科学,2000,8(3):67-72.