

# 利用高空风量预测小麦条锈病

云晓微, 王海光, 马占鸿

中国农业大学植物病理学系, 北京(100094)

E-mail: [hacher822@163.com](mailto:hacher822@163.com)

**摘要:** 小麦条锈病是一种可通过高空气流传播的病害, 给小麦的生产造成了巨大损失。笔者选择甘肃平凉、陕西汉中、河南郑州三地, 根据小麦条锈病病情数据、地面温度、湿度、降水量及等压面300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa高空风数据, 利用主成分分析和判别分析方法, 分析三地间小麦条锈病发生流行的相关性, 探讨了高空风数据在小麦条锈病的发生程度预测中的作用。结果表明三地间小麦条锈病的发生流行具有较高的相关性, 可利用高空风数据预测三地间小麦条锈病长距离传播, 准确率较高, 其中500hPa等压面的风量值在预测中的准确率最高, 回代准确率为100%, 交叉验证准确率均在80%以上, 最高可达93.75%。

**关键词:** 小麦条锈病, 高空风量值, 判别分析

**中图分类号:** S431.3; S435.121.4+2

## 1. 引言

小麦条锈病是由 *Puccinia striiformis f. sp. tritici* 引起的世界范围内小麦的主要病害之一<sup>[1]</sup>。小麦条锈病具有流行频率高、暴发性强、发生范围广等特点, 严重威胁了小麦高产和稳产。流行年份, 可引起小麦减产 20%~30%, 严重可达 50% 以上, 甚至造成绝产。小麦条锈病是典型的气传病害, 传播速度快, 流行侵染范围广。小麦条锈病流行程度与菌源、菌量以及环境条件有密切的关系<sup>[2]</sup>, 而这些又与气象条件关系密切。小麦条锈病是一种可随高空气流进行远距离传播的病害<sup>[1, 3, 4]</sup>, 而目前采用的预测方法中, 选取的气象数据主要是地面数据, 在预测过程中没有考虑高空气象数据的情况下, 小麦条锈病菌传播过程中所受到地形条件及高空气流的影响就被忽略在外。笔者依据前人研究为基础<sup>[5-8]</sup>, 选取甘肃平凉、陕西汉中、河南郑州三地, 应用高空 300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa 等压面风的数据, 利用主成分分析和判别分析方法, 研究三地小麦条锈病流行的相关性, 进而为小麦条锈病预测预报及大区流行规律的研究提供一定的参考。

## 2. 数据来源

### 2.1 气象及病情数据

采用陕西汉中、河南郑州两地1989-2000年和甘肃平凉1991-2000年小麦条锈病发病程度数据, 每年2月1日-5月31日的地面降水量、相对湿度、温度和高空300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa风向风速作为分析数据, 病情数据由农业部全国农业技术推广服务中心提供, 气象数据由国家气象中心提供。每月相对湿度、温度取平均值, 月降水量取总量, 高空风向风速按不同等压面计算出风量值。

### 2.2 风量值的计算方法

利用两地间地理位置经纬度数据, 根据数学中矢量分解原理, 选取与两地连线正方向成 $\pm 90^\circ$ 范围内的风向为有效风量。用有效风向与两地间连线夹角的余弦值乘以风速, 即为风量值。在每天测量的2次数据中选取最大的风量, 每天的最大风量汇总为每月的总风量值。

### 3. 研究方法

应用SAS8.2统计软件，分别对甘肃平凉、陕西汉中、河南郑州三地气象资料进行主成分分析，分平凉-汉中（指前者气象和病害发生程度对后者的影响，下同）、汉中-平凉、郑州-汉中、汉中- 郑州、郑州-平凉、平凉-郑州共6个组合，分别以后者的病情数据为分类变量，以前者的气象资料数据主成分分量和病情数据为数值型变量，利用stepdisc进行因子筛选，再利用discrim进行判别分析，建立判别函数，对判别函数进行回代验证和交叉验证。

气象资料数据分包含风量值和不包含风量值两种情况进行处理。风量资料按等压面分为300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa进行处理。

准确率按照如下公式进行：

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

其中，i 为预测次序，n 为预测总次数，xi 为预测值，Xi 为实际值，axi 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。

### 4. 结果与分析

利用平凉的地面气象数据分别进行不加入风量值,与平凉高空300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa的风量数据结合的6种处理对汉中的小麦条锈病发病程度进行判别预测，结果如表1所示。

表1 小麦条锈病发病程度回代和交叉验证结果(平凉-汉中)

year	hzdis	nw		300hPa		400hPa		500hPa		700hPa		850hPa	
		Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY
1991	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1992	3	3	3	1	3	3	3	4	3	1	3	2	3
1993	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1994	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1
1995	1	1	1	3	1	2	1	2	1	1	1	2	1
1996	3	3	3	1	3	1	3	3	3	3	3	2	1
1997	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1998	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1999	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
2000	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4

注：hzdis,pldis,zzdis分别表示汉中、平凉、郑州小麦条锈病实际发生程度，nw表示不加入风量值计算，Y、jY 分别表示小麦条锈病发生程度回代预测值和交叉验证预测值（下同）。

利用汉中的地面气象数据分别进行不加入风量值,与汉中空高500hPa、700hPa、850hPa的风量数据结合的4种处理（由于测量数据的限制）对平凉的小麦条锈病发病程度进行判别预测，结果如表2所示。

表2 小麦条锈病发病程度回代和交叉验证结果(汉中-平凉)

year	pldis	nw		500hPa		700hPa		850hPa	
		Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY
1991	4	1	1	4	1	4	1	4	2
1992	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1993	3	3	1	3	2	3	2	3	1
1994	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1995	1	1	3	1	1	1	1	1	3
1996	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1997	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1998	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1999	2	2	1	2	3	2	1	2	1
2000	1	1	1	1	1	1	1	1	2

利用郑州的地面气象数据分别进行不加入风量值,与郑州高空300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa的风量数据结合的6种处理对汉中的小麦条锈病发病程度进行判别预测,结果如表3所示。

表3 小麦条锈病发病程度回代和交叉验证结果(郑州-汉中)

year	hzdis	nw		300hPa		400hPa		500hPa		700hPa		850hPa	
		Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY
1989	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1
1990	1	1	1	1	2	1	3	1	4	1	2	1	1
1991	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
1992	3	3	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3	4
1993	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
1994	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1995	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
1996	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1997	2	2	4	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2
1998	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
1999	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4
2000	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3

利用汉中的地面气象数据分别进行不加入风量值,与汉中高空300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa的风量数据结合的6种处理对郑州的小麦条锈病发病程度进行判别预测,结果如表4所示。

表4 小麦条锈病发病程度回代和交叉验证结果(汉中-郑州)

year	zzdis	nw		300hPa		400hPa		500hPa		700hPa		850hPa	
		Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY
1989	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1
1990	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
1991	3	3	1	3	4	3	2	3	4	3	4	3	1
1992	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
1993	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
1994	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
1995	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1

1996	1	1	4	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2
1997	4	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1998	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2
1999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2000	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3

利用郑州的地面气象数据分别进行不加入风量值,与郑州高空300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa的风量数据结合的6种处理对平凉的小麦条锈病发病程度进行判别预测,结果如表5所示。

表5 小麦条锈病发病程度回代和交叉验证结果(郑州-平凉)

year	pdis	nw		300hPa		400hPa		500hPa		700hPa		850hPa	
		Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY
1991	4	4	1	4	2	4	1	4	1	4	2	4	1
1992	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1993	3	3	2	3	1	3	1	3	2	3	1	3	1
1994	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
1995	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1996	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1997	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1998	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1999	2	1	1	2	4	2	3	2	3	2	4	2	3
2000	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1

利用平凉的地面气象数据分别进行不加入风量值,与平凉高空300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa的风量数据结合的6种处理对郑州的小麦条锈病发病程度进行判别预测,结果如表6所示。

表6 小麦条锈病发病程度回代和交叉验证结果(平凉-郑州)

year	zzdis	nw		300hPa		400hPa		500hPa		700hPa		850hPa	
		Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY	Y	jY
1991	3	3	1	3	4	3	4	3	4	3	2	3	4
1992	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1993	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1994	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1995	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
1996	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1997	4	4	1	4	3	4	3	4	3	4	1	4	3
1998	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
1999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

上述各个判别分析的回代错分率和交叉验证错分率及其准确率结果汇总见表7。由表7中数据可以看出,考虑高空风量值的错分率总体上较不考虑风量值的错分率低,其准确率较高,说明高空风量值在小麦条锈病菌长距离传播预测方面起到较大的作用。

表 7 判别分析的回代错分率和交叉验证错分率及其准确率结果汇总表

地点	气压	回代错分率	交叉验证错分率	回代准确率 (%)	交叉验证准确率 (%)
平凉 - 汉中	nw	0.0000	0.6000	100.00	60.00
	300hPa	0.0000	0.5000	100.00	76.00
	400hPa	0.0000	0.4000	100.00	84.00
	500hPa	0.0000	0.1000	100.00	92.00
	700hPa	0.0000	0.4000	100.00	84.00
汉中 - 平凉	850hPa	0.1000	0.6000	92.00	56.00
	nw	0.1000	0.4000	89.29	71.43
	500hPa	0.0000	0.3000	100.00	82.14
	700hPa	0.0000	0.3000	100.00	82.14
郑州 - 汉中	850hPa	0.0000	0.5000	100.00	71.43
	nw	0.0000	0.4167	100.00	76.67
	300hPa	0.0000	0.4167	100.00	83.33
	400hPa	0.0000	0.2500	100.00	83.33
	500hPa	0.0000	0.3333	100.00	80.00
汉中 - 郑州	700hPa	0.0000	0.4167	100.00	83.33
	850hPa	0.0000	0.4167	100.00	83.33
	nw	0.0833	0.5000	90.63	65.63
	300hPa	0.0000	0.4167	100.00	84.38
	400hPa	0.0000	0.4167	100.00	84.38
郑州 - 平凉	500hPa	0.0000	0.1667	100.00	93.75
	700hPa	0.0000	0.4167	100.00	78.13
	850hPa	0.0000	0.4167	100.00	78.13
	nw	0.1000	0.6000	96.43	50.00
	300hPa	0.0000	0.3000	100.00	78.57
平凉 - 郑州	400hPa	0.0000	0.4000	100.00	71.43
	500hPa	0.0000	0.3000	100.00	82.14
	700hPa	0.0000	0.3000	100.00	78.57
	850hPa	0.0000	0.4000	100.00	71.43
	nw	0.1000	0.5000	96.15	65.38
平凉 - 郑州	300hPa	0.0000	0.3000	100.00	88.46
	400hPa	0.0000	0.2000	100.00	92.31
	500hPa	0.0000	0.2000	100.00	92.31
	700hPa	0.0000	0.3000	100.00	80.77
	850hPa	0.0000	0.2000	100.00	92.31

引入高空风量值进行分析的结果表明,平凉-汉中500hPa的回代错分率为0,交叉验证错分率为0.1000,回代准确率为100%,交叉验证准确率为92.00%;汉中-平凉500hPa和700hPa的回代错分率为0,交叉验证错分率为0.3000,回代准确率为100%,交叉验证准确率为82.14%;郑州-汉中400hPa的回代错分率为0,交叉验证错分率为0.2500,回代准确率为100%,交叉验证准确率为83.33%;汉中-郑州500hPa的回代错分率为0,交叉验证错分率为0.1667,回代准确率为100%,交叉验证准确率为93.75%;郑州-平凉500hPa的回代错分率为0,交叉验证错分率为0.3000,回代准确率为100%,交叉验证准确率为82.14%;平凉-郑州400hPa、500hPa和850hPa的回代错分率均为0,交叉验证错分率均为0.2000,回代准确率均为100%,交叉验证准确率均为92.31%。这些等压面上的预测结果分别为所在组合中最好的。

在主成分分析的基础上进行判别分析,对小麦条锈病发生程度预测值与实际发生程度评价,总体上看,预测准确率较高,说明由判别函数得出的预测结果与实际情况进行对比,三地间小麦条锈病的发生有较大相关性,应用一地的气象数据和病情数据预测另一地的发病程度是比较准确可靠的。

## 5. 结论和讨论

(1) 利用高空气象数据和病害数据对相邻或跨省小麦条锈病流行区域的相关性进行了分析,研究表明汉中、郑州和平凉三地间小麦条锈病的发生和流行有较大相关性,说明应用三地中一地的气象数据和病情数据预测另一地的发病程度是比较准确可行的,所建立的预测体系可供小麦条锈病大区流行预测参考。

(2) 对气象数据中的高空风速和风向进行了计算,进一步改进了陈刚提出的风量值<sup>[9]</sup>概念和计算方法。考虑高空风量值的错分率较不考虑风量值的错分率低,回代准确率和交叉验证准确率相对较高,说明高空风量值在该病害长距离传播的预测方面有较大的作用。这与过去小麦条锈病的大区流行受风的影响的研究结果相符<sup>[1, 3, 4]</sup>,也从另一个角度验证了小麦条锈病孢子可通过高空传播。

(3) 由表7可以看出500hPa等压面的风量值在预测中的准确率最高,回代准确率为100%,交叉验证准确率均在80%以上,最高可达93.75%。赵军等也曾利用500hPa月平均高度大气环流建立了性能稳定的小麦条锈病预报方程,经检验历史拟合率达90%,时效提前1-2个月<sup>[10]</sup>。500hPa等压面在高度上一般位于对流层中层,气流状况基本上可表征整个对流层空气运动的趋势。可以利用此等压面风量进行小麦条锈病预测。

(4) 由于小麦条锈病的发生受小种变化、品种抗性和栽培管理等方面的影响,研究中所用判别分析中没有考虑这些因素,可能会对判别结果的准确率产生一定的影响。

## 参考文献

- [1] 李振歧,曾士迈编.中国小麦锈病.北京:中国农业出版社,2002:1-254
- [2] 华南农业大学,河北农业大学主编.植物病理学.北京:农业出版社,1988:102-111
- [3] James K.M.Brown, Mogens S Hovmøller. Aerial Dispersal of Pathogens on the Global and Continental Scales and Its Impact on Plant Disease[J]. Science. 2002, 297: 537-541
- [4] M. G. Eversmeyer, C. L. Kramer.Epidemiology of Whert Leaf AND Stem Rust in the Central Great Plants of the USA[J]. Annu. Rev. Phytopathol, 2000, 38:491-513
- [5]曾士迈.小麦条锈病的大区流行规律和流行区系[J].植物保护,1963,(1):10-13
- [6]万安民.小麦条锈病的发生状况和研究现状[J].世界农业,2000,(5):39-40.
- [7]曾士迈,杨演编.植物病害流行病学[M].北京:农业出版社,1986:87-143.
- [8]马占鸿,石守定,姜玉英,等.基于GIS的中国小麦条锈病菌越冬区气候区划[J].植物病理学报, 2004,34(5):455-462.
- [9]陈刚.小麦条锈病区域流行的相关性分析:[博士学位论文][D].北京:中国农业大学,2005:20-78.
- [10]李耀邦,王伟新,王进.陇东冬小麦产量与500hPa高度及海温的相关分析[J].甘肃农业,1999(9):38.

## Forecasting wheat stripe rust by upper-air wind

Yun XiaoWei, Wang HaiGuang, Ma Zhanhong

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

E-mail: [hacher822@163.com](mailto:hacher822@163.com)

### Abstract

Wheat stripe rust which can diffuse throw upper-air wind is one of pandemic diseases causing severe losses in china. In this article, forecast of wheat stripe rust was conducted based on the occurrence data of this disease and the climate data including temperature、humidity、rainfall and 300hPa、400hPa、500hPa、700hPa、850hPa upper-air wind collected from Pingliang in Gansu province, Hanzhong in Shanxi province and Zhengzhou in Henan province. Using principal component analysis and discriminant analysis to research the relation of the wheat stripe rust epidemic in these three places, and discuss the effect of upper-air wind in the epidemics of wheat stripe rust. The result showed that: there is a very intimate relation in the three areas and the upper-air wind data could be used to forecast the long-distance dispersal of wheat stripe rust .The forecast accuracy which used upper-air wind data were higher than that not be used. Especially in the condition of using 500hPa upper-air wind, the backtrack accuracy is 100%, the cross-validation accuracy is all above 80% , the best is cross-validation accuracy is 93.75%.

**Keywords:** Wheat stripe rust, upper-air wind, Discriminant analysis