



李焱, 蔡世熊, 张肇鹏, 徐扬, 王志军, 马男, 徐彦杰, 高俊平. 设施栽培条件下月季灰霉病预测模型的建立及应用[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(04): 184-194.
LI Yao, CAI Shixiong, ZHANG Zhaopeng, XU Yang, WANG Zhijun, MA Nan, XU Yanjie, GAO Junping. Establishment and application of a prediction model for gray mold disease in protected cultivation of cut rose[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(04): 184-194.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.04.16

设施栽培条件下月季灰霉病预测模型的建立及应用

李焱¹ 蔡世熊¹ 张肇鹏² 徐扬³ 王志军⁴ 马男¹ 徐彦杰¹ 高俊平^{1*}

(1. 中国农业大学园艺学院/花卉发育与品质调控北京市重点实验室, 北京 100193;

2. 弥勒品元园艺有限公司, 云南 弥勒 652300;

3. 北京市昌平区园林绿化局, 北京 102299;

4. 北京永安园林绿化有限责任公司, 北京 102200)

摘要 为有效防治月季灰霉病发生,保障切花产品采后品质,以‘粉蝴蝶’(‘Vuvuzela’)和‘雪山’(‘Avalanche’)为试验材料,实地调查设施内灰霉病发病情况,监测温室内温湿度,获取当地降雨量等气象资料,构建了月季切花设施生产灰霉病预测模型,并利用这一模型进行灰霉病防治的实际指导。结果表明:1)‘粉蝴蝶’‘雪山’的灰霉病病情指数与设施内的均温和均湿呈线性相关,据此建立灰霉病预测模型, $Y=4.761-0.332X_1+4.930X_2+0.015X_3$;这一预测模型经设施内实试验证,平均绝对误差(MAE)=0.20,平均绝对百分误差(MAPE)=0.31,表明可有效预测7日内设施条件下月季切花灰霉病发病情况。2)‘粉蝴蝶’‘雪山’在贮藏和瓶插期的灰霉病发病率与栽培中病情指数预测值呈正相关。当病情指数为 $Y=0.33$ 的低预测值时,切花产品在模拟运输1d+冷库贮藏5d后,发病率为5.0%;当病情指数为 $Y=2.09$ 的高预测值时,切花产品在相同处理后发病率可达35.0%。3)基于预测模型进行病害爆发前3d喷药的早期防治处理,采收当天的病情指数从2.33降为1.05,处于中度风险等级;切花瓶插期间的灰霉病发病率从30.0%降低到了10.0%。综上,利用本模型进行早期防治,可提早遏制病害扩散,为月季真菌病害的监测与科学防治提供支撑。

关键词 月季切花; 温室生产; 灰霉病; 监测; 防治

中图分类号 S685.12

文章编号 1007-4333(2024)04-0184-11

文献标志码 A

Establishment and application of a prediction model for gray mold disease in protected cultivation of cut rose

LI Yao¹, CAI Shixiong¹, ZHANG Zhaopeng², XU Yang³, WANG Zhijun⁴,
MA Nan¹, XU Yanjie¹, GAO Junping^{1*}

(1. College of Horticulture, China Agricultural University/Beijing Key Laboratory of Development and Quality Control of Ornamental Crops, Beijing 100193, China;

2. Pinyuan Horticulture Company, Mile 652300, China;

3. Bureau of Landscape and Forestry of Changping, Beijing 102299, China;

4. Yongan Landscaping Company, Beijing 102200, China)

Abstract To effectively prevent the occurrence of gray mold disease in cut rose flowers and guarantee their postharvest quality after harvesting, ‘Vuvuzela’ and ‘Avalanche’ were used as experimental materials to conduct an on-site investigation on the incidence of gray mold in the facility, monitor temperature and humidity inside the facility, obtain rainfall data from local meteorological stations, and construct a prediction

收稿日期: 2023-10-07

基金项目: 科技部重点基础研究专项(2018YFD1000400)

第一作者: 李焱(ORCID:0009-0006-3107-2033), 硕士研究生, E-mail: liyao0617@cau.edu.cn

通讯作者: 高俊平(ORCID:0000-0002-9285-2539), 教授, 主要从事观赏植物花朵发育生理与品质调控的研究, E-mail: gaojp@cau.edu.cn

model for gray mold disease in the production of rose cut flower facility. The results showed that: 1) Disease index of 'Vuvuzela' and 'Avalanche' was linearly correlated with the average temperature and humidity inside greenhouse. Based on this, a prediction model of gray mold was established, $Y=4.761-0.332X_1+4.930X_2+0.015X_3$. The prediction model was validated through on-side measurements, with an average absolute error (MAE) of 0.20 and an average absolute percentage error (MAPE) of 0.31. Therefore, the prediction model can effectively predict the incidence of gray mold in protected cultivation of cut rose within 7 days. 2) Gray mold incidences of 'Vuvuzela' and 'Avalanche' during storage and vase period were positively correlated with predicted value of disease index in cultivation. When prediction value of disease index was $Y=0.33$, the gray mold incidence of cut flowers was less than 5.0% after 1 day of simulated transportation and 5 d of cold storage. whereas, when prediction value of disease index was a high predictive value of $Y=2.09$, the gray mold incidence of cut flowers could reach 35.0% after cold storage. 3) Early prevention and control measures were taken by spraying pesticides three days before the outbreak of the disease in the prediction model. The disease index on the day of harvesting decreased from 2.33 to 1.05, indicating a moderated risk level; the incidence rate of gray mold during vase period reduced from 30.0% to 10.0%. In conclusion, using this prediction model for early prevention and control can prevent the spread of disease in advance, providing support for the monitoring and scientific control of rose fungal disease.

Keywords cut rose; protected production; gray mold; monitoring; prevention

月季(*Rosa* spp.)是蔷薇科蔷薇属植物,其花色丰富、花形多样,是中国传统十大名花之一,有“花中皇后”的美称^[1]。月季切花是世界第一大切花,占全球销售额的32%,其采后品质直接决定商品价值^[2]。灰霉病是由灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)侵染引起的一种真菌病害,可使花瓣变褐色、腐烂、萎蔫,直至整个花朵褐变枯萎,是月季采后最严重的病害之一,被称为月季切花采后的“癌症”^[3-4]。我国月季切花存在产销地分离问题,平均运输半径达3 000 km。低温高湿的运输环境提供了适宜灰霉菌分生孢子萌发的环境条件,一旦在贮运前灰霉菌没有有效抑制,在采后运输过程中将大量爆发。目前,生产上主要通过采前喷施化学药剂和采后蘸头处理来防止采后运销过程中的灰霉病爆发。然而,长期泛滥地使用化学药剂不仅会造成环境的污染和破坏,还使灰霉菌对生产上常用的杀菌剂产生了抗药性^[5-6],增加了生产成本^[7]。

近年来,作物病害监测预警发展迅速^[8],主要集中在小麦和玉米等作物上。有研究基于漯河市小麦主要病害的田间流行趋势和流行因素,运用加权列联表分析法和逐步回归等方法,建立了小麦主要病害的预测模型^[9];也有基于天台县1973—2018年测报历史资料与气象资料,进行小麦赤霉病发生因子分析,建立了小麦赤霉病病穗率的回归预测模型^[10]。此外,有研究将气象因子和田间实际病情结合,监测小麦白粉病菌分生孢子在空气中的季节性

和日变化动态,建立了基于气象因子和孢子浓度的小麦白粉病预测模型^[11-12];有研究基于巢湖市小麦赤霉病的田间流行趋势、流行因素,运用加权列联表分析法,分别在秸秆还田前后对小麦赤霉病害建立了预测模型^[13];还有研究利用固定式孢子捕捉器捕捉空气中玉米大斑病菌分生孢子并通过显微镜计数,明确了田间玉米大斑病菌孢子浓度动态变化规律,构建了玉米大斑病田间流行时间动态模型^[14]。这些监测预警对于作物病害科学精准防控,减少农药使用量具有重要作用。但是在月季切花生产中,关于灰霉病害监测的研究还鲜见报道。

本研究以‘粉蝴蝶’‘雪山’为材料,从温室内温度、相对湿度、病情指数以及雨日雨量等多因子角度解析温室月季灰霉病发生规律,通过数据分析确定各影响因子权重系数,建立预测模型预测未来几天设施栽培中灰霉病的发病风险及严重程度;通过对比防治试验确定防治时期,根据气象因子预测模型,在高发病风险前进行早期喷雾防治,提早遏制月季设施栽培中的病害扩散,以期达到节本增效的目的,为月季真菌病害的监测与科学防治提供实践指引,进而促进云南月季切花产业绿色发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于2020年4—10月在云南省红河州弥勒县弥勒品元园艺有限公司进行,弥勒县年均气温

16.6~18.0℃,相对湿度50%~80%。月季切花品种为‘粉蝴蝶’‘雪山’,株龄2年。采用双行三角形种植方式,株距18 cm,封闭式水肥系统每日4~6次给予水肥。选择萼片完全打开、无病害的花枝进行采收,用于贮藏和瓶插。

1.2 试验设计

1.2.1 设施栽培中不同发病情况月季的瓶插试验

设置品种、病情指数和采后贮藏时间3个因子,供试品种为‘粉蝴蝶’‘雪山’。病情指数设2个水平,分别为低病情指数预测值(L)和高病情指数预测值(H);采后贮藏时间设3个水平,分别是模拟运输1 d(M1)、模拟运输1 d+冷库贮藏5 d(M2)和模拟运输1 d+冷库贮藏10 d(M3)。使用密闭不透明纸箱在冷库内黑暗模拟运输,之后取出清水瓶插。每天记录灰霉病发生情况、花叶状态并拍照。冷库环境:温度4~6℃,相对湿度80%。瓶插环境:温度20℃,相对湿度60%。

1.2.2 药物防治对比试验

设置品种、防治措施2个因子,供试品种为‘粉蝴蝶’‘雪山’。防治措施分别是:对照:不采取任何防治措施,清水喷施;早期防治:根据预测模型及天气预报,利用公式预测短期内的病情指数,在预测值达到最高的前3 d,每天用啮酰菌胺1 500倍液和啞霉胺1 000倍液交替喷雾1次进行化学药剂防治;常规防治:每天用啮酰菌胺1 500倍液和啞霉胺1 000倍液交替喷雾1次进行化学药剂防治,直到到达预测的最高病情指数当天为止。每个品种在温室栽培区选定出3块小区,每个小区长约49 m,宽约12 m,小区与小区之间间隔约5 m,防止各小区之间的相互影响。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 取样方法

根据病情指数,从未处理或处理的小区内随机剪取20枝长势整齐、无病害且萼片完全打开的花

枝,剪去枝条下半部叶片,保留4~5叶,在水中斜切,使花枝长度尽量一致;每枝编号,在清水中瓶插,观察月季瓶插寿命。记录取样日温室内的病情指数、发病率、温度、相对湿度、近一周病情状况以及温室外近一周雨日、雨量等。

1.3.2 田间灰霉病病情调查方法

采用对角线五点取样法^[15],即一块田地对角线的交点以及交点与各边四点的中点。调查小区长约49 m,宽约48 m,面积约为2 352 m²,统计五点的总数据,记录‘粉蝴蝶’‘雪山’灰霉病发病率情况。灰霉病发病率统计以株为单位,每点调查20株(花朵开放级数≥2级),总共调查100株,统计发病率。调查发病率的同时记录每天降水量数据,测定每日温室内花朵层上方20 cm处的平均温度和湿度。

1.3.3 灰霉病病害分级标准

参照《GB/T 17980.28—2000 中华人民共和国国家标准农药田间药效试验准则(一)杀菌剂防治蔬菜灰霉病》^[16],同时结合弥勒品元园艺有限公司月季切花的实际发病情况,制定出适宜该公司的灰霉病病害分级标准。0级:花瓣无病斑;1级:病斑面积占花瓣总面积小于5%;2级:病斑面积占花瓣总面积的5%~10%;3级:病斑面积占花瓣总面积的10%~25%;4级:病斑面积占花瓣总面积的25%~50%;5级:病斑面积占花瓣总面积的50%~75%;6级:病斑面积占花瓣总面积大于75%,且病害蔓延至花瓣基部,伴有落瓣现象。以‘粉蝴蝶’为例制定月季灰霉病级划分参照图(图1)。

1.3.4 病情指数

利用病情指数公式来衡量群体发病程度。计算公式如下:

$$\text{病情指数(SI)} = \frac{\sum(\text{病级值} \times \text{该级发病数})}{\text{最高病级值} \times \text{调查总数}} \times 100 \quad (1)$$

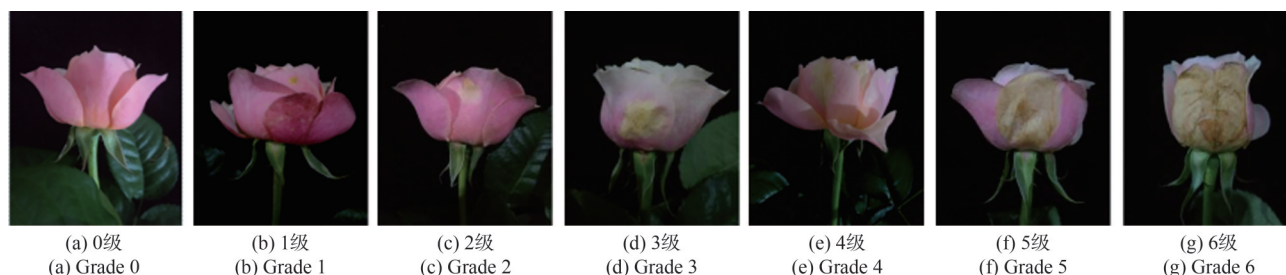


图1 月季灰霉病等级划分标准

Fig. 1 The classification standard of rose gray mold

1.4 数据处理

对原始数据进行标准化或归一化处理,利用Excel 2016进行数据处理和图表绘制,通过SPSS 24.0统计分析软件进行回归分析并建立预测模型。

2 结果与分析

2.1 月季灰霉病预测模型建立与分析

为了探究设施栽培中灰霉病的发病情况与环境因子的关系,对温室内月季‘粉蝴蝶’进行了47 d的灰霉病发生情况调查,同时记录了雨日、降水量、温室内温度和相对湿度等环境因子,利用Excel 2016软件绘制统计图(图2)。温室内相对湿度与降水量密切相关,总体上呈正相关;并且温室内相对湿度与灰霉病发病率几乎同步变化。表明设施栽培中灰霉病发生动态与气象因素密切相关,灰霉病发病率变化总是随降雨天气呈现一个规律的消长现象,与温室内相对湿度存在正相关关系。

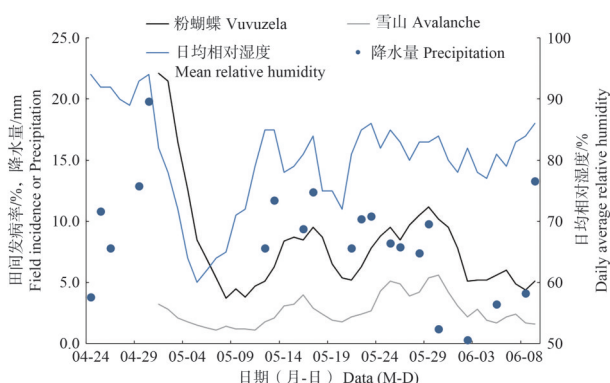


图2 温室内相对湿度对月季灰霉病发病率的影响

Fig. 2 The influence of relative humidity in the greenhouse on the incidence of gray mold

为进一步量化降水量、温室内温度和相对湿度对设施栽培中灰霉病病情指数的影响,本研究调查了品元基地5—8月份‘粉蝴蝶’设施栽培中的病情指数以及气象因子变化,包括7 d内雨日、累计降水量和平均温度、平均相对湿度(表1)。7 d内平均相对湿度和病情指数呈正线性相关,随着相对湿度的增大,病情指数也升高,当相对湿度>80%时,病情指数呈一个较高值;而7 d内平均温度与病情指数呈负相关,当温度降低,病情指数升高,当温度低于22℃时,病情指数显著升高。这与月季灰霉病低温高湿的发生条件一致,综合线性回归分析结果(表2),当温室内日均温度在18~23℃,相对湿度>80%时,灰霉病容易爆发。

参照贺兰山东麓酿酒葡萄霜霉病预测模型的建立方法^[17],基于2020年品元基地5—8月‘粉蝴蝶’设施栽培中的病情指数,以及调查日前7 d温室内日均气温平均值、日均相对湿度平均值和温室外雨日、累计雨量(表1),利用SPSS 24.0软件进行线性分析(表3),得出品元基地‘粉蝴蝶’灰霉病病情指数与气象因子之间的回归方程,即预测模型公式为:

$$Y=1.612-0.316X_1+9.302X_2-0.025X_3-0.292X_4 \\ (R^2=0.957, P<0.05) \quad (2)$$

式中:Y为调查日病情指数; X_1 为调查日前7 d日均温度的平均值,℃; X_2 为调查日前7 d日均相对湿度的平均值,%; X_3 为调查日前7 d的累计降雨量,mm; X_4 为调查日前7 d的累计雨日,d。

根据表2和公式2,将调查日前7 d日均温度、日均相对湿度、累计雨量和雨日作为自变量,将病情指数作为因变量进行线性回归分析,模型 $R^2=0.957$,经过计算模型通过F检验($F=55.416, P<0.05$),即说明模型构建有意义。均温的回归系数值为-0.316($t=-4.016, P=0.002<0.01$),会对病情指数产生显著的负向影响关系;平均相对湿度的回归系数值为9.302($t=2.242, P=0.049<0.05$),会对病情指数产生显著的正向影响关系;累计雨量的回归系数值为0.025($t=1.959, P=0.079>0.05$),雨日的回归系数值为-0.292($t=-1.509, P=0.162>0.05$),两者均不会对病情指数产生影响。

总体分析可得出平均温度和平均相对湿度均对灰霉病病情指数有显著影响,预测模型一定程度上符合灰霉病低温高湿条件的发病特征,而雨日和累计雨量不存在绝对影响。故在生产上利用预测模型进行病害预测时,可按实际情况对雨日、雨量因素进行取舍,尤其是雨日因子,短时间降雨不会对空气湿度造成很大影响。综上所述,将“雨日”因子去除,把4因子公式优化为3因子公式,优化后再次通过线性回归分析得到的模型方程为:

$$Y=4.761-0.332X_1+4.930X_2+0.015X_3 \\ (R^2=0.947, P<0.05) \quad (3)$$

为了对预测模型的有效性进行分析,参照前人^[18-19]对预测模型准确度的分析方法,主要使用平均绝对误差(MAE)和平均绝对百分误差(MAPE)的误差分析,具体公式如下:

表1 降水量及温室内温湿度对月季‘粉蝴蝶’灰霉病病情指数的影响

Table 1 The influence of rainfall, temperature and relative humidity on gray mold disease index of rose ‘Vuvuzela’

日期(月-日)	雨日/d	累计雨量/mm	平均温度/℃	平均相对湿度/%	病情指数
Date(M-D)	Rainy day	Cumulative rainfall	Mean temperature	Mean relative humidity	Disease index
05-01	5	55.1	17.9±2.1	92.0±1.9	4.42
05-09	0	0.0	26.2±1.5	66.4±6.3	0.11
05-18	4	44.5	24.9±1.8	81.6±3.0	1.22
05-26	4	36.6	23.6±1.3	80.9±5.4	1.18
06-02	4	26.3	21.9±1.3	81.6±2.2	1.83
06-09	3	7.6	24.1±1.2	80.6±2.6	0.83
06-19	5	38.5	20.4±2.0	89.6±4.0	3.22
06-30	1	2.5	24.2±0.8	72.0±2.9	0.38
07-08	1	3.2	24.9±0.9	68.4±2.3	0.15
07-17	4	32.3	22.0±1.6	84.0±3.6	2.05
07-26	1	8.7	24.2±1.0	70.0±4.1	0.15
08-02	2	11.5	23.7±0.5	71.4±2.0	0.31
08-10	2	9.5	23.9±0.6	72.4±1.0	0.16
08-19	6	48.2	20.8±0.6	86.6±4.6	2.92
08-27	2	12.8	23.1±1.4	75.1±2.9	0.22

注:病情指数为调查日当天‘粉蝴蝶’设施栽培中灰霉病发病指数,平均温度、平均相对湿度为调查日前7 d日均温度、相对湿度的平均值,累计雨量、雨日为调查日前7 d的总和。

Note: The disease index is the incidence index of gray mold in protected cultivation of ‘Vuvuzela’ on the day of the survey. The mean temperature and relative humidity are the average daily mean temperature and relative humidity for the 7 days before the survey. The cumulative rainfall and rainy days are the sum of the 7 days before the survey.

表2 线性回归分析结果

Table 2 Linear regression analysis results

气象因子	非标准化系数				
Meteorological factor	Non-normalized coefficients	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>R</i> ²	<i>F</i>
常数					
Constant	1.612	0.390	0.704		
日均温度					
Mean temperature	−0.316	−4.016	0.002**		
日均相对湿度					
Mean relative humidity	9.302	2.242	0.049*	0.957	<i>F</i> =(4,10)=55.416, <i>P</i> <0.05
累计雨量					
Cumulative rainfall	0.025	1.959	0.079		
雨日					
Rainy day	−0.292	−1.509	0.162		

注:*和**分别表示差异显著(*P*<0.05)和极显著(*P*<0.01)。 *n*=15。

Note: * and ** represent significant difference and extremely significant difference 0.05 and 0.01 levels, respectively. *n*=15.

表3 ‘粉蝴蝶’设施栽培灰霉病病情指数等级

Table 3 Prediction grade of gray mold disease index in protected cultivation of ‘Vuvuzela’

综合指标 Comprehensive index	病害等级 Grade of disease				
	0	1	2	3	4
发病程度 Disease severity	不易发生病害 ($x < 2\%$)	轻度病害 ($2\% < x < 5\%$)	中度病害 ($5\% < x < 10\%$)	重度病害 ($10\% < x < 20\%$)	严重病害 ($x > 20\%$)
病情指数 Disease index	< 0.33	$0.33 \sim 0.83$	$0.83 \sim 1.67$	$1.67 \sim 3.33$	> 3.33

注: x 表示发生灰霉病害的花朵数量。

Note: x stands for the number of flowers with gray mold disease.

$$MAE = \frac{\sum |X_i - A_i|}{n} \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|X_i - A_i|}{X_i}}{n} \quad (5)$$

式中: n 为观测值和预测值对应的组数; X_i 表示实际观测值; A_i 表示模型预测值。

研究发现,外部气象条件与温室气象条件有较强相关性^[20]。基于品元基地2020年9—10月份的气象数据,用室外的温度和相对湿度代替温室内的温度和相对湿度,利用优化后的模型公式3计算得出灰霉病病情指数预测值,同时进行实际观测,统计设施栽培中的灰霉病病情指数(图3),并计算MAE和MAPE。结果发现,平均绝对误差=0.20,平均绝对百分误差=0.31,整体上预测值与观测值间差异较小。

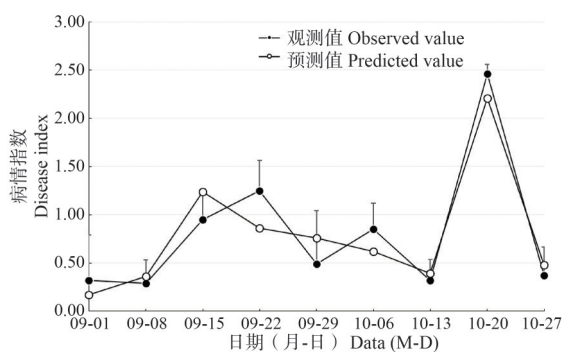


图3 ‘粉蝴蝶’设施栽培中灰霉病病情指数预测值和观测值的对比

Fig. 3 Predicted and measured values of gray mold index in protected cultivation of ‘Vuvuzela’

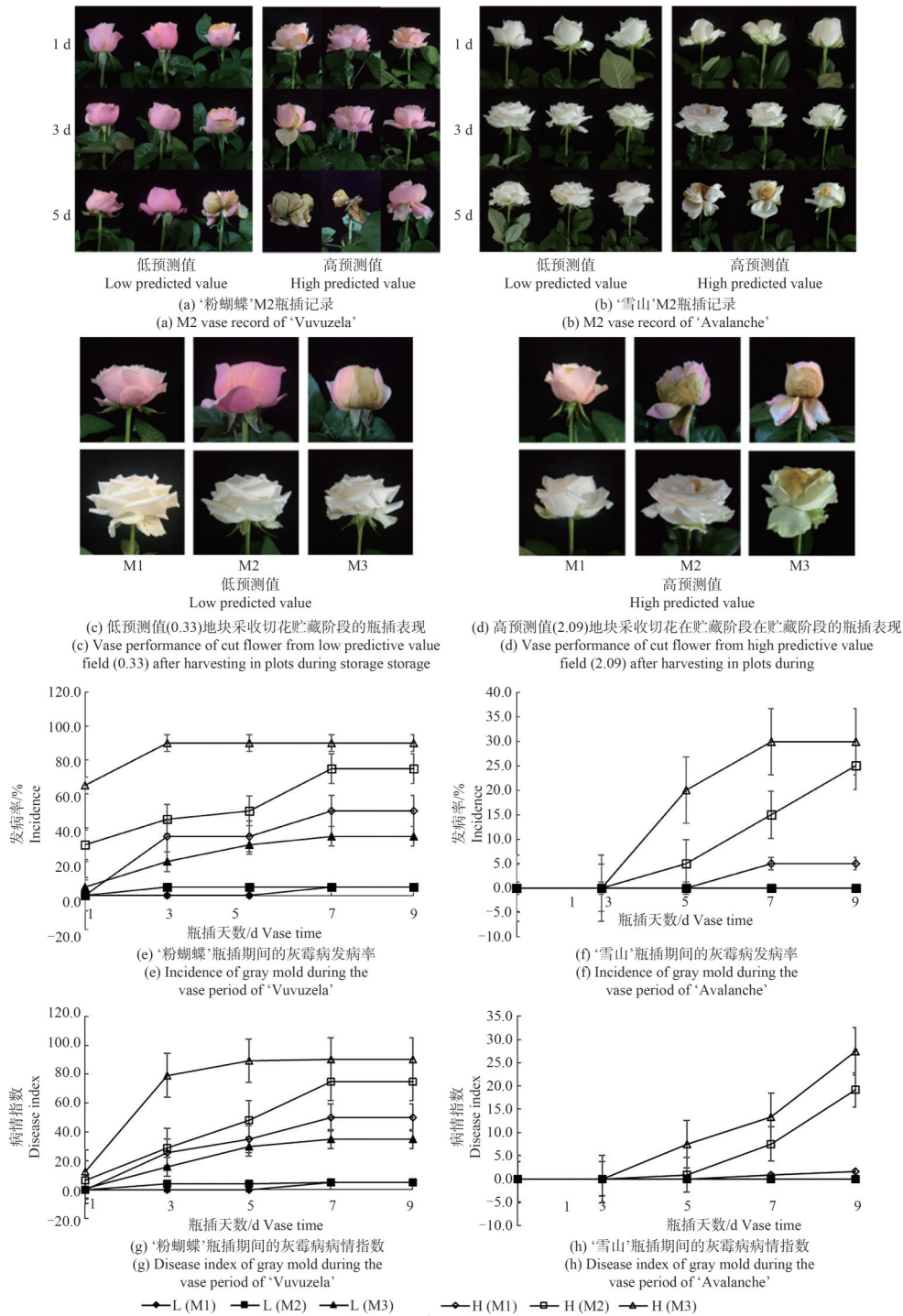
2.2 月季设施栽培灰霉病染病情况对采后发病情况的影响

为了更好地利用月季切花设施栽培灰霉病预

测模型,根据灰霉病实际发病情况,对预测的病情指数进行分级(表3)。其中,病情指数预测值在0.33~0.83为轻度病害,0.83~1.67为中度病害,1.67~3.33为重度病害,3.33以上为严重病害。分别从低预测值(0.33)和高预测值(2.09)地块剪取10枝长势整齐且无病害的‘粉蝴蝶’‘雪山’进行采后模拟贮运及瓶插,观察期间灰霉病的发病情况(图4)。在相同的处理条件下,高预测值地块的‘粉蝴蝶’‘雪山’的灰霉病发病率要显著高于低预测值地块(图4(a)~(d))。随着冷库贮藏时间的延长,无论预测值的高低,‘粉蝴蝶’采后瓶插期灰霉病发病率都在冷库贮藏10 d处理下达到最高值,其次为冷库贮藏5 d处理(图4(e))。值得注意的是,低预测值条件(0.33)下,‘粉蝴蝶’模拟运输1 d以及模拟运输1 d加冷库贮藏5 d处理均只有5.0%的发病率,而冷库贮藏时间增加到10 d时,发病率急剧增高到35.0%(图4(e))。延长冷库贮藏时间,低预测值的‘雪山’仍无灰霉病发生(图4(f))。高预测值(2.09)的‘雪山’瓶插结果与‘粉蝴蝶’相似,总体来看发病率由5.0%升高到30.0%,但在冷库贮藏时间延长到5 d时就表现出发病率的大幅上升(图4(f))。综上所述,月季设施栽培期间的发病情况会对贮藏以及瓶插期间灰霉病发病率产生影响,不同贮藏时间下,高预测值地块(2.09)切花在贮藏以及瓶插期的灰霉病发病率均高于低预测值地块(0.33)切花。

2.3 月季设施栽培灰霉病早期防治的效果分析

由于设施栽培期间的灰霉病发病情况直接影响采后贮藏和瓶插期间灰霉病发病率和感病指数,本研究基于月季设施栽培灰霉病预测模型设计了早期防治方案,即在病害流行前及时采取防治措施,观察其对灰霉病发病率的影响。试验材料取自



L表示低病情指数预测值(0.33);H表示高病情指数预测值(2.09);M1表示模拟运输1 d;M2表示模拟运输1 d+冷库贮藏5 d;M3表示模拟运输1 d+冷库贮藏10 d。

L stands for low disease index prediction value (0.33);H stands for high disease index prediction value (2.09),M1 stands for simulated transportation for 1 day;M2 stands for simulated transportation for 1 day and cold storage for 5 days ; M3 stands for simulated transportation for 1 day and cold storage for 10 days.

图4 不同病情指数预测值对采后贮藏及瓶插期间月季切花灰霉病发病率及病情指数的影响

Fig. 4 Effects of different predicted values of disease indexes on incidence and disease index of gray mold during storage and vasing of cut rose 'Vuvuzela' and 'Avalanche'

2020年11月5日,以‘粉蝴蝶’为例,在取样日之前根据天气预报数据计算所得的病情指数预测值为2.49。在实际取样时,对照组‘粉蝴蝶’的总发病率为9.8%,病情指数为2.33,与预测值相差不大,均处于重度病害风险级别;常规防治处理组的发病率为4.9%,病情指数为1.17;早期防治处理组发病率为5.2%,病情指数为1.05。常规防治和早期防治处理均能有效降低发病率和发病程度,将重度病害等级降低为中度等级。随后的瓶插测试发现(图5),常规防治和早期防治处理有效降低了瓶插期间

灰霉病发病率和发病程度。在‘粉蝴蝶’中,对照处理在瓶插第3天发病率达到10.0%,瓶插第9天发病率升高至30.0%;常规防治处理与早期防治处理前期不发病,在瓶插第9天发病率分别达到13.3%和10.0%。‘雪山’对照组在瓶插第9天发病率达到25.0%;同时,常规防治和早期防治处理的发病率也在瓶插第9天达到峰值,分别为6.7%和5.0%。以上结果表明,早期防治能够有效降低设施栽培和采后期间灰霉病病害的发病率,效果与每天防治处理相当。

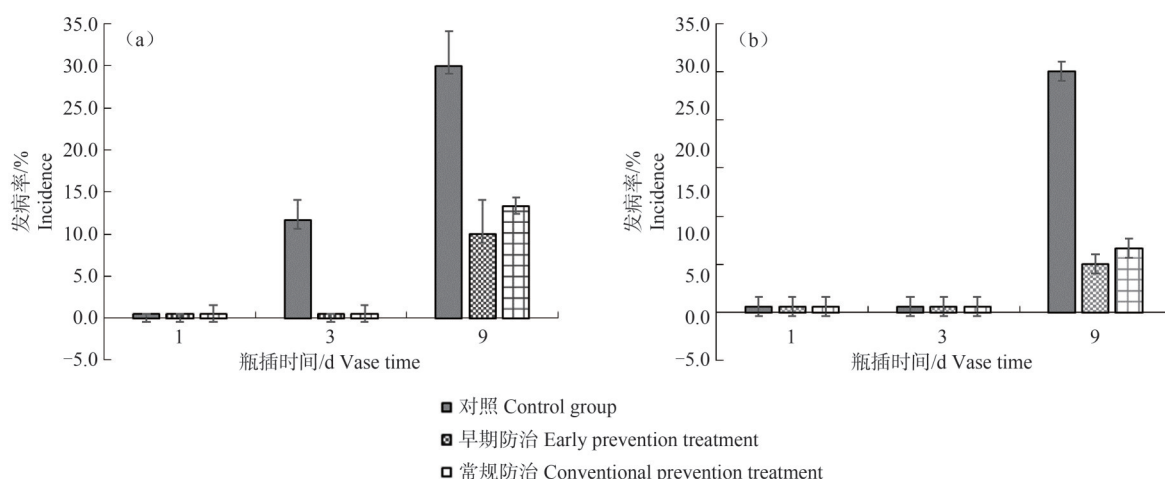


图5 早期防治对‘粉蝴蝶’(a)‘雪山’(b)瓶插期灰霉病发病率的影响

Fig. 5 Effect of early prevention on the incidence of gray mold during vase period of ‘Vuvuzela’ (a) and ‘Avalanche’ (b)

3 讨论与结论

真菌病害的发生与温度、湿度、日照和降雨等环境因素密切相关,灰霉病病原孢子主要通过空气和液体传播,其生长需要过程,在相对低温、高湿条件下易于萌发^[21]。本研究发现月季灰霉病发生动态与温室内温度、相对湿度和降雨量等天气因子具有显著相关性,当温室内日均温度在18~23℃,相对湿度>80%时,灰霉病容易爆发,与前人发现的灰霉病菌孢子萌发最适条件一致^[22]。掌握病原菌生物学特性和病害发生条件,理论上便可对病害发生概率进行预测^[23]。目前国内已有病菌孢子捕捉仪应用于水稻、小麦以及蔬菜的病害监测研究,为病害的自动化诊断和及时有效监测提供了有效手段^[24]。但是,病原孢子由于自身发育或外界的影响会出现形态变异或部分残缺的现象^[25],气候因素也会使未发育成熟的病原体被识别到,这些因素导致

设备工作时识别困惑、误判,降低了监测预警的准确性,因此还需人工进行田间实际情况监测以及显微镜观察以验证病菌孢子捕捉仪的识别和统计精度,最终数据统计还需结合气象和植物生长情况进行综合分析,这就要求更高的专业技能和大量的时间。同时,分子技术已应用于对作物病害的监测,监测菌源量的方法主要有qPCR和数字PCR^[26]。基于qPCR方法,建立了田间小麦叶片中条锈菌DNA量的监测方法^[27];明确了田间空气中小麦白粉病菌和条锈病菌孢子浓度的动态变化规律以及陇南地区小麦条锈病菌夏孢子密度的周年规律^[28-29]。利用分子技术进行病害监测预警能够及时准确地监测到潜育期的病原菌,可以提前指导作物病害的田间防控,但在田间应用时,尤其在病害处于潜育阶段时,存在样本大小和取样方式等问题。不仅如此,利用分子技术进行病害监测预警所用试剂和仪器昂贵,以目前的条件难以实现,且操作较

为复杂,对于基层的植保人员来说有一定难度。利用气象因素构建预测模型进行病害监测,算法简便,不需要昂贵的试剂盒仪器,对基层植保技术人员要求不高,可以有效地掌握设施栽培期间的病害发生动态,预测病情指数,提早规划,更灵活地制定防治时间、频率以及药剂种类等具体细则,节省大量的人力、物力,提高工作效率,在黄瓜、葡萄和番茄等园艺作物上已有许多研究^[30-32]。本研究以平均温度、湿度为主要变量建立月季灰霉病预测模型,通过对预测值和实际值的误差分析,以及不同预测值地块切花的瓶插灰霉发病率统计,证明月季切花设施生产灰霉病预测模型可用于实际生产。

目前,防治月季灰霉病主要依靠喷施化学药剂,而化学药剂的防治存在很多缺点。以品元基地为例,其在每天17:00~20:00进行药物喷施,但是普遍存在用药量大、容易使病菌产生抗药性和环境污染大等问题。因此,如果能在前期对月季灰霉病进行监测和防治,破坏病原孢子的萌发,改善施药方案、缩减用药成本,降低月季切花采后灰霉病造成的损失,将极大地促进月季切花产业的发展。本研究利用月季灰霉病预测模型结合天气预报信息,在灰霉病爆发前采取早期药剂防治处理,有效控制了采后病害的发生,既节省防治成本,又减少生产损失;既降低对环境的污染,又可避免病原菌产生抗药性。未来也可以与计算机结合形成信息网络对病害进行预报和监测。另一方面,在环境控制水平较高的温室中,可根据预测模型,提前采取加温降湿等措施,破坏灰霉孢子萌发所需要的环境条件,达到减少用药量、降低灰霉病发病率的目标。

综上,通过月季切花设施生产灰霉病预测模型对病情指数的预测,结合早期药剂喷施,可有效降低设施栽培中的灰霉病病情指数,提早遏制病害扩散,减轻灰霉病爆发引起的切花采后损耗。同时还减少了农药用量和用工成本,降低了面源污染,促进了云南地区月季切花产业节本增效和绿色发展。

参考文献 References

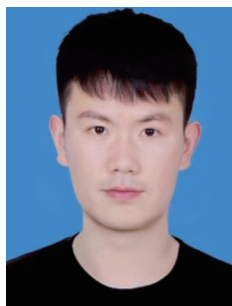
- [1] 贺蕊,杨希,刘青林. 月季育种的国内现状和国际趋势[J]. 中国园林, 2017, 33(12):35-41
He R, Yang X, Liu Q L. Domestic status and international trend for rose breeding[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2017, 33(12): 35-41 (in Chinese)
- [2] 张双艳,孟静,韩洋琳,吴红芝. 云南地区月季灰霉病原菌的分离鉴定[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2019, 45(6): 692-698
Zhang S Y, Meng J, Han Y L, Wu H Z. Isolation and identification of gray mold pathogens on roses in Yunnan area[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences*, 2019, 45(6): 692-698 (in Chinese)
- [3] 郎立新,蒋兰玲. 切花月季温室灰霉病[J]. 中国花卉园艺, 2006(20): 41
Lang L X, Jiang L L. Gray mold of cut rose in greenhouse[J]. *China Flowers & Horticulture*, 2006(20): 41 (in Chinese)
- [4] 陈宇春,陈敏,王其刚,晏慧君,唐开学,邱显钦. 植物灰霉病及抗性研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(15): 42-51, 63
Chen Y C, Chen M, Wang Q G, Yan H J, Tang K X, Qiu X Q. Research progress on plant gray mold and its resistance[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(15): 42-51, 63 (in Chinese)
- [5] 周明国,叶钟音,刘经芬. 南京市郊灰霉菌对苯并咪唑类杀菌剂田间抗性的检测[J]. 南京农业大学学报, 1987, 10(2):53-58
Zhou M G, Ye Z Y, Liu J F. Detection of resistance of grey mold (*Botrytis cinerea*) to benzimidazoles in the field[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1987, 10(2): 53-58 (in Chinese)
- [6] 刘波,叶钟音,刘经芬,周明国. 对多菌灵、速克灵具多重抗性的灰霉病菌菌株性质的研究[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(3): 50-54
Liu B, Ye Z Y, Liu J F, Zhou M G. Studies on multiple resistant strain *Botrytis cinerea* to carbendazin and dicarboximide[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1993, 16(3): 50-54 (in Chinese)
- [7] 包颖. 月季‘萨曼莎’遗传转化体系建立及野蔷薇抗白粉病相关基因的表达分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013
Bao Y. Establishment of genetic transformation system in *Rosa hybrid* ‘samantha’ and expression analysis of powdery mildew resistance related genes in *Rosa multiflora*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013 (in Chinese)
- [8] 胡小平,卢雪敏,马丽杰,黄冲,周益林,徐向明. 作物病害监测预警研究进展[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 298-315
Hu X P, Hu X M, Ma L J, Huang C, Zhou Y L, Xu X M. Research progress in monitoring and prediction of crop diseases[J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49(1): 298-315 (in Chinese)
- [9] 郭春强. 漯河市小麦主要病害的预测模型研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007
Guo C Q. Studies on the models for prediction of main diseases in wheat filed in Luohe[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2007 (in Chinese)
- [10] 陈将赞,戴以太,杨廉伟. 小麦赤霉病穗率的预测模型[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(1): 93-94
Chen J Z, Dai Y T, Yang L W. Prediction model of ear rate of wheat scab[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 60(1): 93-94 (in Chinese)
- [11] Cao X R, Duan X Y, Zhou Y L, Luo Y. Dynamics in concentrations of *Blumeria graminis* f sp *tritici* conidia and its relationship to local weather conditions and disease index in wheat[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 132(4): 525-535
- [12] 刘伟,姚冬明,范洁茹,曹学仁,陈莉,丁克坚,周益林,邹亚飞,段霞瑜. 田间空气中小麦白粉菌分生孢子的动态监测研究[J]. 植物病理学报, 2016, 46(1): 112-118

- Liu W, Yao D M, Fan J R, Cao X R, Chen L, Ding K J, Zhou Y L, Zou Y F, Duan X Y. Dynamic monitoring of aerial conidia of *Blumeria graminis* f sp *tritici* in wheat fields [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2016, 46(1): 112-118 (in Chinese)
- [13] 张新. 巢湖市小麦赤霉病预测模型研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2021
- Zhang X. Research for wheat gibberellic disease forecast model in Chaohu City[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2021 (in Chinese)
- [14] 于舒怡. 辽宁玉米叶部病害田间流行动态及预测模型研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011
- Yu S Y. Studies on the field epidemiology of maize leaf spots and development of forecast and precaution model in Liaoning Province[D]. Shenyang Agricultural University, 2011 (in Chinese)
- [15] 王继英, 罗金燕, 高宇, 俞懿, 韩双, 魏丹, 王杏娟, 徐华. 新型病菌孢子捕捉仪在设施黄瓜病害预测中的应用[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(9): 56-58
- Wang J Y, Luo J Y, Gao Y, Yu Y, Han X S, Wei D, Wang X J, Xu H. Application of a new pathogen spore catcher in cucumber disease prediction in protected facilities[J]. *China Plant Protection*, 2016, 36(9): 56-58 (in Chinese)
- [16] GB/T 17980. 28-2000. 中华人民共和国国家标准农药田间药效试验准则(一)杀菌剂防治蔬菜灰霉病[S]. 北京: 农业农村部, 2000
- GB/T 17980. 28-2000. Pesticide-Guidelines for the field efficacy trials(I)-Fungicides against grey mould of vegetables [S]. Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2000 (in Chinese)
- [17] 王国珍, 樊仲庆, 麻冬梅, 张小波, 郭惠萍. 贺兰山东麓酿酒葡萄霜霉病流行规律及测报技术[J]. 植物保护, 2004, 30(4): 54-56
- Wang G Z, Fan Z Q, Ma D M, Zhang X B, Guo H P. Studies on the epidemical regularity and prediction technology of grape downy mildew disease in Eastern Helan Mountain [J]. *Plant Protection*, 2004, 30(4): 54-56 (in Chinese)
- [18] Orlandini S, Massetti L, Dalla Marta A. An agrometeorological approach for the simulation of *Plasmopara viticola* [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, 64(2): 149-161
- [19] 肖悦岩. 预测预报准确度评估方法的研究[J]. 植保技术与推广, 1997, 17(4): 3-6
- Xiao Y Y. The studies on the reliability evaluation of pest prediction and forecasting [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 1997, 17(4): 3-6 (in Chinese)
- [20] 崔建云. 外部气象条件对温室气象条件影响试验研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2006
- Cui J Y. Experimental studies about impacts of meteorological conditions outside greenhouse on conditions inside greenhouse [D]. Lanzhou University, 2006 (in Chinese)
- [21] Williamson B, Duncan G H, Harrison J G, Harding L A, Elad Y, Zimand G. Effect of humidity on infection of rose petals by dry-inoculated conidia of *Botrytis cinerea* [J]. *Mycological Research*, 1995, 99(11): 1303-1310
- [22] 孟祥东, 傅俊范, 周如军, 严雪瑞. 保护地主要园艺作物灰霉病菌生物学特性比较研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(3): 322-326
- Meng X D, Fu J F, Zhou R J, Yan X R. Comparison to biological characteristics of *Botrytis cinerea* strains from important horticulture crops in greenhouse [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2007, 38(3): 322-326 (in Chinese)
- [23] Caffi T, Rossi V, Lusitani M. Long-term survival of *Plasmopara viticola* oospores [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2011, 67: 111-114
- [24] 夏菲, 邵金丽, 戴子云, 车少臣. 孢子捕捉仪在在园林植物病害监测上的应用研究[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(7): 68-70
- Xia F, Shao J L, Dai Z Y, Che S C. Study on the application of spore catcher in the monitoring of garden plant diseases [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2018, 24(7): 68-70 (in Chinese)
- [25] 曹学仁, 周益林, 段霞瑜. 定容式孢子捕捉器在植物病害流行病学研究中的应用[C]//中国植物病理学会2008年学术年会论文集. 广州: 中国农业科学技术出版社, 2008: 524-527
- Cao X R, Zhou Y L, Duan X Y. The application of volumetric spore trap in plant disease epidemiology [C]. In: *Proceedings of 2008 Annual Academic Conference of Chinese Society of Plant Pathology*. Guangzhou: China Agricultural Science and Technology Press, 2008: 524-527 (in Chinese)
- [26] 曹学仁, 周益林. 基于PCR技术的植物病原菌分子定量检测技术研究进展[J]. 植物保护, 2020, 46(4): 7-11
- Cao X R, Zhou Y L. Research progress in quantitative detection of plant pathogens using PCR technique [J]. *Plant Protection*, 2020, 46(4): 7-11 (in Chinese)
- [27] 潘娟娟, 骆勇, 黄冲, 孙振宇, 赵磊, 闫佳会, 马占鸿. 应用 real-time PCR 定量检测小麦条锈菌潜伏侵染量方法的建立[J]. 植物病理学报, 2010, 40(5): 504-510
- Pan J J, Luo Y, Huang C, Sun Z Y, Zhao L, Yan J H, Ma Z H. Quantification of latent infections of wheat stripe rust by using real-time PCR [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2010, 40(5): 504-510 (in Chinese)
- [28] 谷医林, 王翠翠, 初炳瑶, 骆勇, 马占鸿. 甘谷县春季空气中小麦条锈菌孢子动态的监测及其与气象因素的相关性分析[J]. 植物保护学报, 2018, 45(1): 161-166
- Gu Y L, Wang C C, Chu B Y, Luo Y, Ma Z H. Dynamic of airborne spores of *Puccinia striiformis* f sp *tritici* and its correlation with meteorological factors in spring in Gangu County [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(1): 161-166 (in Chinese)
- [29] 郭丽丽, 卢雪敏, 张升恒, 李颖, 伏松平, 范三红, 胡小平. 陇南小麦条锈菌夏孢子的周年动态变化规律[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(10): 1257-1262
- Guo L L, Hu X M, Zhang S H, Li Y, Fu S P, Fan S H, Hu X P. Annual dynamic of urediniospore of *Puccinia striiformis* f sp *tritici* in Longnan [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(10): 1257-1262 (in Chinese)
- [30] 刘凯歌. 日光温室黄瓜三种主要病害预测模型研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2022
- Liu K G. Study on prediction model of three main diseases of cucumber in solar greenhouse [D]. Shihezi: Shihezi University, 2022 (in Chinese)
- [31] 尹哲, 李金萍, 郭喜红, 侯峥嵘. 北京地区春季大棚番茄灰霉病发生规律分析及预测模型构建[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(13): 3356-3358, 3363
- Yin Z, Li J P, Guo X H, Hou Z R. Analysis of spreading regularity and construction prediction model of tomato gray mold in green house in the

- spring in Beijing[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2016, 55(13): 3356-3358, 3363 (in Chinese)
- [32] 徐丹丹, 韩亭宇, 梁燕燕, 金萌, 王琦, 高灵旺. 北京市延庆区葡萄霜霉病流行规律及预测模型的检验[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(13): 133-140
- Xu D D, Han T Y, Liang Y Y, Jin M, Wang Q, Gao L W. Epidemic

regularity and two prediction models of *plasmopara viticola* in Yanqing of Beijing[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(13): 133-140 (in Chinese)

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 李焱, 硕士研究生, 于中国农业大学园艺学院攻读观赏园艺专业, 研究方向为观赏植物花朵发育生理与品质调控。2021年连续获得中国农业大学硕士一等学业奖学金、校三好学生。参与科技部重点基础研究课题“主要花卉重要性状形成与调控”的研究。



通讯作者简介: 高俊平, 中国农业大学园艺学院教授。致力于月季低损优质高产的理论创新与技术研发, 揭示了月季花朵衰老的分子生理机制, 创建了月季高效低损采后保鲜技术; 揭示了月季成花的分子机制, 创新了快速成花高产优质栽培管理技术; 有效解决了月季切花采后损耗大、产量低和品质差的产业难题, 为我国月季产业发展做出了重要贡献。在 *Nature Plants*、*Plant Cell* 等学术刊物上发表论文 156 篇; 主持制定国家、行业及地方标准 12 项; 授权国家发明专利 21 件; 主编《中国农业百科全书-观赏园艺卷》等著作 6 部。