

# 基于加权列联表分析法的安徽省巢湖市小麦赤霉病预测

张新<sup>1,2</sup>, 郑思远<sup>1</sup>, 鞠玉亮<sup>1</sup>, 潘月敏<sup>1\*</sup>

(1. 安徽农业大学植物保护学院/植物病虫害生物学与绿色防控安徽普通高校重点实验室, 合肥 230036;

2. 巢湖市农业技术推广中心, 合肥 238000)

**摘要:** 为有效预防安徽省巢湖市小麦赤霉病危害, 选取巢湖市 2003—2019 年平均相对湿度、雨湿日光系数 (雨日×降雨量×平均相对湿度/日照时数)、降雨量与日照时数作为预测因子, 运用加权列联表分析法, 分别对 2011 年秸秆还田前后小麦赤霉病流行进行预测。利用该方法对 2020—2021 年安徽省巢湖市小麦赤霉病发生情况进行预测, 模型预测结果与小麦赤霉病实际发生情况匹配度较高, 准确率为 100%, 表明该方法可于小麦赤霉病防治适期前 50 ~ 60 d (小麦返青期) 对小麦赤霉病发生程度进行中长期预测。基于加权列联表分析法建立的小麦赤霉病预测方法提高了安徽省巢湖市小麦赤霉病预测的准确性, 为该病害的防治提供了部分参考依据。

**关键词:** 巢湖市; 小麦赤霉病; 加权列联表分析法; 预测预报

中图分类号: S435.121.45

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2023)05-0842-05

## Prediction of *Fusarium* head blight in Chaohu City, Anhui Province based on weighted contingency table analysis

ZHANG Xin<sup>1,2</sup>, ZHENG Siyuan<sup>1</sup>, JU Yuliang<sup>1</sup>, PAN Yuemin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Biology and Sustainable Management of Plant Disease and Pests of Anhui Higher Education Institutes, School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Agricultural Technology Extension Center of Chaohu City, Hefei 238000)

**Abstract:** In order to effectively prevent the damage of *Fusarium* head blight in Chaohu City, Anhui Province, the average relative humidity, rain humidity and solar coefficient (rainy days × rainfall × the average relative humidity/sunshine time), rainfall and sunshine time from 2003 to 2019 were used as predictors, and the weighted contingency table analysis was used to predict the epidemic of *Fusarium* head blight before and after straw returning in 2011. The method was used to predict the occurrence of *Fusarium* head blight in Chaohu City, Anhui Province from 2020 to 2021. The predicted results of the model matched the actual occurrence of *Fusarium* head blight with a high accuracy of 100%. This method can be used to predict the occurrence degree of *Fusarium* head blight 50 - 60 d before the suitable period for control of wheat scab (wheat turning green period). The prediction method of wheat scab based on weighted contingency table analysis in this study can improve the accuracy of prediction of *Fusarium* head blight in Chaohu City, Anhui Province, and provide some references for the control of the disease.

**Key words:** Chaohu City; *Fusarium* head blight; weighted contingency table analysis; prediction and forecast

小麦赤霉病 (*Fusarium* head blight) 是影响我国小麦生产最主要的真菌病害之一, 优势病原为禾谷镰孢菌 (*Fusarium graminearum*) 和亚洲镰孢菌 (*Fusarium asiaticum*) [1]。小麦赤霉病的流行不仅严重影响小麦产量, 同时也影响其综合品质。赤霉病菌可造成小麦籽粒干瘪, 出粉率降低; 病原菌感染小麦后产生的脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (*Deoxynivalenol*,

*DON*) 毒素, 严重危害人体健康[2]。若收获小麦病粒率超过 4.0%, 就不能收储和食用[3]。小麦赤霉病在不同年度间与地区间差异的流行因素主要包括初始菌源量、气候条件、品种抗病性及栽培条件等, 其中气候条件是决定其流行的主导因素。小麦扬花期遇适温高湿天气条件, 赤霉病将严重发生[4-5]。小麦扬花灌浆期遇到寡日照的时日增多, 小麦赤霉病发

收稿日期: 2022-08-30

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划 (202104a06020007) 和国家重点研发计划 (2017YFD0201708) 共同资助。

作者简介: 张新, 硕士。E-mail: 1214274312@qq.com

\* 通信作者: 潘月敏, 博士, 教授。E-mail: panyuemin2008@163.com

生程度将普遍加重<sup>[6-7]</sup>。目前,小麦赤霉病预测预报主要基于小麦抽穗扬花期的气象因素进行短期测报,预测准确度高但也存在防治准备不充分而贻误战机的不足<sup>[8]</sup>。近年来,得益于测报信息的丰富和测报技术的发展,植物病害流行测报准确度不断提高,化学防治可使病害减轻 50.0%~90.0%<sup>[9]</sup>。

小麦赤霉病预测预报的地域性较强,前人研究结果并不能直接应用本地,再加上回归分析法要求大样本,主次因素和变量在建模时难以把握,不能分析因素间的动态关联程度及运算的复杂度高。BP 神经网络法则初始权值、阈值具有不确定性,网络易陷入局部最优;灰色理论预测模型只适用于中短期预测,且只适合指数增长的预测;支持向量机在大规模处理数据样本方面的能力较差,而且在单独处理分类问题上存在缺陷<sup>[10]</sup>。GM(1,1) 预测模型只适用于短期预测,在原始数据波动性较大时预测值的可参考性不强<sup>[11]</sup>。神经网络预测法模型难以确定,可解释性差,学习过程慢,对突发性事件的适应性差<sup>[12]</sup>。孙俊铭等基于加权列联表分析法构建庐江县水稻白叶枯病中期预报模型,并对此开展 6 年的预测,预测结果完全准确<sup>[13]</sup>。因此,本研究用加权列联表分析法将原始资料因子与预报量进行逆向和正向分析,并将两者之和定义为列联参数,引入随机系数作为权重,将各因子贡献大小的随机系数体现为权重系数。

巢湖市是安徽省主要粮食产区,以“一稻一麦”或“一稻一油”连作为主。近年来,伴随着单季晚稻种植面积不断扩大,导致冬小麦播种期被推迟。翌年春天,因小麦播种期延迟导致出苗不一致及抽穗扬花期延迟等,均给后期赤霉病预测预报与防治增加了巨大难度。此外,巢湖地区主推的扬麦系列和宁麦系列小麦品种对赤霉病抗性较弱,进一步增加了小麦赤霉病的防控难度。本研究针对安徽省巢湖市小麦赤霉病的发生情况,基于加权列联表分析法,建立了巢湖地区小麦赤霉病流行程度预报方法,以期为该病害科学防控提供一定的技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 数据收集

小麦赤霉病病情数据来源于巢湖市植保站,气象数据来源于安徽省巢湖市气象局,数据采集时间为 2003—2019 年(表 1)。主要数据及变量定义分别为: $y$  为小麦赤霉病流行程度的预报量(病情稳定期各种类型田块加权平均病穗率%), $X_1$  为平均相对湿度(每年 10 月下旬至翌年 2 月下旬)、 $X_2$  为雨

湿日光参数(雨日 $\times$ 降雨量 $\times$ 平均相对湿度/光照时数)、 $X_3$  为降雨量(每年 11 月至翌年 2 月)、 $X_4$  为光照时数(每年 5 月至 9 月)<sup>[19]</sup>。

表 1 病穗率( $y$ )与预测因子( $x$ )的初始数据

Table 1 The original data of diseased spike rate ( $y$ ) and predictors ( $x$ )

年份	$x_1/\%$	$x_2$	$x_3/\text{mm}$	$x_4/\text{h}$	$y/\%$
2003	77.62	1 977.69	274.0	907.9	70.15
2004	70.54	706.12	221.6	839.8	24.93
2005	76.62	977.99	200.2	943.5	2.02
2006	74.85	1 616.64	255.2	882.8	0.78
2007	73.54	1 740.94	271.4	837.5	0.89
2008	79.00	1 657.93	212.1	798.4	17.46
2009	73.08	1 145.75	191.1	760.2	12.56
2010	74.92	2 319.19	328.8	803.7	6.23
2011	62.23	174.87	62.8	735.9	0.18
2012	74.07	1 176.13	155.4	583.4	30.64
2013	73.54	1 730.83	213.0	805.8	1.38
2014	68.00	706.77	181.7	957.2	8.32
2015	75.62	1 299.00	229.1	585.7	15.54
2016	76.85	2 475.25	283.1	709.8	19.3
2017	79.00	3 928.95	266.1	842.0	16.44
2018	81.31	1 659.57	286.0	820.3	17.23
2019	82.92	5 595.54	357.3	873.8	16.20

### 1.2 分析方法

1.2.1 初始参考资料分级 按表 2 所述分级标准对各预报预测因子  $x$  与预报量  $y$  进行分级。

表 2 资料分级标准

Table 2 Data rating standard

因子	等级		
	1	2	3
$x_1$	<75	75~78	>78
$x_2$	<1 000	1 000~1 800	>1 800
$x_3$	<210	210~250	>250
$x_4$	>900	800~900	<800
$y$	<15	15~25	>25

注:1、2、3 级分别表示小麦赤霉病流行程度为轻度、中度和重度。

1.2.2 加权列联表分析 利用加权列联表分析法对巢湖市小麦赤霉病流行进行中长期预测,制作  $y$  与  $x_j$  的  $3\times 4$  单因子列联表(表 3)。

1.2.3  $X^2$  检验 所选预测因子与预报量相关程度用  $X^2$  进行检验,并用各因子  $X^2$  值计算各因子  $x$  的随机系数  $C$ , 公式如下:

$$C_j = \frac{\sqrt{X^2}}{\sqrt{n + X^2}} \quad (1)$$

$$X^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^s \left( \frac{nik - \frac{ni \cdot n \cdot k}{n}}{ni \cdot n \cdot k} \right) \quad (2)$$

式中  $nik$  为实际频数,  $\frac{ni \cdot n \cdot k}{n}$  为理论频数。

表 3 预报量 ( $y$ ) 与预测因子 ( $x_j$ ) 的单因子列联表  
Table 3 Single factor crosstabs format table of measured quantity ( $y$ ) and predictors ( $x_j$ )

$x_j$	$n_{ik}$				$n_{i \cdot}$
	$y=1$	$y=2$	.....	$y=s$	
1	$n'_{11}$	$n'_{12}$	.....	$n'_{1s}$	$n'_1$
2	$n'_{21}$	$n'_{22}$	.....	$n'_{2s}$	$n'_2$
...	..	..	..	..	..
$r$	$n'_{r1}$	$n'_{r2}$	.....	$n'_{rs}$	$n'_r$
$n_{\cdot k}$	$n_{\cdot 1}$	$n_{\cdot 2}$	.....	$n_{\cdot s}$	$n$

1.2.4 加权列联系数  $\theta_{ik}^j$  与  $P_k$

按式 (3) (4) 计算加权列联系数  $\theta_{ik}^j$  与  $P_k$ ,

$$\theta_{ik}^j = \frac{n_{ik}^j}{n_{i \cdot}} + \frac{n_{ik}^j}{n_{\cdot k}} \quad (3)$$

$$P_k = C_1 \theta_{1k}^1 + C_2 \theta_{2k}^2 + \dots + C_m \theta_{mk}^m \quad (4)$$

$\frac{n_{ik}^j}{n_{i \cdot}}$  为  $x_i^j$  出现的条件频率,  $\frac{n_{ik}^j}{n_{\cdot k}}$  为  $y^k$  出现时

$x_i^j$  的条件频率。

将最高值  $P_k$  定义为  $P_{\text{主}}$ , 即预报数值的主要可能态; 其次  $P_k$  定义为  $P_{\text{次}}$ , 即预报数值的次可能态。若  $P_{\text{主}}$  与  $P_{\text{次}}$  相近, 应思考  $P_{\text{次}}$  对  $P_{\text{主}}$  的补充影响, 则应对预报数值进行适当调配。

表 5 2003—2011 年预测因子的 3×4 列联表

Table 5 3×4 contingency table of predictors from 2003 to 2011

$x_j$	nik ( $\theta_{ik}$ )				$n_i$	$x_j$	nik ( $\theta_{ik}$ )				$n_i$
	$y=1$	$y=2$	$y=3$				$y=1$	$y=2$	$y=3$		
$x_1$	1	5 (1.67)	1 (0.67)	0 (0)	6	$x_2$	1	2 (1)	1 (0.83)	0 (0)	3
	2	1 (0.67)	0 (0)	1 (1.5)	2		2	3 (1.25)	1 (0.75)	0 (0)	4
	3	0 (0)	1 (1.5)	0 (0)	1		3	1 (0.67)	0 (0)	1 (1.5)	2
	$n_k$	6	2	1	9		$n_k$	6	2	1	9
$x_3$	1	3 (1.5)	0 (0)	0 (0)	3	$x_4$	1	1 (0.67)	0 (0)	1 (1.5)	2
	2	0 (0)	2 (2)	0 (0)	2		2	3 (1.25)	1 (0.75)	0 (0)	4
	3	3 (1.25)	0 (0)	1 (1.25)	4		3	2 (1)	1 (0.83)	0 (0)	3
	$n_k$	6	2	1	9		$n_k$	6	2	1	9

2.3  $X^2$  检测与各预测因子  $x$  的随机参数  $C$

依据运算方程式, 将预测因子 ( $x$ ) 和预报量 ( $y$ ) 关联程度在列联表上作  $X^2$  检测, 随后将各影响因子的  $X^2$  数值进行随机参数  $C$  的计算。结果显示: 2003—2011 年间  $X_1 = 7.750$ ,  $C = 0.6802$ ;  $X_2 = 4.250$ ,  $C = 0.5664$ ;  $X_3 = 5.375$ ,  $C = 0.6115$ ;  $X_4 = 4.250$ ,  $C = 0.5664$ 。2012—2019 年间  $X_1 =$

2 结果与分析

2.1 初始数据分级结果

依据表 2 的分级参考标准, 对 2003—2019 年初始数据进行分级 (表 4)。

表 4 2003—2019 年的预测因子分级结果

Table 4 Results of predictors classification from 2003 to 2019

年份	因子				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y$
2003	2	3	3	1	3
2004	1	1	2	2	2
2005	2	1	1	1	1
2006	1	2	3	2	1
2007	1	2	3	2	1
2008	3	2	2	3	2
2009	1	2	1	3	1
2010	1	3	3	2	1
2011	1	1	1	3	1
2012	1	2	1	3	3
2013	1	2	2	2	1
2014	1	1	1	1	1
2015	2	2	2	3	2
2016	2	3	3	3	2
2017	3	3	3	2	2
2018	3	2	3	2	2
2019	3	3	3	2	2

2.2 单因子相关分析

参考 2003—2019 年初始数据分级结果, 按表 3 所述的格式, 以 2011 年推行秸秆全量还田耕作模式为分界线, 制作 2003—2011 年、2012—2019 年两个时间段  $y$  与  $x_j$  的 3×4 单因子列联表 (表 5 和表 6)。

8.000,  $C = 0.7071$ ;  $X_2 = 6.150$ ,  $C = 0.6593$ ;  $X_3 = 7.15$ ,  $C = 0.6870$ ;  $X_4 = 5.400$ ,  $C = 0.6348$ 。  $C$  值表示某预测因子 ( $x$ ) 和预报量 ( $y$ ) 之间的相关程度,  $C$  值越大, 相关程度越好, 通常  $C > 0.5$ , 即表示相关性较高。本研究所选 4 个预测因子的  $C$  数值都高于 0.5, 表明其与预报量的相关性较高 ( $X^2_{0.05} = 15.51$ ,  $X^2_{0.01} = 20.09$ ,  $df = 8$ )。

表 6 2012—2019 年预测因子的 3×4 列联表  
Table 6 3×4 contingency table of predictors from 2012 to 2019

$x_j$	nik ( $\theta_{ik}$ )				$x_j$	nik ( $\theta_{ik}$ )				
	y=1	y=2	y=3	ni		y=1	y=2	y=3	ni	
$x_1$	1	2 (1.67)	0 (0)	1 (1.33)	3	1	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	1
	2	0 (0)	2 (1.4)	0 (0)	2	2	1 (0.75)	2 (0.9)	1 (1.25)	4
	3	0 (0)	3 (1.6)	0 (0)	3	3	0 (0)	3 (1.6)	0 (0)	3
	nk	2	5	1	8	nk	2	5	1	8
$x_3$	1	1 (1.0)	0 (0)	1 (1.5)	2	1	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	1
	2	1 (1.0)	1 (0.7)	0 (0)	2	2	1 (0.75)	3(1.35)	0 (0)	4
	3	0 (0)	4 (1.8)	0 (0)	4	3	0 (0)	2 (1.07)	1 (1.33)	3
	nk	2	5	1	8	nk	2	5	1	8

表 7 2003—2019 年巢湖市小麦赤霉病预测可靠性验证

Table 7 Reliability verification of prediction of *Fusarium* head blight from 2003 to 2019

年份	Returny ( level )	Facty ( level )	评价
2003	3	3	√
2004	2	2	√
2005	1	1	√
2006	1	1	√
2007	1	1	√
2008	2	2	√
2009	1	1	√
2010	1	1	√
2011	1	1	√
2012	3	3	√
2013	1	1	√
2014	1	1	√
2015	2	2	√
2016	2	2	√
2017	2	2	√
2018	2	2	√
2019	2	2	√

注：“√”代表提前预报和实况满足，“×”代表预回报和实况不满足。

### 2.4 运算列联表系数与 $P_k$

依据运算公式 (4)，由列联表 (表 5 和表 6) 计算列联系数  $\theta_{jk}$ 。预报时，可按照各预测因子的产生等级，从表 5、表 6 与单因子相关检验结果查找出  $\theta_{jk}$  数值与  $C^j$  数值，带入运算公式求  $P_k$ 。以 2010 年小麦赤霉病流行程度为例，已知  $x_1 = 1, x_2 = 3, x_3 = 3, x_4 = 2$ ，查阅表 5 与当年的单因子相关检验的结果可知，若  $y = 1$  时， $P_1$  为 2.987 797；若  $y = 2$  时， $P_k$  为  $P_2 = 0.880 534$ ；若  $y = 3$  时， $P_k$  为  $P_3 = 1.613 975$ 。比较各级  $P_k$  值，以  $P_1$  值最大，查阅表 7 可知，预报 2010 年小麦赤霉病流行程度为 1 级，预示该病害轻度流行，即预测病穗率低于 15.0%，与当年实际病穗率 (6.23%) 一致。

表 8 2020—2021 年小麦赤霉病预报准确性验证

Table 8 Verification of the accuracy of *Fusarium* head blight from 2020 to 2021

年份	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	预测等级	实际等级	评价
2020	2	1	1	2	1	1	√
2021	2	3	3	2	2	2	√

注：“√”代表提前预报和实况满足，“×”代表预回报和实况不满足。

### 2.5 预测效果检验

利用本研究建立的预报方法对巢湖市 2003—2019 年小麦赤霉病流行程度进行预报，并与实际发生情况进行校验，若出现某一年度的预报量真实水平低 1 级，可用  $P_{次}$  对  $P_{主}$  展开补充说明。结果发现，巢湖市 2003—2019 年小麦赤霉病流行程度的预测结果与该病害实际发生情况吻合比例达 100.0%(表 7)。运用该预报方法对巢湖市 2020、2021 年的小麦赤霉病流行程度进行验证性预报。2020 年预报等级为 1 级，实际发病等级为 1 级 (病穗率为 11.44%，低于 15%)；2021 年预报等级为 2 级，实际发病等级 2 级 (病穗率为 18.47%，介于 15%与 25%之间)，预测结果和病害实际发生情况完全吻合 (表 8)。

## 3 讨论与结论

对小麦赤霉病进行准确预测预报是防控小麦赤霉病的重要策略。本研究基于加权列联表分析法建立了适用于巢湖地区的小麦赤霉病预测预报方法，预测准确性达 100.0%。利用该预测方法对 2020、2021 年巢湖市小麦赤霉病进行预测，预测结果与小麦赤霉病实际发生情况匹配度较高。目前大多数的预测方法主要针对短期预测，时效性和实用性大大降低。本研究所述的预测方法可在赤霉病的防治适期前 50~60 d 展开中长期预报，改变了依赖短期预报的状况。

湿度和温度是小麦赤霉病发生和流行的重要因

素。小麦赤霉病病菌在稻麦连作区以稻桩上残存的病菌数量为主,由于耕作栽培措施的不断调整,免耕面积逐步扩大,秸秆全量还田,致使田间稻桩储存量增大、赤霉病病菌基数增加<sup>[14]</sup>。温湿度适宜时,赤霉病菌可萌发侵染,并且随着温度的升高,病害发生程度逐步加重<sup>[15]</sup>。小麦赤霉病的最适宜发病温度为25℃,而小麦抽穗扬花期一般无法满足这样的温度要求,因此此时温度不是病害流行的主要因素<sup>[16]</sup>。若小麦扬花期温度偏低,小麦发育推迟,有利于病菌侵入。温度也会影响子囊孢子释放和孢子萌发,温度为11~30℃时,子囊孢子便可释放<sup>[17-18]</sup>。在小麦抽穗扬花期间,一旦病菌子囊壳和子囊孢子形成时间相吻合,则会引起赤霉病的发生和流行<sup>[19]</sup>。本研究所选用的预测因子都是前期的实况气候影响因子,预报准确性、时效性和实用性充分提升。由于是中长期预报,在防治上超前决策,为我市在防治方案制定上提供较为可靠的信息。

本研究构建的小麦赤霉病流行程度预报方法,将实际病害情况与气象实况资料结合,将定性预报和定量预报相融合,其时效性较常规中长期预报大幅提前,极大提升小麦赤霉病测报时效,具有较强的实用价值。此预测方法不仅适用于巢湖当地,对相邻地域或相似气候条件地区小麦赤霉病预测预报具有一定的借鉴意义。本研究所使用的历史资料只有17年,即便历史吻合度达100%,也不能说影响赤霉病的发生因素已全部筛选出来。该预测方法尚未使用与赤霉病发生时直接影响的气象因素,因此在今后的使用过程中还有待不断完善。

## 参考文献:

- [1] 张鹏,张慧丽,杨蕾,等.小麦赤霉病菌拮抗菌筛选及最适培养条件初步研究[J].植物病理学报,2019,49(6):876-880.
- [2] 张海艳,段云辉,韩敏,等.几种杀菌剂防控小麦赤霉病穗腐及籽粒脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)毒素的评价[J].植物保护,2021,47(1):259-264.
- [3] 张洁.小麦赤霉病的发生与综合防治[J].河南农业,2017(31):29.

- [4] KAUR S, CHAHAL S, SINGH N. Assessment of losses caused by head blight in wheat[J]. J Mycol Plant Pathol, 2000, 30: 204-206.
- [5] 唐玉兰,齐军山.小麦品种(系)赤霉病病情调查与防治对策[J].山东农业科学,1998,30(5):35-36.
- [6] VAN SANFORD D, ANDERSON J, CAMPBELL K, et al. Discovery and deployment of molecular markers linked to *Fusarium* head blight resistance: an integrated system for wheat and barley[J]. Crop Sci, 2001, 41(3): 638-644.
- [7] WIERSMA J V, PETERS E L, HANSON M A, et al. *Fusarium* head blight in hard red spring wheat: cultivar responses to natural epidemics[J]. Agron J, 1996, 88(2): 223-230.
- [8] 张振刚.甘肃瑞香提取物对8种常见植物病原菌抑菌作用的研究[J].甘肃农业大学学报,2011,46(2):80-82.
- [9] 邵芳荣.2000—2019年间我国小麦赤霉病药剂防治效果的分析评价[J].农业灾害研究,2020,10(4):26-29.
- [10] 吴彦衡.基于支持向量机的小麦赤霉病预测研究及应用[D].合肥:安徽农业大学,2018.
- [11] 韩长安,邹光中,王志平.小麦赤霉病发生和危害程度的预测模式[J].上海农业学报,1994,10(2):67-70.
- [12] 高苹,居为民,陈宁,等.人工神经网络方法在赤霉病预报中的应用研究[J].中国农业气象,2001,22(2):21-24.
- [13] 孙俊铭,邢春生.利用气候因素预测水稻白叶枯病流行程度研究[J].安徽农业大学学报,1998,25(3):244-247.
- [14] 杨立军,杨泽富,张俊华,等.秸秆腐熟剂对稻麦轮作田小麦赤霉病发生的影响[J].安徽农业科学,2022,50(5):132-134.
- [15] 南都国,吴溪涌,周霞.小麦赤霉病灰色灾变长期预测模型[J].中国农业科学,1987,20(6):64-69.
- [16] 仇元.小麦赤霉病[M].上海:中华书局,1952.
- [17] MANSTRETTA V, ROSSI V. Effects of weather variables on ascospore discharge from *Fusarium graminearum* perithecia[J]. PLoS One, 2015, 10(9): e0138860.
- [18] GILBERT J, WOODS S M, KROMER U. Germination of ascospores of *Gibberella zeae* after exposure to various levels of relative humidity and temperature[J]. Phytopathology, 2008, 98(5): 504-508.
- [19] PAULITZ T C. Diurnal release of ascospores by gibberella zeae inoculated wheat plots[J]. Plant Dis, 1996, 80(6): 674.