# 基于经验法则的小麦白粉病气候年型分析*

姚树然[1,2] 霍治国[3**] 司丽丽[4]

([1]河北省气象科学研究所, 石家庄 050021; [2]河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050021; [3]中国气象科学研究院, 北京 100081; [4]保定市气象局, 河北保定 071000)

**摘 要** 温湿度条件是影响小麦白粉病发生流行的关键气象要素。应用河北省主麦区1987—2010年小麦白粉病资料和相应气象资料,利用合成分析和秩相关分析,筛选出影响小麦白粉病流行的关键气象因子;根据经验法则,利用小麦白粉病流行阶段的温度距平和湿度距平判别白粉病流行程度,并确定了白粉病流行的气候年型与指标。经历史回代,判别小麦白粉病流行程度准确率为84%,并进行了2011年、2012年的外延指标判别,准确率达100%,综合判断准确率在85%以上。该研究结果可为小麦白粉病影响评估与长期预报提供科学依据。

**关键词** 小麦白粉病; 经验法则; 温度距平; 湿度距平; 气候年型

**中图分类号** S43 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)4-0981-06

**Climate year type of wheat powdery mildew epidemics in Hebei Province of North China based on rule of thumb.** YAO Shu-ran[1,2], HUO Zhi-guo[3**], SI Li-li[4] ([1]*Meteorological Institute of Hebei Province*, *Shijiazhuang* 050021, *China*; [2]*Hebei Provincial Key Laboratory for Meteorological and Eco-Environment*, *Shijiazhuang* 050021, *China*; [3]*Chinese Academy of Meteorological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; [4]*Baoding Meteorological Bureau*, *Baoding* 071000, *Hebei*, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(4): 981-986.

**Abstract**: Temperature and humidity are the most important meteorological elements affecting the epidemics of wheat powdery mildew. Based on the wheat powdery mildew epidemics data in the main wheat production areas in Hebei Province in 1987-2010 and the related meteorological data, and by the methods of composite analysis and rank correlation analysis, the key meteorological factors affecting the wheat powdery mildew epidemics were set up. According to the rule of thumb, the epidemic degree of the powdery mildew was distinguished by the anomaly of temperature and the anomaly of humidity climate at different epidemic stages of the powdery mildew, and the year types and controlling factors of the powdery mildew epidemics were determined. From the validation of historical data, the general accordance ratio was 84%. By using the extrapolated controlling factors values of the powdery mildew epidemics in 2011 and 2012, the forecast accuracy was 100%. When integrated with the climate year types, the forecast accuracy was above 85%. Our results could provide scientific references for the assessment and long-term forecast of wheat powdery mildew epidemics.

**Key words**: wheat powdery mildew; rule of thumb; anomaly of temperature; anomaly of humidity; climate year type.

小麦白粉病是中国小麦生产上的重要常发病害,重度流行的年份常造成减产20%以上,给小麦生产构成较大的威胁。研究表明,小麦白粉病发生流行程度与气象条件及气象条件的变化关系密切(霍治国等, 2002; 叶彩玲等, 2005; 王丽等, 2012),且在菌源、品种、耕作栽培方式、防治力度等条件相对稳定的情况下,本地气候条件是决定小麦白粉病流行程度的关键要素(王贵生等, 1998; 王新民和徐关印, 2004; 居为民和高苹, 2006),其中温度与湿度(雨量)尤为重要(刘积芝, 1987; 刘万

*国家公益性(气象)科研专项经费项目(GYHY201006026)和河北省气象局集约基金项目(2011tc06)资助。

**通讯作者 E-mail: huozhigg@cams.cma.gov.cn

收稿日期: 2012-09-05 接受日期: 2013-01-27

才和邵振润, 1994)。小麦白粉病发生发展是一个动态变化的过程,不同气候年型其发生流行规律和特点不同,且流行程度差别较大。早春气温回升快,白粉病侵染早,发病时间早,若后春出现高温天气、且雨日少、空气湿度低,则白粉病就受抑制,否则若湿度条件达到要求则会增大流行的几率,流行程度就重;有的年份气温回升缓慢,白粉病发生晚,若后春出现连续高温天气,白粉病流行时间就会短,但若仍持续低温天气且湿度条件适宜则会后延病程,利于其发生流行(刘万才和邵振润, 1998)。

以往针对小麦白粉病发生流行诸多学者进行了定性、定量气象研究,多侧重于小麦白粉病气象预测模型、气象指标等,主要从不同时间、空间尺度角度利用统计分析方法建立小麦白粉病气象指标或模型。大范围的长期预报研究,如以关键环流特征因子预报全国小麦白粉病发病面积(钱拴等, 2005);区域的单纯气象因子(左占民等, 2003)或气象因子与其他相关因子结合(杨辉等, 2000)的白粉病长期预报;长、中、短结合,以气象因子与其他因子综合的白粉病发生程度预报研究(王贺军等, 1990);基于温度、湿度、降水(李秀芹等, 1996)及其他气象条件(曹克强等, 1994; 邵振润等, 1996; 丁世飞, 1999)的区域中期预报;基于前期病害和温湿度的白粉病病叶率日变化预报(苏祥瑶等, 1988);根据试验(李伯宁等, 2008)或历史分析(姚树然等, 2008)的气象指标研究等。这些针对小麦白粉病气象模型及气象指标的研究成果对推动小麦白粉病气象研究做出了重要贡献。目前,棉铃虫的不同气候年型指标系统研究取得了一定进展(于玲等, 2000)。本文从影响小麦白粉病流行期简单易得的关键气象要素分析入手,利用经验法则,判别分析白粉病不同气候年型的发生流行程度。此判别分析方法及判别指标的建立可为小麦白粉病气象影响评估和长期预报提供研究基础,并对开展农业病虫害气象业务服务有一定应用价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 白粉病资料

选用河北省主麦区1987—2010年小麦白粉病发生程度资料;为了简化分析过程将植保部门划分的5级(1、2、3、4、5级分别代表轻度流行、中偏轻流行、中度流行、中偏重流行、大流行)分类标准归为3个级,即1和2级为轻度流行,3级为中度流行,4和5级为重度流行。

### 1.2 气象资料

选用河北省主麦区16个站点为代表(包括相对重区磁县、馆陶、宁晋、巨鹿、辛集、正定、定州共7站以及相对轻区安新、阜城、香河、丰南、沧县、望都、遵化、肥乡、饶阳共9站)作为研究区域,白粉病资料为全省植保植检站观测资料,气象资料为以上站1987—2010年同期的逐侯平均气温、降水、日照时数、空气相对湿度和月雨日数。

### 1.3 资料时段选择

田间系统调查及大面积病情调查结果表明,河北省小麦白粉病发生流行时期主要在春季,4—6月上旬是河北省小麦拔节、孕穗至乳熟阶段,也是白粉病侵染-潜育-发病-再侵染-发病的阶段,因此,以4—6月上旬为研究时段。

### 1.4 合成分析方法

为了凸显白粉病重度流行年份和轻流行年份的气候特点,采用合成分析法筛选气象关键因子(姚树然和李春强, 2006)。方法如下:对重度流行年份和轻年份的相应气象要素序列进行分别平均,减去所有年份的相应平均值,得到重度流行年份和轻流行年份气象要素距平值,然后比较这2个气象要素序列变化特点,分析影响白粉病流行的关键气象因子。

### 1.5 经验法则(thumb rules)

经验法则首先是印度学者Deb Kumar Das将其应用到了虫害发生预测方面,效果较好。其方法如下:利用病虫害发生关键时段的两个气象因子距平值(该时段气象因子值与气候值之差)分别作为横纵坐标,该二因子之间最好为负相关(如温度与降水),将不同距平值(正、负值)分别放在相应的坐标中,不同的象限位置可代表病虫害的不同发生程度,据此来判断预测病虫害发生程度。

## 2 结果与分析

### 2.1 影响冬小麦白粉病流行的关键气象因子确定

根据前期研究结果,影响小麦白粉病的关键气象因子主要是降水、湿度、气温、日照、雨日(刘积芝, 1987; 曹克强等, 1994)。通过合成分析结果表明:4—6月上旬温度与降水、日照、雨日等在轻度和重度流行年份呈现反相位变化(图1)。自4月开始到6月上旬逐侯的气温、降水、湿度、日照距平的变化呈现出如下的规律:重度流行年份该阶段气温偏低、湿度偏高、降水偏多、日照偏少、雨日偏多;轻度

流行年份气温偏高、湿度偏小、降水偏少、日照偏多、雨日偏少,大部时段呈现比较明显的反相位关系,这些结论与有关学者研究结果一致(刘万才和邵振润, 1998)。

秩相关系数计算结果表明,4—6 月上旬阶段因子与白粉病流行程度的相关系数(表 1)呈现如下特点:湿度、降水、雨日与白粉病流行程度呈正相关,即湿度大、降水多、雨日多,白粉病发生重,反之则轻,且湿度达 0.01 显著水平,降水和雨日达 0.05 显著水平;温度、日照与白粉病流行程度呈负相关,即温度低、日照少,白粉病发生程度重,反之则轻,秩相关系数达 0.1 显著水平。

从以上分析可见,秩相关分析与合成分析得到的结果基本一致。一般年份,河北省麦区自 4 月上中旬日平均气温达 13 ℃上下,这时为小麦白粉病初侵染期,4 月下旬气温达到 15 ~ 18 ℃,温度条件最适宜病菌孢子侵染和扩展(刘万才和邵振润, 1998),4 月下旬—5 月中旬为盛发期,该时段平均气温 18 ~ 20 ℃,6 月下旬日平均气温达 23 ~ 25 ℃,温度偏高,不适宜白粉病流行,流行速度下降,且小麦植株随着营养生长的减弱,叶片枯黄,白粉病菌赖以生存的寄主营养衰退,病情基本稳定,不再扩展。在整个流行期,气温以略偏低比较适宜病菌的发展和蔓延;湿度条件以接近饱和不滴水的状态最适宜病菌孢子萌发和侵染,因此,空气相对湿度越高越有利病害发生蔓延;降水和雨日偏多从根本上与湿度增高同步,二者相关显著,因此,从生物学意义来看,相对湿度可代替雨日与降水;日照对白粉病的作用主要体现在直射光对病菌有抑制作用,由于日照与温度相关显著,温度高、一般日照多。综上,依据因子相关程度与生物学意义,同时考虑经验法则所选因子有限,选取温度和湿度二因子作为指标判别的关键气象因子。

**表 1 白粉病流行期气象因子与白粉病流行程度的关系**

**Table 1 Correlation between meteorological elements and wheat powdery mildew epidemic degrec**

| | 温度 | 湿度 | 降水 | 日照 | 雨日 |
|---|---|---|---|---|---|
| 秩相关系数 | −0.354 | 0.500 | 0.408 | −0.329 | 0.402 |

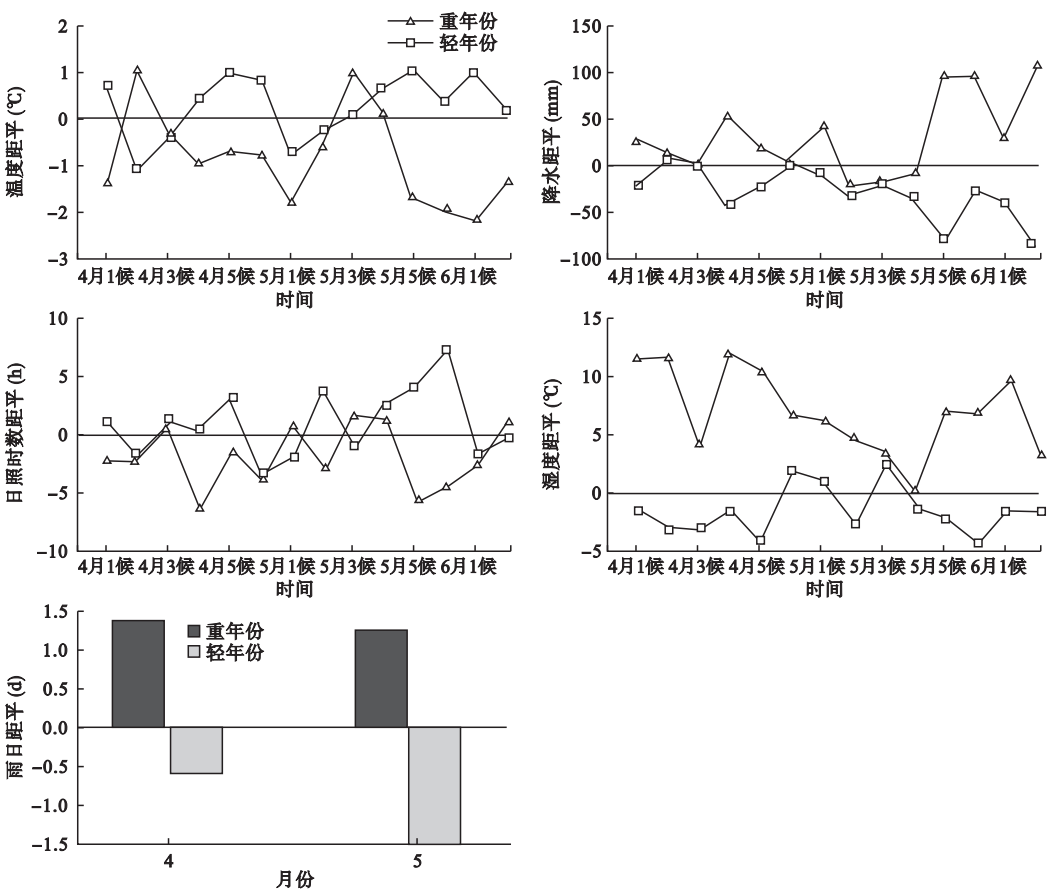



**图 1 4—6 月上旬逐侯气象条件白粉病发生重年份和轻年份对比**

**Fig. 1 Comparison of the meteorological factors during wheat powdery mildew period between the high epidemic grade and low epidemic grade years**

**2.2** 白粉病气候年型与判别指标

根据历史资料(1987—2010年)及2011年、2012年资料,计算4—6月上旬气温距平与湿度距平,并将白粉病流行程度5级分级标准合并为3级(表2)。

根据数据分析,按照经验法则,当A-B+(即气温距平为负、湿度距平为正,下同)时,流行程度为重度;A+B+或A-B-时,流行程度为中度;A+B-时,流行程度为轻度(图2)。

将历史不同年份和近2年的温度与湿度距平按经验法则放入相关象限,判定白粉病流行程度(图3),结果表明:重度流行年份全部符合,轻度流行年份只有1993年和1995年误判为中度流行,级别相差一级;中度流行年份2005年和2009年误判为轻度流行,相差一个级别,历史回查中24年中有4年

**表2 白粉病流行期4—6月上旬气温距平、湿度距平及流行程度**

**Table 2 Comparison between the epidemic grade of wheat powdery mildew and anomalies of air temperature (A) and humidity (B) during the epidemic period from April to first ten days of June**

| 年份 | A(℃) | B(%) | 流行程度 |
|---|---|---|---|
| 1987 | -0.68 | 7 | 重度 |
| 1988 | -0.46 | -5 | 中度 |
| 1989 | 0.40 | -1 | 轻度 |
| 1990 | -1.25 | 7 | 重度 |
| 1991 | -1.22 | 7 | 重度 |
| 1992 | -0.16 | -3 | 中度 |
| 1993 | -0.70 | -3 | 轻度 |
| 1994 | 1.11 | -1 | 轻度 |
| 1995 | -0.66 | -3 | 轻度 |
| 1996 | -0.34 | 2 | 轻度 |
| 1997 | -0.67 | 4 | 重度 |
| 1998 | -0.14 | 13 | 重度 |
| 1999 | 0.19 | 6 | 中度 |
| 2000 | 0.29 | -2 | 轻度 |
| 2001 | 1.18 | -3 | 轻度 |
| 2002 | 0.41 | 1 | 中度 |
| 2003 | 0.38 | 7 | 中度 |
| 2004 | 0.50 | 0 | 中度 |
| 2005 | 0.80 | -4 | 中度 |
| 2006 | -0.22 | 1 | 重度 |
| 2007 | 0.91 | -5 | 轻度 |
| 2008 | 0.41 | 3 | 中度 |
| 2009 | 1.24 | -3 | 中度 |
| 2010 | -1.05 | 2 | 重度 |
| 2011 | 0.26 | -10 | 轻度 |
| 2012 | 1.95 | -7 | 轻度 |

流行程度为河北省植保植检站5级发生程度合并为3级后的流行程度。A为4—6月上旬气温平均值与历年同时段气温平均值之差,B为4—6月上旬空气湿度值与历年同时段湿度平均值之差。下同。

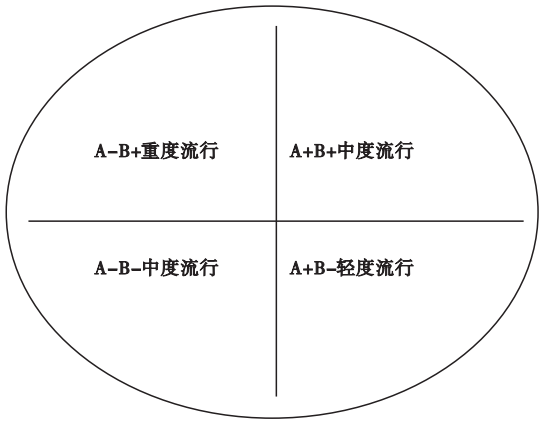



**图2 经验法则判别图示**

**Fig. 2 Rules of thumb to estimate high-medium-low epidemic grades of wheat powdery mildew based on anomalies of air temperature (A) and humidity (B)**

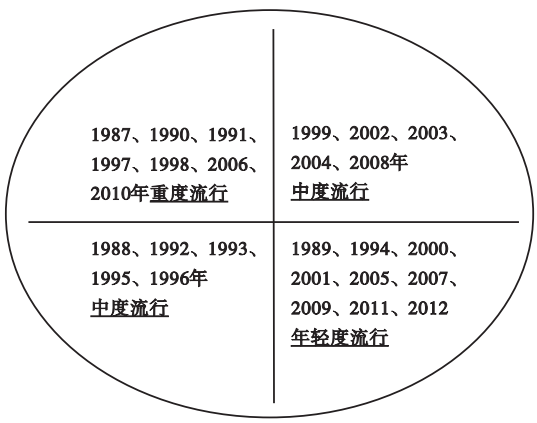



**图3 1987—2012年温、湿度距平判别结果**

**Fig. 3 Judgement results based on historical weather data from 1987 to 2012 of high-medium-low epidemic grades of wheat powdery mildew based on the rules of thumb in Fig. 2**

判断级别相差一级,判别准确率为83%,2011年和2012年判别正确,判别准确率达100%,综合判断准确率达85%。

中度流行年份2009年误判为轻度的原因可能是后期出现2次干热风,但2次均时间短而间隔时间长,使平均温度计算偏高,且出现阶段干旱,使湿度计算偏小,误判为轻度流行年;中度流行年份2005年(高温低湿年)误判为轻度的原因,可能与春季气候反差太大有关,即前期(返青-孕穗)气温高、湿度小、干旱,为轻度流行趋势,但白粉病盛发期(5月上旬)降水日数突增,气温低,使白粉病一度流行;轻度流行年份1995年和1993年误判为中度年份,虽为低温低湿年,但由于干旱,且持续时间长,抑制了白粉病流行。总体看,一般情况下,若不出现极

**表 3 小麦白粉病气候年型与指标**

**Table 3 Climate threshold indexes for high-medium-low epidemic year types of wheat powdery mildew**

| 气候年型 | 白粉病流行程度 | $A$(℃) | $B$(%) |
|---|---|---|---|
| 低温高湿型 | 重度 | ≤0 | >0 |
| 高温高湿型 | 中度 | >0 | >0 |
| 低温低湿型 | 中度 | ≤0 | ≤0 |
| 高温低湿型 | 轻度 | >0 | ≤0 |

端的特殊年份,如前期或后期出现极端气候或跳跃性较大的气候变化,该指标基本判断正确,吻合性高。

根据经验法则,按照温、湿度距平确定了气候年型与白粉病流行程度的关系及指标(表 3)。当 4—6 月上旬气温距平为负值、湿度距平为正值时,气候年型为低温高湿型,白粉病为重度流行年份,反之气候年型为高温低湿型,白粉病为轻度流行年份;当 4—6 月上旬气温距平为正值(负值)、湿度距平为正值(负值)时,气候年型为高温高湿型(低温低湿型),白粉病为中度流行年份,由此将白粉病划分为低温高湿型重度流行年,高温高湿型、低温低湿型中度流行年及高温低湿型轻度流行年 4 种年型,并得到相应温湿度判别指标。

## 3 讨 论

基于温度距平和湿度距平对小麦白粉病盛发期进行气候年型分析,确定了河北省小麦白粉病轻、中、重 3 种流行程度的 4 种气候年型与相应温湿度判别指标,该研究结果与刘万才和邵振润(1994)的定性论述一致,并在其定性研究的基础上实现了气候年型指标的定量化,该方法简单易行,资料易获取,可为小麦白粉病气象评估与长期预报提供理论研究基础,同时对小麦白粉病的气象信息服务有一定应用价值。

本文着眼于白粉病流行期 4—6 月上旬较长尺度进行的年型分析,未考虑小麦白粉病流行过程中的动态变化过程,在小麦白粉病流行期可能出现极端的或波动较大的天气,如:高温、干热风、气温忽高忽低等天气,这种天气可能使白粉病病菌短时间内得到明显抑制,从而减轻小麦白粉病流行程度,但从较长时间段因没考虑这种极端天气,忽略了其对白粉病发生发展的影响。因此,对于有极端天气或波动性较大天气出现的年份利用该年型与指标判断白粉病的发生流行程度可能有一定偏差。

本文选用的是河北省范围内相关资料,得到的小麦白粉病气候年型研究结果具有一定的地域性,首先适用于河北省麦区,其次,适用于气候对小麦白粉病影响及年型较相似的黄淮海及以北等地冬麦区(王海燕和张忠山, 1993; 刘万才和邵振润, 1998),但尚需进一步检验与验证;长江流域麦区,如上海、四川,其气候对小麦白粉病的影响及年型与本研究区域相差较大(陆锡康和龚才根, 1989; 张志德和李振岐, 1991),因此,本研究结果不适用于长江流域麦区。

由于小麦白粉病发生流行是一个复杂的动态变化过程,除了与气候条件关系密切外,还与种植制度、耕作方式、品种抗性、防治力度等人为因素有关,白粉病流行程度在一定程度上反映了这些因素的影响,但本文未考虑其对白粉病的影响;同时除了长期的评估和预报外,短临的精细气象预警对于白粉病的有效防治十分重要,长尺度的气候预测评估和短尺度气象预警相结合将是小麦白粉病气象研究的一个重要方向,因此,多影响因素综合集成与长、中、短期相结合的预报预警有待在今后加强研究。

**参考文献**


曹克强, 王革新, 李双悦, 等. 1994. 小麦白粉病中期预报模型的建立. 河北农业大学学报, **17**(1): 57-61.

丁世飞. 1999. 应用判别分析模型预测小麦白粉病流行趋势. 数理统计与管理, **18**(4): 9-13.

霍治国, 陈 林, 刘万才, 等. 2002. 中国小麦白粉病发生地域分布的气候分区. 生态学报, **22**(11): 1873-1888.

霍治国, 叶彩玲, 钱 拴, 等. 2002. 气候异常与中国小麦白粉病灾害流行关系的研究. 自然灾害学报, **11**(2): 85-90.

居为民, 高 苹. 2000. 气象条件对小麦白粉病发生影响的研究. 气象, **26**(2): 50-53.

李伯宁, 周益林, 段霞瑜. 2008. 小麦白粉病与温度的定量关系研究. 植物保护, **34**(3): 22-25.

李秀芹, 姜京宇, 刘翠平. 1996. 河北省小麦白粉病发生程度的中期预测. 植物保护, **22**(3): 10-12.

刘积芝. 1987. 小麦白粉病的发生流行与预测. 山东农业大学学报, **18**(3): 75-80.

刘万才, 邵振润. 1994. 小麦白粉病流行规律及近年发生概况和分析. 植保技术与推广, **14**(6): 17-19.

刘万才, 邵振润. 1998. 我国小麦白粉病大区流行的气候因素分析. 植保技术与推广, **18**(1): 3-5.

陆锡康, 龚才根. 1989. 小麦白粉病流行规律及其预测预报的研究. 病虫测报, (1): 27-29.

钱 拴, 霍治国, 叶彩玲. 2005. 我国小麦白粉病发生流行的长期气象预测研究. 自然灾害学报, **14**(4): 56-63.
邵振润, 刘万才, 姜瑞中, 等. 1996. 豫北麦区小麦白粉病中期测报技术研究. 植物保护, **11**(6): 11-14.
苏祥瑶, 刘文敏, 李松岗, 等. 1988. 小麦白粉病流行的IRM建模研究. 植物病理学报, **18**(4): 213-218.
王 丽, 霍治国, 张 蕾, 等. 2012. 气候变化对中国农作物病害发生的影响. 生态学杂志, **31**(7): 1673-1684.
王贵生, 唐铁朝, 勾建军, 等. 1998. 1997年河北省小麦白粉病重发原因分析及治理对策. 植保技术与推广, **18**(1): 11-12.
王海燕, 张忠山. 1993. 河南省小麦白粉病流行原因和减灾对策. 自然灾害学报, **2**(3): 62-66.
王贺军, 张书敏, 张彦坤, 等. 1990. 小麦白粉病流行动态预测预报技术. 病虫测报, (2): 6-9.
王新民, 徐关印. 2004. 我省小麦白粉病逐年加重的原因分析及防治对策. 邯郸农业高等专科学校学报, **21**(1): 3-6.
杨 辉, 韩太国, 戴林森, 等. 2000. 洛阳市小麦白粉病测报技术研究. 洛阳农业高等专科学校学报, **20**(2): 16-17.
姚树然, 李春强, 霍治国. 2008. 河北小麦白粉病流行的气象指标研究. 自然灾害学报, **17**(4): 38-43.
姚树然, 李春强. 2006. 河北省夏蝗大发生的气象预报. 中国农业气象, **27**(2): 156-159.
叶彩玲, 霍治国, 丁胜利, 等. 2005. 农作物病虫害气象环境成因研究进展. 自然灾害学报, **14**(1): 90-97.
于 玲, 杨彬云, 相 云, 等. 2000. 不同气候年型棉铃虫气象指标系统的研究. 中国农业气象, **21**(3): 27-32.
张志德, 李振岐. 1991. 天水地区小麦白粉病发生发展规律. 西北农业大学学报, **19**(增刊): 81-85.
左占民, 卢民生, 李亮琴, 等. 2003. 豫西地区小麦白粉病发生程度Fuzzy预测模型研究. 麦类作物学报, **23**(2): 80-82.

**作者简介** 姚树然,女,1964年11月生,正高级工程师,主要从事农业气象灾害和病虫害气象研究。E-mail: yaosr0503@sina.com

**责任编辑** 李凤芹