

## 安徽省中南部小麦赤霉病气象等级预报方法研究

岳伟<sup>1</sup> 陈曦<sup>1</sup> 邱坤<sup>2</sup> 王蓓蓓<sup>2</sup> 邓斌<sup>3</sup> 姚卫平<sup>4</sup>

(1. 安徽省农业气象中心, 合肥 230031;

2. 安徽省植物保护总站, 合肥 231400;

3. 宣城市宣州区植保植检站, 安徽 宣城 242000;

4. 池州市农技推广中心植保站, 安徽 池州 247000)

**摘要** 针对安徽省农业气象业务服务中小麦赤霉病气象等级预报模型精度不高问题, 基于安徽省中南部滁州、庐江、池州和宣城4个代表站历年小麦赤霉病病穗率、发育期及对应气象资料, 采用线性相关、回归分析等方法, 建立基于雨日和雨量的综合降水指数气象等级预报模型, 并对模型进行拟合检验和预测检验。结果表明滁州地区小麦赤霉病发生关键期为始穗前5 d至始穗后25 d、庐江为始穗前8 d至始穗后20 d、池州为始穗前7 d至始穗后24 d、宣城为始穗前4 d至始穗后24 d。对建立的区域小麦赤霉病气象等级预报模型进行拟合检验和预测检验发现: 滁州地区预测模型的拟合准确率和预测准确率分别为86.8%和92.0%, 庐江分别为87.6%和70.0%, 池州分别为85.6%和88.0%, 宣城分别为88.3%和84.0%。因此, 本研究建立的区域小麦赤霉病气象等级预报模型可用于安徽省中南部农业气象业务服务。

**关键词** 小麦赤霉病; 气象等级; 预报; 降水; 安徽

中图分类号 S431.3

文章编号 1007-4333(2021)09-0052-11

文献标志码 A

## Research on the method of meteorological grade forecast of wheat scab in south central of Anhui Province

YUE Wei<sup>1</sup>, CHEN Xi<sup>1</sup>, QIU Kun<sup>2</sup>, WANG Beibei<sup>2</sup>, DENG Bin<sup>3</sup>, YAO Weiping<sup>4</sup>

(1. Anhui Agricultural Meteorological Center, Hefei 230031, China;

2. Anhui Plant Protection Station, Hefei 231400, China;

3. Xuancheng Plant Protection and Quarantine Bureau, Xuancheng 242000, China;

4. Plant Protection Station Chizhou City Agro-Technical Extension and Service Center, Chizhou 247000, China)

**Abstract** Aiming to solve the problem that the wheat scab meteorological grade forecast model in the agrometeorological service of Anhui Province was not accurate enough, this study established a meteorological grade forecast model with comprehensive precipitation index which was based on the number of rainy days and precipitation, through the methods of linear correlation and regression analysis, using the historical data including percentage of diseased panicles of wheat scab, phenology data and meteorological data during corresponding period on Chuzhou, Lujiang, Chizhou and Xuancheng in south central of Anhui Province. And the model was tested by fitting and prediction. The results showed that the key period of wheat scab was from the 5th day before the initial heading stage to the 25th day after that for Chuzhou, and for Lujiang was from the 8th day before that to the 20th day after that, and for Chizhou was from the 7th day before that to the 24th day after that, and the last for Xuancheng was from the 4th day before that to the 24th day after that. Fitting test and prediction test were carried out for the established regional meteorological grade forecast model of wheat scab. The results indicated that the fitting accuracy of Chuzhou, Lujiang, Chizhou and Xuancheng were

收稿日期: 2021-02-12

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFD0300905);安徽省气象局研究型业务科技攻关项目(YTG202103)

第一作者: 岳伟, 高级工程师, 主要从事农业气象研究, E-mail: yuewei925@163.com

86.8%, 87.6%, 85.6% and 88.3% respectively, while the prediction accuracy of them were 92.0%, 70.0%, 88.0% and 84.0% respectively. Therefore the regional forecast model established for wheat scab meteorological grade could be used for the agrometeorological service in south and south central Anhui Province.

**Keywords** wheat scab; meteorological grade; forecast; precipitation; Anhui Province

赤霉病是我国小麦生产中的主要病害之一,主要发生在长江中下游、江淮、黄淮和华北南部等麦区<sup>[1]</sup>。赤霉病不仅会影响小麦产量,而且还会降低小麦品质,减少蛋白质和面筋含量,出粉率降低,加工性能受到明显影响<sup>[2]</sup>;同时由于感病麦粒内含有致呕毒素和类雌性毒素,食用易导致人畜中毒<sup>[3]</sup>。受全球气候变暖、农业耕作方式改变、小麦种植区域南移等因素影响,小麦生产面临赤霉病危害的风险不断增加<sup>[4]</sup>。安徽省小麦常年种植面积 260 万  $\text{hm}^2$  以上,是全国小麦主要产区,近年来赤霉病发生面积 200 万  $\text{hm}^2$  左右,给小麦安全生产造成严重威胁。因此开展小麦赤霉病气象等级预报模型研究,提升赤霉病预测预报水平,对做好赤霉病绿色防控,提高小麦产量和品质,保障安徽省粮食安全生产都具有重要意义。

小麦赤霉病是一种典型的“气象型”病害,年际间发生流行程度主要取决于气象条件的变化,特别是在小麦开花期前后一段时间内的气象条件<sup>[5]</sup>。研究表明,赤霉病发生与温度、湿度、降水、日照等气象因子有关<sup>[6-8]</sup>。利用气象条件开展小麦赤霉病预测预报是研究的重点内容之一,徐敏等<sup>[3,9-12]</sup>利用降水量、降水日数、相对湿度、平均气温等气象要素,采用回归分析、判别分析、神经网络、机器学习等方法,分别建立了江苏、陕西、上海、河南等地的小麦赤霉病气象等级预报模型,并取得了较好的预测效果。在预报因子的选择方面,除降水、温度、湿度等常规的地面观测要素外,大气环流、海温等因子也被应用于赤霉病气象等级预报模型中<sup>[10,13-14]</sup>。在利用降水因素开展小麦赤霉病预测模型的研究中,雨日、雨量、相对湿度等要素较为常用<sup>[15-16]</sup>,但考虑日降水强度对赤霉病影响的研究鲜有报道;此外,在小麦赤霉病发生关键期选择方面,多以固定旬作为赤霉病发生关键期<sup>[2,5,16]</sup>,而未考虑小麦发育期年际间的差别,建立的模型难以满足农业气象业务服务需求。

因此,本研究拟利用安徽省中南部 4 个代表站的小麦赤霉病病穗率资料、发育期资料及对应气象资料,以小麦始穗期为基准,综合考虑始穗期前后固

定时段内降水日数和降水等级对赤霉病的影响,采用相关分析、回归分析等方法,构建小麦赤霉病气象等级预报模型,以期为安徽省小麦赤霉病气象等级预报业务服务提供技术支撑,也为做好小麦赤霉病精准预测和绿色防控工作提供科学参考依据。

## 1 研究资料与方法

### 1.1 数据资料

以安徽中南部为研究区域,江淮地区选择滁州市和庐江县为代表站,沿江和江南地区分别选择池州市和宣城市为代表站。以病穗率作为小麦赤霉病发生程度指标。各代表站小麦赤霉病病穗率资料和小麦发育期资料分别来自当地植保站,对应年份气象资料来源于安徽省气象信息中心,主要包括逐日降水量。各代表站赤霉病病穗率资料样本分别为滁州市 1985—2020 年、庐江县 1987—2020 年、池州市 1991—2020 年、宣城市 1986—2020 年。各代表站 2016 年以前的资料作为历史样本用于模型建立,2016—2020 年的资料作为独立样本用于模型预测检验。

### 1.2 小麦赤霉病气象等级划分

根据安徽省地方标准《小麦赤霉病测报调查规范》<sup>[17]</sup>,结合安徽省小麦赤霉病发生特点,将赤霉病发生气象等级划分为 5 个等级,即:病穗率 $\leq 3\%$ 为 1 级,表示气象条件不适宜,对应赤霉病轻发生;  $3\% < \text{病穗率} \leq 10\%$  为 2 级,表示气象条件基本适宜,对应偏轻发生;  $10\% < \text{病穗率} \leq 20\%$  为 3 级,表示气象条件较适宜,对应中等发生;  $20\% < \text{病穗率} \leq 30\%$  为 4 级,表示气象条件适宜,对应偏重发生;病穗率 $> 30\%$  为 5 级,表示气象条件非常适宜,对应大发生。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 研究思路

根据小麦赤霉病发生流行与气象条件的关系,以小麦始穗期前后一段时间作为赤霉病发生关键期,以关键期降水日数作为影响赤霉病的主要气象因子,通过相关分析确定赤霉病发病关键期具体时段,同时考虑降水等级对赤霉病的影响,

通过引入雨量系数形成综合降水指数。利用回归分析,建立基于综合降水指数的小麦赤霉病气象等级预报模型。

### 1.3.2 雨量系数计算方法

由于不同降水量在小麦赤霉病发病过程中所起的作用不同,参照天气预报中24小时降水量级标准,将赤霉病发生关键期日降水量分为 $0.1\text{ mm} \leq R < 10\text{ mm}$ (小雨)、 $10\text{ mm} \leq R < 25\text{ mm}$ (中雨)、 $25\text{ mm} \leq R < 50\text{ mm}$ (大雨)、 $50\text{ mm} \leq R < 100\text{ mm}$ (暴雨)、 $100\text{ mm} \leq R < 250\text{ mm}$ (大暴雨)、 $R \geq 250\text{ mm}$ (特大暴雨)6个等级,并对不同等级的降水赋予不同系数,计算方法如下:

$$f_{(R)} = \begin{cases} r_1 & 0.1 \leq R < 10 \\ r_2 & 10 \leq R < 25 \\ r_3 & 25 \leq R < 50 \\ r_4 & 50 \leq R < 100 \\ r_5 & 100 \leq R < 250 \\ r_6 & R \geq 250 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $R$ 为小麦赤霉病发生关键期日降水量; $r_1$ 、 $r_2$ 、 $\dots$ 、 $r_6$ 分别为不同降水等级对应的雨量系数。

### 1.3.3 综合降水指数

综合降水指数是反映降水日数和降水强度对赤霉病的综合影响程度,为赤霉病发生关键期逐日雨量系数累计值,计算方法如下:

$$R_c = \sum_{i=1}^n f_{(R_i)} \quad (2)$$

式中: $R_c$ 为影响小麦赤霉病发生的综合降水指数; $i$ 为赤霉病发生关键生育期降水日数, $i=1,2,\dots,n$ ; $f_{(R_i)}$ 为关键期日雨量系数。综合降水指数越大,即降水条件越适宜赤霉病的发生流行,反之,则不适宜赤霉病的发生流行。

## 1.4 模型检验方法

小麦赤霉病气象等级预报模型的回代检验和预测检验,参照王志伟等<sup>[18]</sup>提出的计算方法,即模型模拟等级与实际等级相差0~0.5级为完全符合,准确率计为100%;相差0.5~1.0级为比较符合,计为80%;相差1.0~1.5级为基本符合,计为70%;相差1.5级以上为不符合,计为0。历史符合率为各年符合程度评分值的平均值。

## 1.5 数据处理

本研究采用SPSS 19.0统计软件对数据进行相关分析、回归分析,利用Visual Basic语言对雨量系数进行循环处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦赤霉病发生关键期

通常小麦抽穗至灌浆期是赤霉病菌侵染流行的关键时期,该时段的降水条件对赤霉病的发生影响较大<sup>[10,19-21]</sup>。统计不同区域代表站小麦抽穗至灌浆期降水日数、降水量、平均相对湿度与赤霉病发生气象等级的相关性,其中降水日数与病穗率发生气象等级相关系数最大。由于降水对田间土壤湿度的影响有一定的延续性,所以为确定各代表站小麦赤霉病发生关键期,设定在小麦始穗前15 d和始穗后30 d的时段内,计算始穗前后不同时段降水日数,再与赤霉病病穗率发生气象等级进行相关分析,筛选出相关系数最大值对应的时段即为赤霉病发生关键期。计算结果表明,滁州赤霉病发生关键期为小麦始穗前5 d—始穗后27 d,庐江为小麦始穗前8 d—始穗后20 d,池州为小麦始穗前7 d—始穗后24 d,宣城为小麦始穗前4 d—始穗后24 d(表1)。

表1 不同区域代表站小麦赤霉病发生关键生育期

Table 1 Key growth stage of wheat scab at representative stations in different areas

区域 Area	代表站 Representative station	关键生育期 Key growth stage
江淮 Jianghuai	滁州	始穗前5 d—始穗后27 d
江淮 Jianghuai	庐江	始穗前8 d—始穗后20 d
沿江 Yanjiang	池州	始穗前7 d—始穗后24 d
皖南 Wannan	宣城	始穗前4 d—始穗后24 d

## 2.2 小麦赤霉病气象等级预报模型

### 2.2.1 雨量系数

对各代表站历年小麦赤霉病发生关键期不同降水等级分布进行统计分析,滁州、庐江、池州和宣城地区小麦赤霉病发生关键期降水均以小雨和中雨为主,其中小雨日数分别为 266、262、273 和 281 d,中雨日数分别为 70、82、89 和 99 d,大雨及以上等级日数分别为 35、33、58 和 44 d(图 1)。考虑不同降水等级样本数量,本研究将不同区域代表站小麦赤霉病发生关键期日降水量划分为 3 个等级,分别为小雨、中雨、大雨及以上。

将不同降水等级在小麦赤霉病发生流行过程中所起的作用定义为雨量系数  $f_{(R)}$ 。利用 Visual Basic 语言作为计算工具,将小雨、中雨和大雨及以上雨量系数设定在一定范围内,以 0.1 作为步长进行循环,计算出小麦赤霉病发生关键期不同雨量系数对应的综合降水指数,再与赤霉病发生气象等级进

行相关分析,其中相关系数最大值对应的综合降水指数即为不同降水等级的雨量系数。通过计算分析,得到各代表站小麦赤霉病发生关键期雨量系数如下:

$$\text{滁州: } f_{(R)} = \begin{cases} 1.1 & 0.1 \leq R < 10 \\ 1.0 & 10 \leq R < 25 \\ 0.3 & R \geq 25 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{庐江: } f_{(R)} = \begin{cases} 0.8 & 0.1 \leq R < 10 \\ 1.2 & 10 \leq R < 25 \\ 1.0 & R \geq 25 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{池州: } f_{(R)} = \begin{cases} 1.0 & 0.1 \leq R < 10 \\ 1.3 & 10 \leq R < 25 \\ 2.3 & R \geq 25 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{宣城: } f_{(R)} = \begin{cases} 1.7 & 0.1 \leq R < 10 \\ 2.8 & 10 \leq R < 25 \\ 1.1 & R \geq 25 \end{cases} \quad (6)$$

式(2)~(6)中: $f_{(R)}$ 为雨量系数; $R$ 为小麦赤霉病发生关键期日降水量。

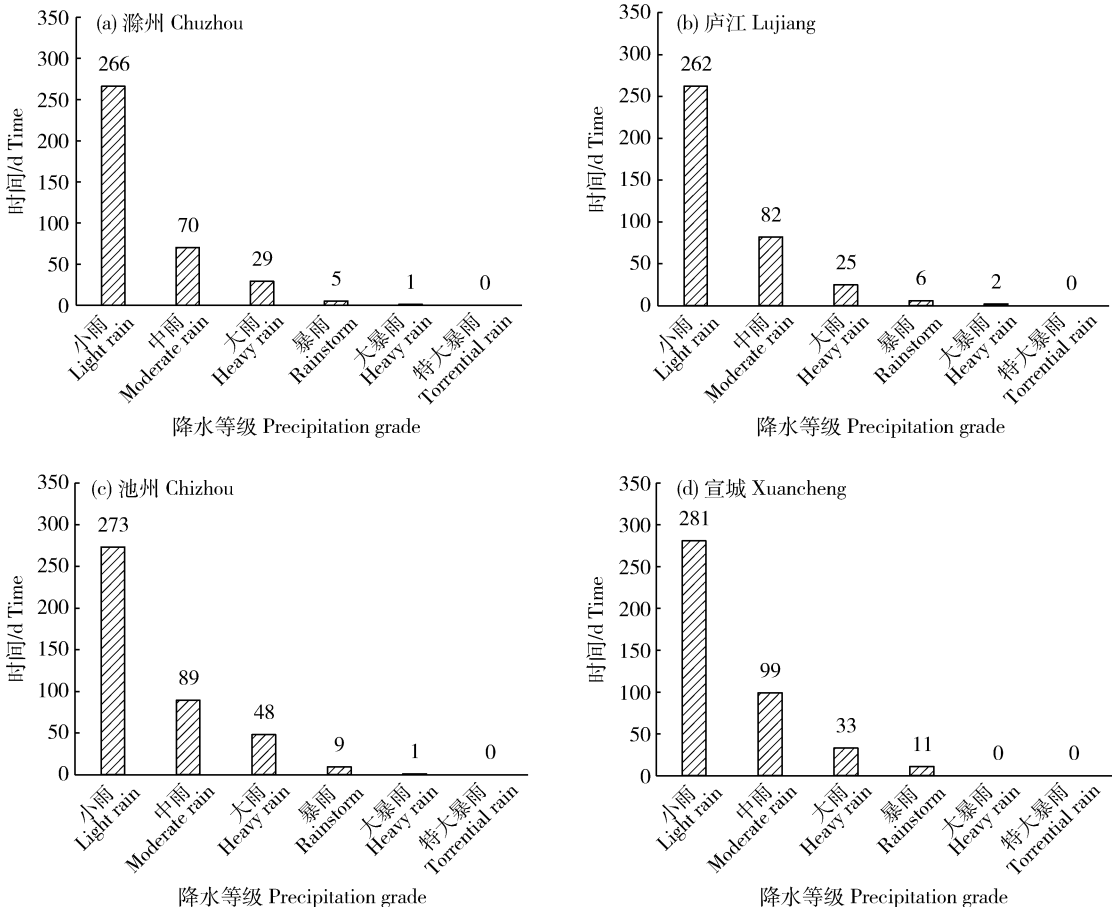


图 1 不同区域代表站小麦赤霉病发生关键期降水等级分布情况

Fig. 1 Distribution of precipitation grades during the key growth stage at representative stations in different area for wheat scab

### 2.2.3 综合降水指数

根据庐江、滁州、池州和宣城历年小麦赤霉病发生关键期逐日降水资料,利用式(3)~(6)计算出不同代表站历年综合降水指数,与小麦赤霉病发生气象等级进行相关分析。由表2可以看出,滁州、庐

江、池州和宣城地区小麦赤霉病发生气象等级与综合降水指数相关性分别为0.775 1、0.762、0.791和0.773 2,均高于降水量、降水日数与赤霉病气象等级的相关性,说明综合降水指数能更好地反映降水日数和降水等级对赤霉病发生的综合影响。

表2 不同区域代表站小麦赤霉病发生气象等级与关键期降水量、降水日数和综合降水指数相关性  
Table 2 Correlation between meteorological grade of wheat scab and precipitation, rainy days as well as composite precipitation index in the key growth stage at representative stations in different areas

代表站 Representative station	降水量相关系数 Correlation of precipitation	降水日数相关系数 Correlation of precipitation days	综合降水指数相关系数 Correlation of composite precipitation index
滁州 Chuzhou	0.280 8	0.713 3 **	0.775 1 **
庐江 Lujiang	0.613 5 **	0.726 7 **	0.762 0 **
池州 Chizhou	0.548 8 **	0.720 9 **	0.791 0 **
宣城 Xuancheng	0.459 1 **	0.762 1 **	0.773 2 **

注:\*\*表示相关性达极显著水平( $P < 0.01$ )。下同。

Note: \*\* represents significant at  $P < 0.01$  level. The same below.

### 2.2.4 气象等级预报模型

以综合降水指数为自变量,以小麦赤霉病发生气象等级为因变量,运用SPSS 19.0统计软件中的曲线回归方法,建立不同代表站最优回归模型

(表3)。各代表站回归方程中, $y$ 为赤霉病发生气象等级, $x$ 为赤霉病发生关键期综合降水指数。由回归方程的 $P$ 值可以看出,各代表站小麦赤霉病气象等级预报模型均通过了0.01的显著性水平检验。

表3 不同区域代表站小麦赤霉病气象等级预报模型  
Table 3 Meteorological grade forecast model of wheat scab in different regional representative stations

代表站 Representative station	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	$P$ 值 $P$ value
滁州 Chuzhou	$y = -0.336 4 + 0.196 5x$	0.775 1 **	$< 0.001$
庐江 Lujiang	$y = 0.388 + 0.247x$	0.762 0 **	$< 0.001$
池州 Chizhou	$y = 1.631 9 - 0.100 6x + 0.013 12x^2$	0.802 3 **	$< 0.001$
宣城 Xuancheng	$y = -0.201 9 + 0.213 8x$	0.773 2 **	$< 0.001$

## 2.3 模型检验

### 2.3.1 模型拟合检验

利用滁州(1985—2015年)、庐江(1987—2015年)、池州(1991—2015年)和宣城(1986—2015年)小麦赤霉病病穗率资料和气象观测资料,对各区域代表站小麦赤霉病气象等级预报模型进行拟合检

验。结果表明,滁州地区小麦赤霉病气象等级预报模型模拟等级与实际等级平均误差为0.541级,回代平均准确率为86.8%,31个样本中回代准确率为100%的有16年,准确率为80%的11年,准确率为70%的3年,完全不正确的有1年(表4);庐江地区模拟等级与实际等级平均误差为0.568级,回代平



均准确率为 87.6%，29 个样本中回代准确率为 100% 的有 14 年，准确率为 80% 的 9 年，准确率为 70% 的 6 年(表 5)；池州地区模拟等级与实际等级平均误差为 0.577 级，回代平均准确率为 85.6%，25 个样本中回代准确率为 100% 的有 13 年，准确率为 80% 的 7 年，准确率为 70% 的 4 年，完全不正确的有 1 年(表 6)；宣城地区模拟等级与实际等级平

均误差为 0.558 级，回代平均准确率为 88.3%，30 个样本中回代准确率为 100% 的有 18 年，准确率为 80% 的 7 年，准确率为 70% 的 3 年，完全不正确的有 1 年(表 7)。从回代检验结果看，建立的各区域代表站小麦赤霉病气象等级预报模型模拟效果较好，总体上能反映降水条件与赤霉病气象等级的关系。

表 4 滁州市小麦赤霉病气象等级预报模型拟合检验

Table 4 Retrospective test of meteorological grade for wheat scab in Chuzhou

年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score	年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score
1985	5	3.397	1.603	0	2001	3	2.729	0.271	100
1986	3	1.550	1.450	70	2002	3	3.751	0.751	80
1987	2	1.904	0.096	100	2003	4	3.436	0.564	80
1988	3	2.022	0.978	80	2004	2	2.140	0.140	100
1989	4	4.262	0.262	100	2005	1	2.336	1.336	70
1990	4	2.572	1.428	70	2006	1	1.786	0.786	80
1991	2	2.336	0.336	100	2007	1	1.157	0.157	100
1992	2	2.061	0.061	100	2008	1	1.786	0.786	80
1993	1	1.275	0.275	100	2009	2	1.629	0.371	100
1994	1	1.511	0.511	80	2010	3	3.161	0.161	100
1995	1	1.982	0.982	80	2011	1	0.450	0.550	80
1996	1	1.432	0.432	100	2012	3	3.161	0.161	100
1997	1	1.550	0.550	80	2013	2	1.236	0.764	80
1998	2	1.825	0.175	100	2014	3	3.554	0.554	80
1999	2	2.022	0.022	100	2015	3	2.611	0.389	100
2000	1	1.393	0.393	100					

2.3.2 模型预测检验

利用滁州、庐江、滁州和宣城站 2016—2020 年小麦赤霉病病穗率和对应逐日降水资料，对各区域小麦赤霉病气象等级预报模型进行预测检验。滁州小麦赤霉病实际发生等级与模型预测等级平均误差为 0.464 级，准确率为 92.0%，5 年中预测准确率为 100% 的有 3 年，准确率 80% 的有 2 年；庐江赤霉病实际发生等级与模型预测等级平均误差为 1.06 级，准确率为 70.0%，5 年中预测准确率为 100% 的有 2

年，准确率 80%、70% 和 0% 的各 1 年；池州赤霉病实际发生等级与模型预测等级平均误差为 0.656 级，准确率为 88.0%，5 年中预测准确率为 100% 的有 2 年，准确率 70% 的有 2 年；宣城赤霉病实际发生等级与模型预测等级平均误差为 0.861 级，准确率为 84.0%，5 年中预测准确率为 100% 的有 2 年，准确率 80% 的有 1 年，准确率 70% 的有 2 年(表 8)。从预测效果看，滁州赤霉病气象等级预测模型效果最好，池州和宣城次之，庐江相对较差。

表5 庐江县小麦赤霉病气象等级预报模型拟合检验

Table 5 Retrospective test of meteorological grade for wheat scab in Lujiang

年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score	年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score
1987	3	3.451	0.451	100	2002	5	1.253	2002	70
1988	2	2.611	0.611	80	2003	5	0.018	2003	100
1989	3	3.945	0.945	80	2004	3	0.093	2004	100
1990	5	4.044	0.956	80	2005	3	0.241	2005	100
1991	3	3.352	0.352	100	2006	3	1.044	2006	70
1992	3	2.660	0.340	100	2007	3	0.982	2007	80
1993	3	2.562	0.438	100	2008	4	0.796	2008	80
1994	3	3.698	0.698	80	2009	4	0.697	2009	80
1995	3	3.204	0.204	100	2010	5	1.253	2010	70
1996	2	3.105	1.105	70	2011	1	1.117	2011	70
1997	3	3.056	0.056	100	2012	2	0.068	2012	100
1998	4	3.994	0.006	100	2013	1	0.524	2013	80
1999	4	4.142	0.142	100	2014	5	0.166	2014	100
2000	3	1.870	1.130	70	2015	2	0.858	2015	80
2001	3	3.204	0.204	100					

表6 池州市小麦赤霉病气象等级预报模型拟合检验

Table 6 Retrospective test of meteorological grade for wheat scab in Chizhou

年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score	年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score
1991	3	3.194	0.194	100	2	2.447	0.447	100	1991
1992	2	2.058	0.058	100	2	1.938	0.062	100	1992
1993	2	1.689	0.311	100	2	2.566	0.566	80	1993
1994	3	3.445	0.445	100	2	2.005	0.005	100	1994
1995	4	4.147	0.147	100	2	2.566	0.566	80	1995
1996	2	2.314	0.314	100	2	2.251	0.251	100	1996
1997	1	1.803	0.803	80	5	4.035	0.965	80	1997
1998	2	3.046	1.046	70	3	1.776	1.224	70	1998
1999	3	4.072	1.072	70	3	2.541	0.459	100	1999
2000	2	1.891	0.109	100	1	1.579	0.579	80	2000
2001	3	2.094	0.906	80	5	4.826	0.174	100	2001
2002	5	3.854	1.146	70	5	3.255	1.745	0	2002
2003	4	4.618	0.618	80					2003

表7 宣城市小麦赤霉病气象等级预报模型拟合检验

Table 7 Retrospective test of meteorological grade for wheat scab in Xuancheng

年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score	年份 Year	实际等级 Actual grade	模拟等级 Simulated grade	误差 Error	评分 Score
1986	4	4.095	0.095	100	3	2.684	0.316	100	1986
1987	2	2.920	0.920	80	4	4.502	0.502	80	1987
1988	2	1.829	0.171	100	5	4.395	0.605	80	1988
1989	4	3.390	0.610	80	2	3.091	1.091	70	1989
1990	4	3.304	0.696	80	2	1.851	0.149	100	1990
1991	3	3.390	0.390	100	1	2.428	1.428	70	1991
1992	2	1.744	0.256	100	1	2.107	1.107	70	1992
1993	2	1.829	0.171	100	3	3.176	0.176	100	1993
1994	4	3.647	0.354	100	4	3.085	0.915	80	1994
1995	4	3.069	0.931	80	4	3.989	0.011	100	1995
1996	2	2.471	0.471	100	1	1.188	0.188	100	1996
1997	1	1.936	0.936	80	4	2.214	1.786	0	1997
1998	3	2.642	0.358	100	1	1.295	0.295	100	1998
1999	3	3.433	0.433	100	3	3.304	0.304	100	1999
2000	2	1.573	0.427	100	3	3.133	0.133	100	2000

### 3 讨论

赤霉病的发生流行与子囊孢子释放期、寄主生育期及气象条件三者的配合程度密切相关<sup>[10]</sup>,准确判定小麦生育期对研究赤霉病气象等级预报模型尤为重要。本研究以降水日数作为影响赤霉病发生的主要气象因子,通过相关分析,确定赤霉病发生关键期对应小麦发育期主要处于抽穗至灌浆期,与吴春艳等<sup>[10]</sup>、罗桂东等<sup>[19]</sup>和王晖等<sup>[20]</sup>的观点较为一致。已经开展的相关研究多以某一旬或某几旬作为小麦赤霉病发生关键期,但实际生产中不同年份小麦发育期差异较大,王胜等<sup>[22]</sup>指出气候变暖背景下安徽省冬小麦发育期变化趋势明显,本研究以小麦抽穗始期为标准,以抽穗始期前后固定时段作为赤霉病发生关键期,更符合赤霉病发生流行与小麦生育期的关系。吴春艳等<sup>[10]</sup>对上海地区赤霉病开展气象等级预报模型的研究中,选用始穗期至5月20日的气象条件较4月中旬—5月中旬的气象条件,准确率明显提高。因此,在开展赤霉病预测发生等级预

报中,不仅要开展气象条件的预报,还应开展小麦发育期的预测,将两者结合起来能更精确的预测小麦赤霉病发生程度。

小麦赤霉病发生流行除受气象条件影响外,还受菌源、品种和栽培条件等影响。何贤芳等<sup>[4]</sup>研究表明白皮小麦品种具有较高的赤霉病发生风险,而红皮小麦品种表现出强的赤霉病抗性水平。李富占等<sup>[12]</sup>2012年对河南新野地区调查发现郑麦9023对小麦赤霉病的抗性明显高于郑麦366。关于温度对赤霉病发生的影响存在着不同的观点,马延庆等<sup>[16,23]</sup>指出气温不是影响赤霉病发生的主要因素,气温主要影响发病的早晚和病程进程的快慢,而罗贵东等<sup>[19]</sup>认为在适宜的湿度条件下,越接近适宜温度病情越重。本研究统计发现,引入温度要素不能提高模型的预测精度,所以建立预报模型过程中没有引入温度要素。相关研究表明春季田间稻桩、玉米残体等带菌率与当年小麦赤霉病发生程度关系密切<sup>[23,25-26]</sup>。此外,地势低洼,排水不良的田块,利于发病;群体密度大,田间郁闭,也可加重病情<sup>[27]</sup>。影



表8 不同区域代表站小麦赤霉病气象等级预报模型预测检验  
Table 8 Prediction test of meteorological grade for wheat scab  
in different regional representative stations

代表站 Representative station	年份 Year	实际等级 Actual grade	预测等级 Prediction grade	误差 Error	评分 Score
滁州 Chuzhou	2016	3	2.768	0.232	100
	2017	1	1.904	0.904	80
	2018	3	3.004	0.004	100
	2019	1	0.764	0.236	100
	2020	1	1.943	0.943	80
均值 Mean value				0.464	92
庐江 Lujiang	2016	3	4.489	1.489	70
	2017	3	3.432	0.432	100
	2018	4	3.006	0.994	80
	2019	2	2.426	0.426	100
	2020	1	2.957	1.957	0
均值 Mean value				1.060	70
池州 Chizhou	2016	5	4.700	0.300	100
	2017	4	3.889	0.111	100
	2018	2	1.803	0.197	100
	2019	4	2.640	1.360	70
	2020	1	2.314	1.314	70
均值 Mean value				0.656	88
宣城 Xuancheng	2016	4	4.395	0.395	100
	2017	3	3.454	0.454	100
	2018	3	1.851	1.149	70
	2019	3	2.014	0.986	80
	2020	1	2.321	1.321	70
均值 Mean value				0.861	84

响小麦赤霉病发生的气象因子中,除了雨日、雨量、相对湿度等要素响外,风速可以影响田间湿度和子囊孢子的传播<sup>[5]</sup>,连续3 d以上雾日也会引起赤霉病孢子萌发<sup>[28]</sup>。本研究仅考虑了雨日和雨量对赤霉病发生的影响,建立气象条件、品种抗性、菌源量、栽培管理措施等多要素的预报模型是下一步研究的重点。

## 4 结 论

本研究明确了安徽中南部小麦赤霉病发生关键期,江淮地区的滁州和庐江赤霉病发生关键期分别为始穗前5 d至始穗后27 d和始穗前8 d至始穗后20 d,沿江地区的池州为始穗前7 d至始穗后24 d,江南地区的宣城为始穗前4 d至始穗后24 d。

本研究分析降水条件对赤霉病发生的影响,考虑了降水日数和降水强度,建立了基于综合降水指数的小麦赤霉病气象等级预报模型。通过对模型进行了拟合检验和预测检验,滁州地区准确率分别为86.8%和92.0%,庐江准确率分别为87.6%和70.0%,池州准确率分别为85.6%和88.0%,宣城准确率分别为88.3%和84.0%。本研究建立的区域小麦赤霉病气象等级预报模型可用于安徽省中南部农业气象业务服务。

## 参考文献 References

- [1] 黄冲,姜玉英,吴佳文,邱坤,杨俊杰. 2018年我国小麦赤霉病重发特点及原因分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 160-163  
Huang C, Jiang Y Y, Wu J W, Qiu K, Yang J J. Occurrence characteristics and reason analysis of wheat head blight in 2018 in China[J]. *Plant Protection*, 2019, 45(2): 160-163 (in Chinese)
- [2] 徐云,陈爱玉,洪冠中,吴彩霞. 南通地区小麦赤霉病发生潜势气象预报模型的建立及检验[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 144-145  
Xu Y, Chen A Y, Hong G Z, Wu C X. Establishment and test of a potential weather forecast model for wheat scab in Nantong region[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(8): 144-145 (in Chinese)
- [3] 徐敏,高苹,徐经纬,吴洪颜,易红娟,吴定邦,徐东祥. 江苏省小麦赤霉病综合影响指数构建及时空变化特征[J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1774-1782  
Xu M, Gao P, Xu J W, Wu H Y, Yi H J, Wu D B, Xu D X. Construction of the comprehensive impact index for wheat scab and its spatiotemporal variations in Jiangsu Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(6): 1774-1782 (in Chinese)
- [4] 何贤芳,赵莉,刘泽,汪建来. 基因型和环境对小麦赤霉病抗性的响应及其对千粒重的影响[J]. 种子, 2018, 37(4): 80-85  
He X F, Zhao L, Liu Z, Wang J L. Response of genotype and environment to the resistance of wheat scab and its effect on the 1000-grain weight [J]. *Seed*, 2018, 37(4): 80-85 (in Chinese)
- [5] 吴亚琴,张旭. 基于气象学因素的小麦赤霉病预测模型研究[J]. 生物数学学报, 2017, 32(1): 116-122  
Wu Y Q, Zhang X. The study of prediction model for wheat *Fusarium* ear blight based on meteorology factors[J]. *Journal of Biomathematics*, 2017, 32(1): 116-122 (in Chinese)
- [6] 宋迎波,陈晖,王建林. 小麦赤霉病产量损失预测方法研究[J]. 气象, 2006, 32(6): 116-120  
Song Y B, Chen H, Wang J L. Study on forecast yield loss of wheat scab[J]. *Meteorological*, 2006, 32(6): 116-120 (in Chinese)
- [7] 杜利敏. 小麦赤霉病预报中的温湿度气象指标[J]. 南方农业, 2015, 9(30): 200, 202  
DU L M. Meteorological indexes of temperature and humidity in the forecast of wheat scab[J]. *South China Agriculture*, 2015, 9(30): 200, 202 (in Chinese)
- [8] 杨玉靖. 小麦赤霉病及其影响因子关系的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016  
Yang Y J. Explore the relationship between wheat scab and its influence factors[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [9] 贾花萍. 用量子优化算法预测小麦赤霉病[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(3): 523-526  
Jia H P. Prediction of wheat scab by quantum optimization algorithm based on neural network[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 29(3): 523-526 (in Chinese)
- [10] 吴春艳,李军,姚克敏. 小麦赤霉病发病程度的预测[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 19-22  
Wu C Y, Li J, Yao K M. Prediction of damage level of scab of wheat in Shanghai[J]. *Agricultural Meteorology*, 2003, 24(4): 19-22 (in Chinese)
- [11] 徐敏,徐经纬,谢志清,高苹,李亚春,缪璟秋. 随机森林机器算法在江苏省小麦赤霉病病穗率预测中的应用[J]. 气象学报, 2020, 78(1): 143-153  
Xu M, Xu J W, Xie Z Q, Gao P, Li Y C, Miao J Q. Application of the random forest machine algorithm in forecasting diseased panicle rate of wheat scab in Jiangsu Province[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2020, 78(1): 143-153 (in Chinese)
- [12] 李富占,陈振雨,宗铎. 河南新野小麦赤霉病发生的气象因素分析及预报模型[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(6): 44-47, 54  
Li F Z, Chen Z L, Zong S. Analysis of meteorological factors and forecast model of wheat head blight in Xinye, Henan Province[J]. *China Plant Protection*, 2019, 39(6): 44-47, 54 (in Chinese)
- [13] 李军,蒋耀培,蒋建忠,王志雄. 小麦赤霉病发生程度的气象动态预测模型[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2004, 26(6): 776-780  
Li J, Jiang Y P, Jiang J Z, Wang Z X. Different phases meteorological forecast models for damage degree of wheat scab [J]. *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition*, 2004, 26(6): 776-780 (in Chinese)
- [14] 高苹,居为民. 冬小麦赤霉病流行程度长期预报模型[J]. 气象, 1998, 24(6): 55-58  
Xu P, Ju W M. The long-range prediction models of winter wheat gibberellin occurrence extent [J]. *Meteorological Monthly*, 1998, 24(6): 55-58 (in Chinese)
- [15] 夏凤,马群. 2003年安徽省小麦赤霉病大流行原因分析及防治对策[J]. 植保技术与推广, 2003, 23(11): 13-14  
Xia F, Ma Q. Analysis of the causes of the wheat scab pandemic in Anhui Province in 2003 and its control strategies [J]. *Plant Protection Technology and Promotion*, 2003, 23

- (11): 13-14 (in Chinese)
- [16] 马延庆, 周平伟, 刘长民, 千琼丽. 咸阳市冬小麦赤霉病发生的气象条件分析及预报模式研究[J]. 陕西农业科学, 2007, 53(4): 32-34, 62  
Ma Y Q, Zhou P W, Liu C M, Qian Q L. Research on the weather conditions and forecast models of the happening of winter wheat scab in Xianyang City[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 53(4): 32-34, 62 (in Chinese)
- [17] DB 34/T 2957—2017, 小麦赤霉病测报调查规范[S]. 合肥: 安徽省质量技术监督局, 2017  
DB 34/T 2957—2017, Rules for investigation and forecast of the wheat head blight [S]. Hefei: Anhui Quality and Technology Supervision Bureau, 2017 (in Chinese)
- [18] 王志伟, 张东霞, 马雅丽, 班胜林. 山西省冬小麦主要病虫害气象等级预报模型[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 267-271  
Wang Z W, Zhang D X, Ma Y L, Ban S L. Study on meteorological degree forecast model of the main pests and diseases of winter wheat in Shanxi[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11): 267-271 (in Chinese)
- [19] 罗贵东, 于竹娟. 大竹县小麦赤霉病与气象条件的关系及发病趋势预报[J]. 贵州气象, 2010, 34(1): 18-21  
Luo G D, Yu Z J. Relevance of wheat scab to weather conditions and incidence trends forecast in Dazhu County[J]. *Journal of Guizhou Meteorology*, 2010, 34(1): 18-21 (in Chinese)
- [20] 王晖, 黄保全, 王清文, 张勇, 杨建军, 韩鼎. 汉中地区小麦赤霉病发生流程程度分析及预测[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(7): 84-85  
Wang H, Huang B Q, Wang Q W, Zhang Y, Yang J J, Han D. Analysis of wheat scab outbreak seriousness in Hanzhong area and its prediction[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 64(7): 84-85 (in Chinese)
- [21] 曹璐, 高苹, 吴洪颜. 江苏省小麦赤霉病多因子综合风险评估与区划[J]. 植物保护, 2020, 46(4): 105-109, 125  
Cao L, Gao P, Wu H Y. Multi-factor comprehensive risk assessment and zoning map of wheat scab epidemics in Jiangsu Province[J]. *Plant Protection*, 2020, 46(4): 105-109, 125 (in Chinese)
- [22] 王胜, 徐敏, 宋阿伟, 戴娟. 1961—2012年安徽省24节气气候候变化及冬小麦和一季稻物候期的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2390-2397  
Wang S, Xu M, Song A W, Dai J. Climate changes in 24 solar terms and responses of winter wheat and single-season rice phenophases in Anhui Province of East China in 1961—2012 [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(9): 2390-2397 (in Chinese)
- [23] 全国农业技术推广服务中心. 农作物有害生物测报技术手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006  
The National Agro-Tech Extension and Service Center. *Technical Manual for Pest Monitoring of Crops*[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2006 (in Chinese)
- [24] 陈将赞, 戴以太, 杨廉伟. 小麦赤霉病病穗率的预测模型[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(1): 93-94  
Chen J Z, Dai Y T, Yang L W. Prediction models of *Fusarium* head blight incidence [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 60(1): 93-94 (in Chinese)
- [25] 李巧芝, 赵宗林, 盛建萍, 高明, 马淑玲, 王兵. 小麦赤霉病发生量预测预报[J]. 河南气象, 2002, 25(1): 27-28  
Li Q Z, Zhao Z L, Sheng J P, Gao M, Ma S L, Wang B. The forecast of gibberellin disease of wheat [J]. *Meteorology journal of Henan*, 2002, 25(1): 27-28 (in Chinese)
- [26] 姚卫平. 贵池区小麦赤霉病发病程度中期预测模型[J]. 基层农技推广, 2016, 4(3): 20-24  
Yao W P. Mid-season prediction model of wheat scab degree in Guichi area[J]. *Primary Agricultural Technology Extension*, 2016, 4(3): 20-24 (in Chinese)
- [27] 金艳, 刘付领, 朱统泉, 陈杰, 赵立尚. 河南省小麦赤霉病的发生情况分析防治对策[J]. 河南科技学院学报: 自然科学版, 2016, 44(6): 1-4  
Jin Y, Liu F L, Zhu T Q, Chen J, Zhao L S. Occurrence analysis and control measures of wheat scab in Henan Province [J]. *Journal of Henan Institute of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2016, 44(6): 1-4 (in Chinese)
- [28] 巫丽君, 陈翔, 魏爱明, 潘建梅, 陈焯, 王秀琴. 江苏省镇江市丹徒区小麦赤霉病流行程度预报[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 113-114  
Wu L J, Chen X, Wei A M, Pan J M, Chen Y, Wang X Q. Forecast of the incidence for wheat scab in Dantu District, Zhenjiang City, Jiangsu Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(9): 113-114 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东