

小麦条锈病气象等级预测方法研究

刘伟昌, 陈怀亮, 王君, 余卫东, 张, 刘忠阳 (河南省气象科学研究所, 河南郑州 450003)

摘要 [目的] 建立通过气象因子预测小麦条锈病发生面积的模型。[方法] 在统计河南省条锈病发生轻重年份的基础上, 结合相应年份对应时段的气象资料, 采用灰色关联分析、模糊数学等方法, 按时间顺序建立了冬前、3月上旬、4月上旬和5月中旬4个条锈病促病指数预测模型。根据促病指数计算原理, 采用等差分布方法得出条锈病发生程度预测标准, 并进行了历史资料检验及2006年发生程度预测。[结果] 成功建立了对应于气象条件的小麦条锈病发生模型。检验结果表明, 冬前及3月上旬预测结果相比实际值偏重, 4月上旬及5月中旬预测结果与实际值较为吻合。[结论] 该研究结果将对河南省小麦条锈病的预防起到积极作用。

关键词 条锈病; 灰色关联; 模糊数学; 促病指数

中图分类号 S421 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)27-11830-03

Forecast Model for Occurrence Degree of Wheat Stripe Rust Using Meteorological Data

LIU Wei-chang et al (Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou, Henan 450003)

Abstract [Objective] The aim of this study is to establish the model for forecasting wheat stripe rust occurrence condition using meteorological factors. [Method] Based on the data of wheat stripe rust occurrence degrees of previous years and the meteorological data at corresponding periods, the methods of grey correlation analysis and fuzzy mathematics were employed to establish the forecast model for four pathogenesis indices according to the time sequence before winter, early Mar., early Apr. and middle May. Thus, the criterion for forecasting the occurrence degree of wheat stripe rust was obtained based on the distribution method of arithmetic progression. [Result] The model corresponding to meteorological conditions for forecasting wheat stripe rust was successfully established. According to the verification, the forecasting results before winter and in Early Mar. are more severer than the real occurrence condition, while the forecasting results in Early Apr. and Middle May are basically consistent with real values. [Conclusion] The results of the present study may avail the control of wheat stripe rust in Henan Province.

Key words Wheat stripe rust; Grey correlation; Fuzzy mathematics; Pathogenesis index

小麦条锈病是世界范围的小麦病害, 广泛发生于西欧和北美太平洋沿岸麦区, 在我国主要发生于西北、西南、黄淮海等冬麦区和西北春麦区, 流行年份常造成巨大损失。小麦条锈病在流行年份可使小麦减产20%~30%, 特大流行年份减产可达50%~70%, 严重麦田甚至绝收^[1]。1950、1964和1990年发生的3次条锈病大流行, 分别使我国小麦减产60亿、36亿和25亿kg。小麦条锈病在我国农业大省河南每年都有发生, 多年平均年发生面积为55万hm², 给小麦生产造成了巨大损失。条锈病是由条形柄锈菌(*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici* Eriks)引起的气传性病害, 其流行与否及流行程度取决于小麦品种的抗病性、菌源、菌量和环境条件, 其中气象因素起着主导作用^[2]。因此, 做好小麦条锈病发生发展的气象等级预测工作非常重要。

我国小麦条锈菌的主要越夏基地位于甘肃省的陇南、陇东地区、青海省东部, 四川省西北部以及云南省的高山、高原地区。寄主多为晚熟春小麦、冬小麦和春小麦的自生麦苗。河南省条锈病染病过程为: 冬前主要在豫南部首先遭受上述小麦条锈菌越夏地区传来的夏孢子的侵染, 在适宜的温湿条件下, 就近侵染其他麦田。越冬后, 上述遭侵染的小麦形成病源中心, 产生新的孢子就近或向北传播, 至4~5月份全省出现发病高峰^[3]。

基于条锈病孢子在河南省传播的这些特点及小麦主产区分布特征, 笔者将河南省区域划分为豫南部和豫北部两大区域进行研究。该研究在探讨历年河南省小麦条锈病发生

情况与气候条件关系的基础上, 获得了基于气象条件预测小麦条锈病发病的模型, 并报道了2006年试报的结果。

1 资料来源

小麦条锈病资料来自于河南省植保植检站, 序列为1988至2005年共18年, 主要包括历年河南省的发病面积、防治面积、挽回损失等。该研究主要利用其中的发病面积数据。相应年份气象资料来自于河南省气象局的各站历年逐日气象资料库, 所使用的气象因子包括豫南部4市(南阳、驻马店、漯河、周口)及豫北部4市(濮阳、新乡、郑州、商丘)的逐日平均温度(T)、降水(R)、日照时数(S)、相对湿度(U)和风速(F)。

2 气象因子指标

根据条锈病历史资料, 将其分为重度发病、中度发病和轻度发病3个等级。以发病面积大于70万hm²的年份为重度发病年份、小于7万hm²的年份为轻度发病年份, 其余为中度发病年份。

按相同代表站, 相同时段, 不同病害年份提取气象资料平均值。选择气象数据按发病重、中、轻程度呈递增或递减排列的气象因子, 采用灰色关联分析, 计算重、中、轻年份的平均发病面积与对应气象因子的相对关联度。选择关联度大于0.6的气象因子作为强关联气象因子, 依此确定条锈病强关联气象因子上、下限值, 过程如下:

(1) 建立重、中、轻年份的小麦条锈病平均发病面积矩阵 a , $a = \{123.3, 29.7, 3.5\}$ 。

(2) 按照重、中、轻条锈病灾害年份, 分别统计出对应气象数据矩阵, 用 b 表示, 则

$$L_{重T}, L_{中T}, L_{轻T}$$

$$L_{重R}, L_{中R}, L_{轻R}$$

$$b = L_{重S}, L_{中S}, L_{轻S},$$

$$L_{重U}, L_{中U}, L_{轻U}$$

$$L_{重F}, L_{中F}, L_{轻F}$$

基金项目 中国气象局新技术推广项目(CMATG2005Z02); 河南省气象局2007年科研项目“河南省主要病虫害发生等级预报”项目(z200706)及“中国农业气象灾害监测预警系统”建设项目。

作者简介 刘伟昌(1979-), 男, 河南沈丘人, 在读硕士, 工程师, 从事农业气象预报及技术研究。

收稿日期 2008-06-27

式中, $L_{重T}$ 表示重度发生年第 i 时段内温度平均值; $L_{中T}$ 表示中度发生年第 i 时段内温度平均值; $L_{轻T}$ 表示轻度发生年第 i 时段内温度平均值。同理 $L_{重R}$ 表示重度发生年第 i 时段内的降水平均值, $L_{重S}$ 表示重度发生年第 i 时段内日照时数平均值, $L_{重U}$ 表示重度发生年第 i 时段内相对湿度平均值, $L_{重F}$ 表示重度发生年第 i 时段内风速平均值。

(3) 计算 a 与 b 每行的灰色关联度, 相关性好的气象因子定义为强关联性气象因子。强关联性气象因子及取值范围见表1, 其序号及对应时段见表2、表3。

表1 小麦条锈病强关联气象因子上下限统计值

Table 1 The statistical upper limit values and lower limit values of strong meteorological factors for wheat stripe rust

时段 Period	豫南部 South Henan	豫北部 North Henan
冬前上10 ~ 下11 Early Oct. - late Nov.	0.9 < F < 1.8	
冬前12月 Dec.	3.1 < R < 11, 65 < U < 77	2 < R < 5, 63 < U < 72
1 ~ 2月 Jan. - Feb.	2.5 < T < 3.6, 2.7 < S < 3.7, 1.2 < T < 2.0, 61 < U < 68	
上/3 Early Mar.	9 < R < 1.6, 61 < U < 67	56 < U < 61
中/3 Middle Mar.	64 < U < 76	55 < U < 68
下/3 Late Mar.	8 < R < 16	5 < R < 15
上/4 Early Apr.	63 < U < 68	56 < U < 69, 2.5 < F < 2.9
中/4 Middle Apr.		2.5 < F < 2.8
下/4 Late Apr.	12 < R < 18, 67 < U < 74	63 < U < 69
上/5 Early May	重 T < 18.4	重 T < 18.4, 轻 T > 19.6
中/5 Middle May	轻 T > 20.1	重 F < 2.4, F > 2.6
	5.4 < R < 22.3	10 < R < 29

注: 上/10 为10月上旬; 下/11 为11月下旬; 上/3 为3月上旬; 中/3 为3月中旬; 上/4 为4月上旬; 中/4 为4月中旬; 上/5 为5月上旬; 中/5 为5月中旬。表3 及表4 同。表中 T 为温度()、R 为降水(mm)、S 为日照时数(h)、U 为相对湿度、F 为风速(m/s)。

Nte: T, Temperature(); R, Rainfall(mm); S, Sunshine hours(h); U, Relative humidity; F, Wind speed(m/s).

表2 强关联性气象因子统计表

Table 2 Statistics of meteorological factors of strong correlation

序号 No.	因子 Factors	序号 No.	因子 Factors	序号 No.	因子 Factors
1	F _{1s}	11	R _{4s}	21	F _{8n}
2	R _{2s}	12	U _{4s}	22	R _{9s}
3	U _{2s}	13	U _{4n}	23	U _{6s}
4	R _{2n}	14	U _{5s}	24	U _{9n}
5	U _{2n}	15	U _{5n}	25	T _{10s}
6	T _{3s}	16	R _{6s}	26	T _{10n}
7	S _{3s}	17	R _{6n}	27	F _{10n}
8	U _{3s}	18	U _{7s}	28	R _{11s}
9	T _{3n}	19	U _{7n}	29	R _{11n}
10	U _{3n}	20	F _{7n}		

注: 表中强关联因子的序号对应表3 的时段, s 表示豫南部, n 表示豫北部。例如 F_{1s} 表示豫南部10月中旬到11月下旬的平均风速, R_{6n} 表示豫北部3月下旬的平均降水量。

Nte: No. in the table are consistent with periods in Table 3. s stands for South Henan and n stands for North Henan; For an example, F_{1s} stands for the average wind speed from middle Oct to late Nov in South Henan; R_{6n} stands for the average rainfall in late Mar in North Henan.

3 预测模型的建立

3.1 时段促病指数的确定方法 各时段内适宜条锈病传播

的气象因子不同。由强关联气象因子的确定过程可知, 一般情况下条锈病发病程度与时段内的各强关联气象因子呈正相关关系。这类气象因子的促病指数, 可用模糊数学中的中间值确定方法^[4-5]来计算, 用 $L_{(x_k)}$ 表示。

然而某些时间段内发病程度与相应时段内的强关联气象因子呈负相关关系, 如5月上旬豫北部的温度及豫北部的风速。这可能是由于条锈病夏孢子的萌发及入侵需要一个最适温度。夏孢子入侵的最适温度范围为9~12, 萌发的温度范围在3~20 之间, 而河南省5月份大部分地区的温度高于夏孢子入侵萌发的上限温度。同样, 适宜的风速对夏孢子在一定范围内传播是有利的, 而风速过大会使空气中夏孢子的浓度大大降低, 不利于条锈病的传播。对于与发病程度呈负相关关系的强关联性气象因子, 笔者采用极差标准化方法计算表达气象因子与最适条件的接近程度来表示促病指数, 用 $L_{(y_k)}$ 表示。

表3 强关联因子数字下标对应时间段

Table 3 The corresponding periods with the subscript number of strong correlation factors

序号 No.	对应时段 Corresponding periods	序号 No.	对应时段 Corresponding periods
1	10 ~ 11月 Oct. - Nov.	7	上/4 Early Apr.
2	12月 Dec.	8	中/4 Middle Apr.
3	1 ~ 2月 Jun. - Feb.	9	下/4 Late Apr.
4	上/3 Early Mar.	10	上/5 Early May
5	中/3 Middle Mar.	11	中/5 Middle May
6	下/3 Late Mar.	12	下/5 Late May

正相关时段内强关联气象因子促病指数的计算表达式:

$$L_{(x_k)} = \begin{cases} 0 & X_i > X_{\max} \\ 1 & X_i < X_{\min} \end{cases} \quad (k=1, 2, 3, 4, 5) \quad (1)$$

式中, $L_{(x_1)}, L_{(x_2)}, L_{(x_3)}, L_{(x_4)}, L_{(x_5)}$ 分别表示 T, R, S, U 和 F 与条锈病发生程度呈正相关时的促病指数。

负相关时段内强关联气象因子促病指数的确定:

$$L_{(y_k)} = \begin{cases} 1 - (Y_{(i)} - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}) & X_{\min} < X_i < X_{\max} \\ 1 & Y_i > Y_{\max} \\ 0 & Y_i < Y_{\min} \end{cases} \quad (k=1, 2, 3, 4, 5) \quad (2)$$

式中, $L_{(y_1)}, L_{(y_2)}, L_{(y_3)}, L_{(y_4)}, L_{(y_5)}$ 分别表示 T, R, S, U 和 F 与条锈病发生程度呈负相关时的促病指数。

3.2 预测模型的建立及病害等级标准 将豫南部及豫北部各时段内所有强关联因子促病指数之和的平均值称为条锈病的综合发病指数(表4), 其表达式为:

$$L_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (L_{x_j} + L_{y_j}) / n \quad (3)$$

n 为预测时所参与的强关联因子总数。

由条锈病模型的建立过程可知, 每个预测时间的促病指数 L_{xy} 均为介于0~1之间, 据此依照等差分布方法设定指数 L_{xy} 的等级值(表5)。

3.3 模型的历史资料检验及2006年试报 根据最终实际发病面积划分的等级及各时段的预测指数, 预测等级见表6。

表4 河南省小麦条锈病预测模型

Table 4 The forecast model for wheat stripe rust in Henan Province

时段 Period	预测模型 Forecast model	预测模型气象因子表达式 Meteorological expression of forecast model
冬前 Before winter	$L_{xy(冬前)} = \frac{1}{2} (L_{x_k} + L_{y_k}) / 2$	$L_{xy(冬前)} = (F_{1s} + R_{2s} + U_{2s} + R_{2n} + U_{2n}) / 5$
3月上旬 Early Mar.	$L_{xy(上/3)} = \frac{10}{j=1} (L_{x_k} + L_{y_k}) / 10$	$L_{xy(上/3)} = (L_{xy(冬前)} \times 5 + T_{3s} + S_{3s} + U_{3s} + T_{3n} + U_{3n}) / 10$
4月上旬 Early Apr.	$L_{xy(上/4)} = \frac{17}{j=1} (L_{x_k} + L_{y_k}) / 17$	$L_{xy(上/4)} = L_{xy(上/3)} \times 10 + R_{4s} + U_{4s} + U_{4n} + U_{5s} + U_{5n} + R_{6s} + R_{6n} / 17$
5月中旬 Middle May	$L_{xy(中/5)} = \frac{27}{j=1} (L_{x_k} + L_{y_k}) / 27$	$L_{xy(中/5)} = (L_{xy(上/4)} \times 17 + U_{7s} + U_{7n} + F_{7n} + F_{8n} + R_{8s} + U_{8s} + U_{8n} + T_{10s} + T_{10n} + F_{10n}) / 27$

表5 促病指数等级划分标准

Table 5 Grading criterion of pathogenesis index

类别 Grade	促病指数 Pathogenesis index		
	0.67 ~1	0 ~0.33	0.33 ~0.67
发生等级 Occurrence grade	1	2	3
发生程度 Occurrence degree	轻 Sight	中 Moderate	重 Severe

根据检验结果,冬前及3月上旬预测结果比实际值偏重,4月上旬及5月中旬结果与实际值较为相符。其原因可能是前期预测时间较最终发生结果时间跨度较远,虽然当时气象条件利于病虫害发生,但由于后期天气条件的变化及病虫害防治措施的实施,致使最终发病面积缩小。而后期预测时间与最终结果的统计时间已经比较接近,因此误差较小。2006年,该模型较为准确的预报了该年小麦条锈病发生情况,说明将其用于小麦生产是可行的。

表6 模型的历史资料检验及2006年预报结果

Table 6 Verification of the forecast model by using historical data and its forecasting results in 2006

年份 Year	实际等级 Actual grade	冬前预测 Forecasting before winter		3月上旬预测 Forecasting in Early Mar.		4月上旬预测 Forecasting in Early Apr.		5月中旬预测 Forecasting in Middle May	
		L_{xy}	等级 Grade	L_{xy}	等级 Grade	L_{xy}	等级 Grade	L_{xy}	等级 Grade
		1992	2	1.0	3	0.79	3	0.71	3
1993	2	0.4	2	0.80	3	0.65	2	0.64	2
1994	1	1.0	3	0.59	2	0.57	2	0.61	2
1995	1	0.5	2	0.95	3	0.56	2	0.57	2
1996	1	0.4	2	0.44	2	0.31	1	0.34	1
1997	2	0.9	3	0.57	2	0.74	3	0.78	3
1998	2	0.9	3	0.82	3	0.77	3	0.74	3
1999	2	0.4	2	0.84	3	0.73	3	0.76	3
2000	1	0.9	3	0.50	2	0.40	2	0.37	2
2001	3	1.0	3	0.75	3	0.62	2	0.61	2
2002	3	1.0	3	0.89	3	0.89	3	0.82	3
2003	3	1.0	3	0.79	3	0.88	3	0.91	3
2004	3	1.0	3	0.89	3	0.78	3	0.82	3
2005	2	0.3	1	0.80	3	0.59	2	0.55	2
2006 **	2	0.9	3	0.45	2	0.52	2	0.51	2

注:**表示2006年为预报结果。

Nte: ** denotes the forecast results in 2006.

4 讨论

(1) 该研究中,在强关联气象因子中降水和湿度占大部分比例,说明河南省条锈病的发生强弱主要受这些因子影响。10~11月份的强关联因子仅有豫南部的风速(F),其原因与河南省病源主要来源于四川及陇东和陇南有关^[6-7],较大风速使远方的条锈病夏孢子迅速传播至河南省。

(2) 该方法对强关联性气象因子的确定采用不同发病年份的平均值来代替,例如轻发病年的平均值为下限,重发病年为上限,中发病年为参考值。其上下限仅适合河南省地区条锈病的发生情况,在其他省份应用时,可以参考该方法界定的上下限值。总之,该研究结果将有助于对小麦条锈病的预防。

参考文献

[1] 董金皋,李洪连,王建明,等. 农业植物病理学(北方本)[M]. 北京:中国农业出版社,2000:37.
 [2] 华南农业大学. 植物病理学(小麦条锈病)[M]. 北京:农业出版社,1988:102-111.
 [3] 商鸿生,李修炼,王凤葵,等. 麦类作物病虫害诊断与防治原色图谱[M]. 北京:金盾出版社,2004:125-127.
 [4] 徐学选,高鹏,蒋定生. 延安降水对农作物生长适宜性的模糊分析[J]. 水土保持研究,2000,7(2):73-76.
 [5] 赵峰,千怀遂,焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究[J]. 资源科学,2003,11(6):76-82.
 [6] 曹宏,兰志先. 陇东小麦条锈病发生流行的原因与持续控制对策[J]. 植物保护,2003,29(2):39-41.
 [7] 张旭东,尹东,万信,等. 气象条件对甘肃冬小麦条锈病流行的影响研究[J]. 中国农业气象,2003,24(4):26-28.