

岳伟,陈曦,刘瑞娜,等,2021.安徽省沿江地区油菜菌核病气象等级评估方法[J].气象,47(10):1246-1254. Yue W, Chen X, Liu R N, et al, 2021. Meteorological grade evaluation method of *Sclerotinia sclerotiorum* for oilseed rape in the region along the Yangtze River in Anhui Province[J]. Meteor Mon, 47(10):1246-1254(in Chinese).

安徽省沿江地区油菜菌核病气象等级评估方法^{*}

岳 伟¹ 陈 曦¹ 刘瑞娜¹ 姚卫平² 陈春秋³ 马洪管⁴ 蒋跃林⁵

1 安徽省农业气象中心,合肥 230031

2 安徽省池州市农业技术推广中心,池州 247000

3 安徽省桐城市农业技术推广中心,桐城 231400

4 安徽省植物保护总站,合肥 230001

5 安徽农业大学资源与环境学院,合肥 230036

提 要:为进一步明确安徽省沿江地区油菜菌核病发生关键时段和主要影响气象因子,提高对菌核病的监测评估能力,利用1995—2019年安徽省池州市、桐城市油菜菌核病病株率资料和逐日气象资料,通过线性相关、回归分析等方法,建立基于降水和温度的菌核病气象等级评估模型,并对模型进行回代检验和模拟验证。结果表明:3月下旬至5月上旬是池州市和桐城市油菜菌核病茎秆发病的关键期。降水是影响菌核病发生的主要气象因子,适宜的温度可以促进菌核病的发生。引入雨量系数和温度系数构建的综合气象条件指数,能较好地反映降水和温度对油菜菌核病的综合影响。池州市油菜菌核病气象等级评估模型的回代准确率和模拟准确率分别为86.2%和85.0%,桐城市则分别为83.8%和85.0%,因而建立的模型可用于安徽省沿江地区菌核病的监测评估。

关键词:油菜菌核病,气象等级,评估方法,降水,温度

中图分类号: S16,P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.10.007

Meteorological Grade Evaluation Method of *Sclerotinia Sclerotiorum* for Oilseed Rape in the Region Along the Yangtze River in Anhui Province

YUE Wei¹ CHEN Xi¹ LIU Ruina¹ YAO Weiping² CHEN Chunqiu³
MA Hongguan⁴ JIANG Yuelin⁵

1 Anhui Agricultural Meteorological Centre, Hefei 230031

2 Chizhou Agro-Technical Extension and Service Centre of Anhui Province, Chizhou 247000

3 Tongcheng Agro-Technical Extension and Service Centre of Anhui Province, Tongcheng 231400

4 Anhui Plant Protection Station, Hefei 230001

5 School of Resources and Environment of Anhui Agricultural University, Hefei 230036

Abstract: In order to identify the meteorological factor and key period of *Sclerotinia sclerotiorum* for oilseed rape over the region along the Yangtze River, and improve the ability of monitoring and evaluating, this paper builds a meteorological grade evaluation model based on precipitation and temperature, using the data including infected plant rate of *Sclerotinia sclerotiorum* for oilseed rape and daily meteorological data from 1995 to 2019 in Chizhou and Tongcheng, Anhui Province, by the means of linear correlation and regression analysis. Then the fitting test and validation are carried out for the model. The results show

* “科技助力经济2020”重点专项(KJZLJJ202002)和安徽省气象局研究型业务科技攻关项目(YJG202103)共同资助

2020年8月17日收稿; 2021年8月16日收修定稿

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

that the key period of stem infected is from the late March to the early May. Precipitation is the main meteorological factor affecting the occurrence of *Sclerotinia sclerotiorum*, and the appropriate temperature could promote the occurrence of *Sclerotinia*. The comprehensive meteorological index formed by introducing the precipitation coefficient and temperature coefficient, could effectively indicate the comprehensive effect of precipitation and temperature on the *Sclerotinia sclerotiorum*. The accuracies of the evaluation model for simulation and validation are 86.2% and 85.0% in Chizhou, and 83.8% and 85.0% in Tongcheng, respectively. Therefore, the model established in this study can be used for the monitoring and evaluation of *Sclerotinia sclerotiorum* in the areas along the Yangtze River in Anhui Province.

Key words: *Sclerotinia sclerotiorum* for oilseed rape, meteorological grade, evaluation method, precipitation, temperature

引 言

菌核病是油菜生产中三大病害之首,从苗期到近熟期都可以发生,以中、后期发病最为普遍,叶、茎、荚都可被害,其中茎部被害损失最重(李运良等,2009)。菌核病可引起油菜植株早枯,角果减少,籽粒皱瘪,严重影响油菜产量和品质,油菜感病后可减产 10%~70%,含油量降低 1%~5%(陈欣欣等,2019;齐永霞等,2006)。油菜是安徽省种植面积最大的油料作物,常年种植面积为 90 万~95 万 hm^2 (刘瑞娜等,2016),安徽也是油菜菌核病的重发区,该病害已成为制约当地油菜生产的主要因子(许大风等,2014)。开展油菜菌核病预报预测和监测评估,对做好油菜菌核病防治工作,优化油菜种植布局都具有重要意义。

油菜菌核病是一种典型的“气象型”病害,其发生程度与气象条件密切相关,徐森富等(2012)研究表明“浙油 50”开花期是菌核病主要流行期,其平均气温和相对湿度对油菜菌核病发生具有显著影响;易红娟等(2008)指出江苏省南通市通州区影响油菜菌核病流程度度的主要气象因子是油菜开花至终花期的雨湿条件;张立良等(2000)研究认为,安徽和县地区花期降雨量直接影响病害的流行,5 月中旬的降雨量影响病害的发病程度;张莉等(2015)分析表明 3 月和 4 月的雨日和雨量直接决定了湖北荆州市当年油菜菌核病的发病程度;长江中下游地区一般 4 月降水偏多,当年菌核病偏重发生(陆均天,2002;叶殿秀,2003)。区域间菌核病发病关键期存在一定差异性,但降水日数、降水量、相对湿度等与降水相关的气象要素是影响各地区油菜菌核病发生程度的主要气象因子。目前关于油菜菌核病发生气象等级

的研究多集中在预测预报方面(朱金良等,2012;罗泽青等,2016;郑露等,2017;居为民等,2000;Ficke et al,2018;Naresh,2019),而针对监测评估的研究相对较少。

在利用气象条件开展油菜菌核病发生程度的研究中,多以降水日数、降水量、相对湿度等气象要素为主,综合考虑同一时段降水日数和降水强度对菌核病影响的研究尚不多见,且由于温度与油菜菌核病发生程度相关性不显著常被忽略(易红娟等,2008;常彭阳,1999;朱金良等,2012),但刘勇等(2019)认为低温、多雨天气会直接延长油菜的开花时间,为油菜菌核病的侵染、发生、蔓延和严重危害带来非常有利的天气条件。陈士华等(2005)也指出菌核病发病过程中温度影响孢子释放侵入及菌丝再侵染。所以油菜菌核病发生流行不仅需要充沛的降水条件,适宜的温度也能促进病害的发生。在前人研究基础上,综合考虑降水日数、降水等级和温度对菌核病的影响,形成综合气象条件指数,并基于综合气象条件指数建立了油菜菌核病气象等级评价模型。以期为安徽省油菜菌核病的监测评估提供技术支撑,进而为安徽省油菜的种植结构调整和菌核病的科学防控提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 数据资料

研究以茎病株率作为油菜菌核病发生程度指标。1995—2019 年安徽省池州市和桐城市油菜菌核病茎病株率资料分别来自当地植物保护站,对应年份的气象资料来源于安徽省气象信息中心,主要包括逐日平均气温(单位:°C)和降水量(单位:

mm)。1995—2015 年的资料作为历史样本用于评估模型建立,2016—2019 年的资料作为独立样本用于模型模拟验证。

1.2 油菜菌核病气象等级划分

根据安徽省植保部门关于油菜菌核病发生程度划分标准,结合安徽省油菜菌核病发生特点,将菌核病发生气象等级划分为 5 个等级,即茎病株率 < 10% 为 1 级,表示气象条件不适宜,对应油菜菌核病轻发生;10% ≤ 茎病株率 < 20% 为 2 级,表示气象条件基本适宜,对应中等偏轻发生;20% ≤ 茎病株率 < 30% 为 3 级,表示气象条件较适宜,对应中等发生;30% ≤ 茎病株率 < 40% 为 4 级,表示气象条件适宜,对应中等偏重发生;茎病株率 ≥ 40% 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

油菜菌核病的发生流行与气象条件密切相关,油菜开花期为菌核病病原侵染的敏感期,花期降水多利于子孢子的释放、侵染和菌丝再侵染(张立良等,2000)。角果发育期为茎秆发病的敏感期,冯兰萍等(1999)通过田间调查发现油菜菌核病从油菜终花期开始表现症状,终花后 7~10 d 发病率明显上升,茎秆发病在终花后 20~25 d 达到发病高峰;杜晓宇等(2009)指出油菜茎病株发生一般出现在终花后 7~15 d;苏跃和吴沿友(2016)研究表明油菜茎部菌核病发病率从盛花期开始到成熟期均呈上升趋势。所以初步确定油菜开花至成熟前为菌核病茎发病关键期。相关研究表明雨日、雨量是影响油菜菌核病发生的重要因素(刘振忠等,1999;陈士华等,2005;张莉等,2015),气温可影响子孢子的侵入和菌丝再侵染。

根据油菜菌核病发生流行与气象条件的关系,以降水日数作为影响菌核病的主要气象因子,通过相关分析确定菌核病发病关键期,同时考虑降水等级和温度对菌核病的影响,引入雨量系数和温度系数形成综合气象条件指数。利用回归分析,建立基于综合气象条件指数的油菜菌核病气象等级评估模型。

1.3.2 雨量系数计算方法

由于油菜菌核病发病过程中不同降水量所起的作用不同,参照天气预报中 24 h 降水量级标准,将

菌核病发生关键期日降水量(R)分为相应 6 个不同等级,并对不同等级的降水赋予不同灾害系数(f_R),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 为油菜菌核病发生关键期日降水量,单位: mm; r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 、 r_6 为不同降水等级对应的雨量系数。

1.3.3 温度系数计算方法

适温高湿的环境条件是油菜菌核病发生的重要因素,适宜的温度利于油菜菌核病孢子囊孢子侵染和菌丝再侵染,温度过高、过低对菌丝生长均有抑制作用。根据油菜菌核病发生流行对温度的需求特点,采用下列函数计算温度系数。

$$f_T = \begin{cases} 0 & T < T_1 \\ \frac{T - T_1}{T_{ol} - T_1} & T_1 \leq T < T_{ol} \\ 1 & T_{ol} \leq T < T_{ou} \\ \frac{T_u - T}{T_u - T_{ou}} & T_{ou} \leq T < T_u \\ 0 & T \geq T_u \end{cases} \quad (2)$$

式中: f_T 为温度系数; T 为菌核病发生关键期日平均气温; T_1 为菌核病发育下限温度,低于这一温度时,温度系数为 0; T_u 为菌核病发育上限温度,超过这一温度时,温度系数为 0; T_{ol} 、 T_{ou} 分别为菌核病发育最适温度的下限和上限。

1.3.4 综合气象条件指数

综合气象条件指数是反映降水和温度对病害的综合影响程度,为关键期逐日雨量系数与温度系数乘积的累计值,计算方法如下:

$$R_C = \sum_{i=1}^n f_{R_i} f_{T_i} \quad (3)$$

式中: R_C 为影响油菜菌核病发生的综合气象条件指数; i 为菌核病发生关键生育期降水日数, $i=1,2,\dots,n$; f_{R_i} 为关键期雨量系数; f_{T_i} 为关键期温度系数。综合气象条件指数越大,即降水和温度相互作用越好,气象条件越适宜菌核病的发生流行;反之,则不适宜菌核病的发生流行。

1.4 模型检验方法

油菜菌核病气象等级评估模型的回代检验和模拟验证的准确率参照王志伟等(2010)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准确率的平均值。

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和回归分析,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 油菜菌核病发生关键期

根据安徽省农业气象作物发育期观测资料,池州市和桐城市油菜一般 3 月上旬始花,5 月中旬成熟,但不同年份发育期略有差异。为确定油菜菌核病发生关键期,以旬为单位分别统计 3 月上旬至 5 月中旬逐 5 旬、6 旬、7 旬、8 旬的降水日数,再与菌核病发生气象等级进行相关分析。结果表明,池州市和桐城市油菜菌核病发生气象等级均与 3 月下旬至 5 月上旬的降水日数相关系数最大,分别为 0.6181 和 0.6791(表 1),均通过显著性水平检验 ($P < 0.01$)。从常年发育期看,3 月下旬至 5 月上旬池州市和桐城市油菜处于盛花期至角果成熟期,与

油菜菌核病茎秆发病敏感时段较为一致,所以确定池州市和桐城市油菜菌核病发生关键期为 3 月下旬至 5 月上旬。

表 1 1995—2015 年池州市和桐城市不同时段降水日数与油菜菌核病发生气象等级相关性

Table 1 Correlation between meteorological grade of *Sclerotinia sclerotiorum* and rainy days during different periods of oilseed rape in Chizhou and Tongcheng from 1995 to 2015

时段	池州	桐城
3 月上旬至 4 月中旬	0.346 0	0.490 1*
3 月中旬至 4 月下旬	0.510 9*	0.555 0**
3 月下旬至 5 月上旬	0.618 1**	0.679 1**
4 月上旬至 5 月中旬	0.605 1**	0.640 5**
3 月上旬至 4 月下旬	0.546 0*	0.557 3**
3 月中旬至 5 月上旬	0.524 6*	0.578 5**
3 月下旬至 5 月中旬	0.613 1**	0.613 6**
3 月上旬至 5 月上旬	0.562 8**	0.576 9**
3 月中旬至 5 月中旬	0.553 0**	0.625 7**
3 月上旬至 5 月中旬	0.574 9**	0.612 0**

注: * 和 ** 分别表示通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。
Note: * and ** indicate passing the significant level tests at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively.

2.2 油菜菌核病气象等级评估模型

2.2.1 雨量系数

通过对 1995—2015 年池州市和桐城市 3 月下旬至 5 月上旬日降水等级分布进行统计分析,由图 1 可以看出,池州市和桐城市菌核病发生关键期的降水以小雨和中雨为主,小雨与中雨日数之和分别占两市总雨日的 91.8% 和 85.6%,暴雨及以上等级的雨日较少。考虑不同降水等级样本数量,本研究将池州市和桐城市油菜菌核病发生关键期日降水量划分为 3 个等级,即小雨、中雨、大雨及以上。

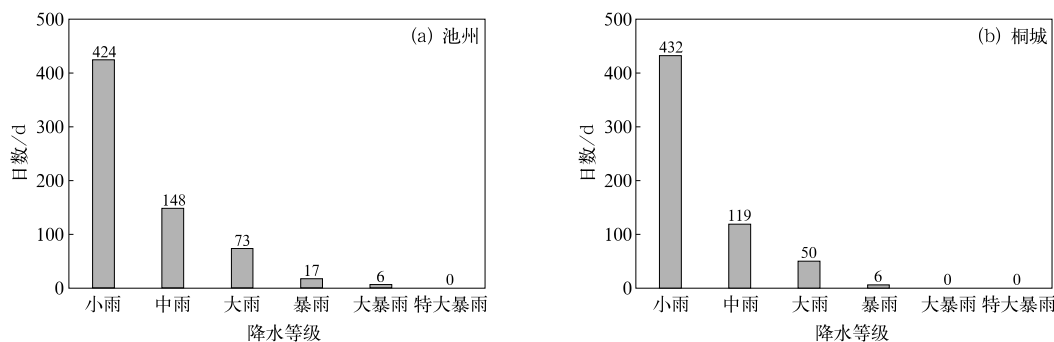


图 1 1995—2015 年池州市(a)和桐城市(b)3 月下旬至 5 月上旬日降水等级分布

Fig. 1 Distribution of the grade of precipitation during the last dekad of March to the first dekad of May in Chizhou (a) and Tongcheng (b) from 1995 to 2015

将不同降水等级在油菜菌核病发生过程中所起到的作用定义为雨量系数 f_R , 关键期雨量系数之和定义为实效雨日。利用 Visual Basic 语言作为计算工具, 将小雨、中雨和大雨及以上对应的雨量系数设定在一定范围内, 以 0.1 作为步长进行循环, 计算出不同雨量系数对应的实效雨日, 再与菌核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实效雨日即为不同降水等级的雨量系数。通过上述方法, 得到池州市和桐城市油菜菌核病发病关键期雨量系数如下:

$$\text{池州: } f_R = \begin{cases} 0.7 & 0.1 \leq R < 10 \\ 1.0 & 10 \leq R < 25 \\ 2.6 & R \geq 25 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{桐城: } f_R = \begin{cases} 0.6 & 0.1 \leq R < 10 \\ 1.1 & 10 \leq R < 25 \\ 1.9 & R \geq 25 \end{cases} \quad (5)$$

由表 2 可以看出, 池州市和桐城市实效雨日与菌核病气象等级的相关性分别为 0.6741 和 0.7550, 均高于降水量、降水日数与菌核病气象等级的相关性, 说明雨量系数能更好地反映不同降水等级对油菜菌核病的影响。

表 2 1995—2015 年池州市和桐城市油菜菌核病气象等级与关键期降水量、降水日数和实效雨日的相关性

Table 2 Correlation between the meteorological grade of *Sclerotinia sclerotiorum* and the precipitation, rainy days and effective rainy days in the critical period of oilseed rape in Chizhou and Tongcheng from 1995 to 2015

区域	降水量	降水日数	实效雨日
池州	0.5870**	0.6181**	0.6741**
桐城	0.6733**	0.6791**	0.7550**

注: ** 表示通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。

** indicates passing the significant level test at $\alpha=0.01$.

2.2.2 温度系数

倪守延等(1995)研究表明, 油菜菌核病菌丝的生长温度范围为 $0\sim 35^\circ\text{C}$, 最适温度为 $23\sim 25^\circ\text{C}$, 所以式(2)中 T_1 、 T_{ol} 、 T_{ou} 、 T_u 分别取值为 0、23、25、 35°C , 油菜菌核病温度系数计算式(2)可改为公式(6)。当菌核病发生关键期降水日日平均气温低于 0°C 或高于 35°C 时, 温度系数 f_T 值为 0; 当日平均气温在 $23\sim 25^\circ\text{C}$ 时, f_T 值为 1; 当日平均气温在 $0\sim 23^\circ\text{C}$ 时, 随着温度的升高, f_T 逐渐增加; 当日平均气温在 $25\sim 35^\circ\text{C}$ 时, 随着温度的升高, f_T 逐渐减小。

$$f_T = \begin{cases} 0 & T < 0 \\ \frac{T-0}{23-0} & 0 \leq T < 23 \\ 1 & 23 \leq T < 25 \\ \frac{35-T}{35-25} & 25 \leq T < 35 \\ 0 & T \geq 35 \end{cases} \quad (6)$$

2.2.3 综合气象条件指数

根据池州市和桐城市 1995—2015 年 3 月下旬至 5 月上旬逐日降水和气温资料, 利用式(3)~式(6) 计算出不同年份菌核病发生综合气象条件指数。结果显示, 池州市和桐城市综合气象条件指数与菌核病气象等级相关系数分别为 0.8105 和 0.7840, 均高于降水日数、实效雨日与菌核病发生气象等级的相关性, 所以本研究提出的雨量系数和温度系数的观点不仅符合油菜菌核病发生流行病学特性, 且综合气象条件指数能更好地反映降水日数、降水等级和温度对菌核病发生的综合影响, 对提高菌核病气象等级评估精准度具有重要意义。

2.2.4 气象等级评估模型

运用 SPSS 19.0 统计软件中的曲线回归方法, 以综合气象条件指数为自变量, 以油菜菌核病发生气象等级为因变量, 建立池州市最优回归模型: $Y_1 = 3.0176 - 0.7849R_{C1} + 0.08111R_{C1}^2 - 0.001894R_{C1}^3$, 相关系数 $r = 0.8159$, 通过显著性水平检验 ($P < 0.01$), 拟合曲线见图 2a; 桐城市最优回归模型: $Y_2 = -3.1592 + 1.1992R_{C2} - 0.0874R_{C2}^2 + 0.002637R_{C2}^3$, 相关系数 $r = 0.7876$, 通过显著性水平检验 ($P < 0.01$), 拟合曲线见图 2b。式中, Y_1 和 Y_2 分别为池州市和桐城市油菜菌核病发生气象等级, R_{C1} 和 R_{C2} 分别为池州市和桐城市综合气象条件指数。

2.3 模型检验

2.3.1 模型回代检验

利用 1995—2015 年池州市和桐城市油菜菌核病茎病株率资料和气象观测资料, 对菌核病气象等级评估模型进行回代检验。由表 3 可见, 回代结果为池州市模型回代等级与实际等级平均误差为 0.604, 回代平均准确率为 86.2%, 21 个样本中回代准确率为 100% 的有 9 a, 准确率为 80% 的 7 a, 准确率为 70% 的 5 a。桐城市模型回代等级与实际等级平均误差为 0.685, 回代平均准确率为 83.8%, 21 个

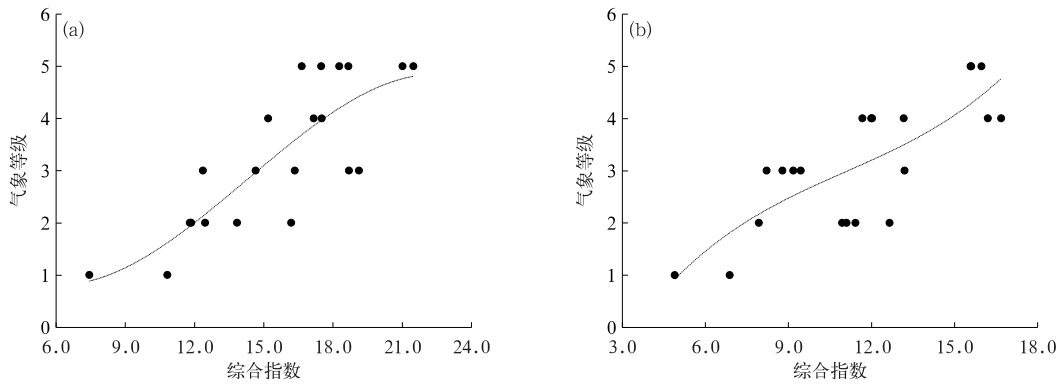


图 2 1995—2015 年池州市(a)和桐城市(b)油菜菌核病发生气象等级与综合指数关系

Fig. 2 Relationship between comprehensive index and meteorological grade of the occurrence of *Sclerotinia sclerotiorum* for oilseed rape in Chizhou (a) and Tongcheng (b) from 1995 to 2015

表 3 1995—2015 年池州市和桐城市油菜菌核病气象等级评估模型回代检验

Table 3 Retrospective test of meteorological grade evaluation model for *Sclerotinia sclerotiorum* of oilseed rape in Chizhou and Tongcheng from 1995 to 2015

年份	池州				年份	桐城			
	实际等级	模拟等级	误差	准确率/%		实际等级	模拟等级	误差	准确率/%
1995	5	4.202	0.798	80	1995	4	3.204	0.796	80
1996	2	1.941	0.059	100	1996	3	2.259	0.741	80
1997	2	2.170	-0.170	100	1997	2	2.955	-0.955	80
1998	3	4.426	-1.426	70	1998	5	4.288	0.712	80
1999	4	3.975	0.025	100	1999	2	2.993	-0.993	80
2000	1	1.626	-0.626	80	2000	1	1.815	-0.815	80
2001	5	3.692	1.308	70	2001	3	2.595	0.405	100
2002	5	4.765	0.235	100	2002	4	4.548	-0.548	80
2003	5	4.809	0.191	100	2003	5	4.295	0.705	80
2004	3	4.318	-1.318	70	2004	4	3.211	0.789	80
2005	3	3.591	-0.591	80	2005	4	3.500	0.500	100
2006	3	2.974	0.026	100	2006	2	3.365	-1.365	70
2007	2	1.959	0.041	100	2007	2	2.171	-0.171	100
2008	4	3.172	0.828	80	2008	4	3.127	0.873	80
2009	3	2.135	0.865	80	2009	3	2.420	0.580	80
2010	4	3.866	0.134	100	2010	5	4.449	0.551	80
2011	1	0.889	0.111	100	2011	1	0.929	0.071	100
2012	5	3.970	1.030	70	2012	3	3.507	-0.507	80
2013	2	2.675	-0.675	80	2013	3	2.525	0.475	100
2014	5	4.311	0.689	80	2014	4	4.773	-0.773	80
2015	2	3.346	-1.346	70	2015	2	3.068	-1.068	70

样本中回代准确率为 100% 的有 5 a, 准确率为 80% 的 14 a, 准确率为 70% 的 2 a。从回代检验结果看, 本文建立的池州市和桐城市的油菜菌核病气象条件等级评估模型模拟效果较好, 总体上能反映气象条件对菌核病发生的影响。

2.3.2 模型模拟验证

2016—2019 年利用池州市和桐城市的油菜菌核病茎病株率和对应的逐日气象观测资料, 对油菜

菌核病气象等级评估模型进行模拟验证。由表 4 可以看出, 2016—2019 年池州市和桐城市模型模拟结果与实际发生情况平均误差分别为 0.582 和 0.635, 平均模拟准确率均为 85.0%。其中池州市模拟结果与实际情况相比, 2 年偏多, 2 年偏少, 误差幅度在 0.345~0.740, 桐城市模拟结果为 3 年偏多, 1 年略偏少, 误差幅度在 0.121~0.890。

表 4 2016—2019 年池州市和桐城市油菜菌核病发生气象等级评估模型验证结果

地区	年份	实际等级	模拟等级	误差	准确率/%
池州	2016	4	3.260	0.740	80
	2017	3	3.634	-0.634	80
	2018	2	1.392	0.608	80
	2019	3	3.345	-0.345	100
桐城	2016	3	3.867	-0.867	80
	2017	3	3.660	-0.660	80
	2018	2	2.890	-0.890	80
	2019	2	1.879	0.121	100

3 结论与讨论

本文利用 1995—2015 年池州市、桐城市菌核病茎病株率资料和同期气象观测数据,以降水日数作为主要影响因子,通过相关分析,明确池州市和桐城市油菜菌核病茎秆发病关键期均为 3 月下旬至 5 月上旬,该时段池州市和桐城市油菜主要处于盛花至角果成熟期,与冯兰萍等(1999)、蒋耀培等(2000)关于油菜菌核病茎秆发病敏感期观点基本一致。气象条件对菌核病的影响是一个连续的过程,油菜开花期是菌核病侵染的关键时期(朱金良等,2012;陈庭华,1990),降水多利于子孢子的释放、侵染和菌丝再侵染,致使叶病株率高(张立良等,2000),染病的叶片又为后期茎秆发病提供了大量的菌源。油菜终花至成熟前是菌核病茎秆显症的重要时期(冯兰萍等,1999;杜晓宇等,2009;苏跃和吴沿友,2016),该时段的降水条件是影响茎秆发病程度的主要因素(蒋耀培等,2000)。所以研究确定的关键期符合油菜菌核病茎秆发病的生理学特性。

基于 3 月下旬至 5 月上旬的降水和气温要素,建立了沿江地区油菜菌核病气象等级评估模型,通过回代检验和模拟验证,池州和桐城地区的回代准确率和模拟准确率均在 80% 以上,基本满足了利用气象条件开展菌核病发生程度的监测评估需求。模型中降水和温度作为气象部门常规观测和预报要素,在未来中长期预报水平达到一定程度精细化条件下,建立的评估模型也可用于菌核病发生气象等级的预测预报。降水的连续性在“气象型”病害的预测评估模型中起到了较好的作用(苏荣瑞等,2015;张旭晖等,2009),但本研究建立的菌核病气象等级评估模型未引入降水连续性。因为统计分析发现,引入降水连续性不能提高模型拟合的准确率,其原

因可能是油菜菌核病发生关键期降水达到一定日数,降水分散与集中对菌核病的影响无明显差别。

油菜菌核病发生和流行除与气象条件密切相关外,还受菌源、品种和栽培条件等影响。Dunker and von Tiedemann(2004)田间试验证实油菜菌核病发生程度与种植密度和播期相关。不同连作类型田的油菜菌核病发生特点也存在差异,苏永新等(2013)研究发现棉花-油菜旱地连作田花期菌核萌发数量较水稻-油菜水田连作油菜田多 62.5%,而杜晓宇等(2009)发现油菜菌核病发生偏重年份,旱地和水田发病程度趋于一致,但在中等及以下发生年份,水稻-油菜连作田发生程度普遍重于旱地连作发生程度。不同类型和品种以芥菜型抗性较好,甘蓝型次之,白菜型最感病(李明桃,2012)。此外田间菌核密度、子囊盘密度与茎秆病株率呈极显著正相关关系(秦虎强等,2018)。建立的基于气象条件的菌核病气象等级评估模型,仅能从区域尺度上评估病害发生程度平均状况。所以开展精细化田块尺度的油菜菌核病评估,需要结合田间气象条件监测、品种抗性、菌源量、栽培管理等多因素建立综合评估模型,以提高评估精细化和精准化程度。

参考文献

- 常彭阳,1999. 赣抚平原油菜菌核病发病程度预测模型[J]. 江西农业学报,11(4):51-54. Chang P Y,1999. Model for predicting the severity of *Sclerotinia sclerotiorum* of rape in Ganfu Plain[J]. Acta Agric Jiangxi,11(4):51-54(in Chinese).
- 陈士华,吴兴泉,杜春梅,等,2005. 寒地春油菜菌核病流行预测方法[J]. 中国油料作物学报,27(4):89-91,94. Chen S H, Wu X Q, Du C M, et al,2005. Predicting model of *Sclerotinia sclerotiorum* on spring oilseed rape[J]. Chin J Oil Crop Sci,27(4):89-91,94(in Chinese).
- 陈庭华,1990. 油菜菌核病的流行因素和预测[J]. 中国植保导刊,(1):2-3. Chen T H,1990. Epidemic factors and prediction of *Sclerotinia sclerotiorum* for rape[J]. China Plant Prot,(1):2-3

- (in Chinese).
- 陈欣欣,刘子毅,吕美巧,等,2019. 基于热红外成像技术的油菜菌核病早期检测研究[J]. 光谱学与光谱分析,39(3):730-737. Chen X X, Liu Z Y, Lv M Q, et al, 2019. Diagnosis and monitoring of *Sclerotinia* stem rot of oilseed rape using thermal infrared imaging[J]. Spectrosc Spect Anal, 39(3):730-737(in Chinese).
- 杜晓宇,黄庆,黄云,等,2009. 南充油菜菌核病发生流行成因分析及综合防控措施研究[J]. 中国农学通报,25(20):232-235. Du X Y, Huang Q, Huang Y, et al, 2009. Analysis on field occurrence reason and integrated control for rape *Sclerotinia* stem rot in Nanchong[J]. Chinese Agric Sci Bull, 25(20):232-235(in Chinese).
- 冯兰萍,张谷丰,张夕林,等,1999. 油菜菌核病发生规律、影响因子和油菜损失率测定[J]. 植物保护,25(1):24-26. Feng L P, Zhang G F, Zhang X L, et al, 1999. Rape *Sclerotinia* disease occurrence regularity and impact factor and determination of rape yield loss rate[J]. Plant Prot, 25(1):24-26(in Chinese).
- 蒋耀培,王志通,林美新,等,2000. 上海地区油菜菌核病发生与品种、气象等因素关系浅析[J]. 植保技术与推广,20(2):10. Jiang Y P, Wang Z T, Lin M X, et al, 2000. Analysis on the relationship between the occurrence of *Sclerotinia sclerotiorum* for rape and its varieties, weather in Shanghai[J]. Plant Prot Technol Extension, 20(2):10(in Chinese).
- 居为民,高苹,李箕根,2000. 油菜菌核病预报方法的研究[J]. 植保技术与推广,20(1):4-6. Ju W M, Gao P, Li Q G, 2000. Study on forecasting of *Sclerotia sclerotium* [J]. Plant Prot Technol Extension, 20(1):4-6(in Chinese).
- 李明桃,2012. 油菜菌核病的研究[J]. 农业灾害研究,2(4):4-7. Li M T, 2012. Study on rape *Sclerotinia* rot[J]. J Agric Catastrophol, 2(4):4-7(in Chinese).
- 李运良,刘贺芳,刘荣芝,2009. 豫南区域油菜菌核病的发生规律与防治措施[J]. 北京农业, (30):23-24. Li Y L, Liu H F, Liu R Z, 2009. The occurrence and control measures of *Sclerotinia* stem rot of rape in south of Henan Province[J]. Beijing Agric, (30):23-24(in Chinese).
- 刘瑞娜,杨天明,陈鹏,等,2016. 安徽省油菜花期连阴雨灾害损失评估指标[J]. 中国农业气象,37(4):471-478. Liu R N, Yang T M, Chen P, et al, 2016. Evaluation index of continuous rain to rape during anthesis in Anhui Province[J]. Chin J Agrometeorol, 37(4):471-478(in Chinese).
- 刘勇,黄小琴,张蕾,等,2019. 油菜菌核病发生趋势与防治技术对策[J]. 四川农业科技, (3):39-40. Liu Y, Huang X Q, Zhang L, et al, 2019. Occurrence trend of *Sclerotinia sclerotiorum* for rape and its control strategy[J]. Sci Technol Sichuan Agric, (3):39-40(in Chinese).
- 刘振忠,徐梅,辛惠普,1999. 春油菜菌核病气象因素分析及预报[J]. 生物数学学报,14(4):490-494. Liu Z Z, Xu M, Xin H P, 1999. Analysis to meteorological factors of spring rape *Sclerotinia* disease and forecast[J]. J Biomathematics, 14(4):490-494(in Chinese).
- 陆均天,2002. 华南等地少雨旱情持续 长江中下游地区连阴雨—2002年4月[J]. 气象,28(7):62-63. Lu J T, 2002. Low-rainfall and continuous drought in South China, while continuous rain in the middle and lower reaches of the Yangtze River—April 2002 [J]. Meteor Mon, 28(7):62-63(in Chinese).
- 罗泽青,吴畏,肖晓华,等,2016. 油菜菌核病流行预测模型研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),41(3):81-84. Luo Z Q, Wu W, Xiao X H, et al, 2016. On predicting model for *Sclerotinia sclerotiorum* of rape[J]. J Southwest China Normal Univ (Nat Sci Ed), 41(3):81-84(in Chinese).
- 倪守延,杨文翠,张成林,等,1995. 油菜菌核病菌营养生理研究[J]. 安徽农业大学学报,22(3):246-250. Ni S Y, Yang W C, Zhang C L, et al, 1995. Studies on nutritional physiology of *Sclerotinia sclerotiorum* in rape[J]. J Anhui Agric Univ, 22(3):246-250(in Chinese).
- 齐永霞,陈方新,丁克坚,等,2006. 安徽省油菜菌核病菌对菌核净的抗药性测定[J]. 农药,45(8):567-568, 570. Qi Y X, Chen F X, Ding K J, et al, 2006. Determining dimethachlon resistance of *Sclerotinia sclerotiorum* in Anhui Province[J]. Agrochemicals, 45(8):567-568, 570(in Chinese).
- 秦虎强,高小宁,韩青梅,等,2018. 油菜菌核病发生流行与菌源量、气候因子关系分析及病情预测模型的建立[J]. 植物保护学报,45(3):496-502. Qin H Q, Gao X N, Han Q M, et al, 2018. Effects of inoculum density and environmental factors on the epidemics of rape *Sclerotinia* rot and establishment of a predicative model [J]. Acta Phytopy Sin, 45(3):496-502(in Chinese).
- 苏荣瑞,刘凯文,冯明,等,2015. 2014年江汉平原水稻稻曲病促病气象条件指数分析[J]. 中国植保导刊,35(9):44-49. Su R R, Liu K W, Feng M, et al, 2015. Analysis on promoting disease index for rice false smut in 2014 in Jianghan Plain[J]. China Plant Prot, 35(9):44-49(in Chinese).
- 苏永新,廖继雨,夏子健,等,2013. 不同栽培条件油菜菌核病发生规律调查[J]. 湖北植保, (2):24-26. Su Y X, Liao J Y, Xia Z J, et al, 2013. Investigation on rules of the occurrence of *Sclerotinia sclerotiorum* for rape with different cultivation [J]. Hubei Plant Prot, (2):24-26(in Chinese).
- 苏跃,吴沿友,2016. 喀斯特地区土壤及气候因素对油菜菌核病的影响[J]. 西南农业学报,29(12):2890-2895. Su Y, Wu Y Y, 2016. Effect of soil and climatic factors on occurrence of rapeseed sclerotinose in Guizhou Karst Area[J]. Southwest China J Agric Sci, 29(12):2890-2895(in Chinese).
- 王志伟,张东霞,马雅丽,等,2010. 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,26(11):267-271. Wang Z W, Zhang D X, Ma Y L, et al, 2010. Study on meteorological degree forecast model of the main pests and diseases of winter wheat in Shanxi[J]. Chin Agric Sci Bull, 26(11):267-271(in Chinese).
- 许大风,高智谋,张茜茹,等,2014. 安徽省油菜菌核病菌致病力分化研究[J]. 安徽农业大学学报,41(5):762-767. Xu D F, Gao Z M, Zhang Q R, et al, 2014. Pathogenicity differentiation of *Sclerotinia sclerotiorum* isolates in rapeseed varieties in Anhui[J]. J Anhui Agric Univ, 41(5):762-767(in Chinese).
- 徐森富,汪恩国,王会福,等,2012. ‘浙油 50’油菜菌核病发生规律与

- 流行模型研究[J]. 中国农学通报, 28(18): 218-222. Xu S F, Wang E G, Wang H F, et al, 2012. Study on the occurrence and epidemic model of *Sclerotinia sclerotiorum* of 'Zheyu50' [J]. Chin Agric Sci Bull, 28(18): 218-222 (in Chinese).
- 叶殿秀, 2003. 东北华南降水偏少, 部分地区有旱情 气温变化幅度大, 局地出现冷(冻)害—2003年4月[J]. 气象, 29(7): 62-63.
- Ye D X, 2003. There was less precipitation in Northeast China and South China, while drought appears in local areas, the temperature changes greatly, and cold damage occurs locally — March 2003 [J]. Meteor Mon, 29(7): 62-63 (in Chinese).
- 易红娟, 孙雪梅, 张洪进, 等, 2008. 沿江地区油菜菌核病流行强度辨别模型的研究[J]. 江苏农业科学, (1): 100-101. Yi H J, Sun X M, Zhang H J, et al, 2008. Study on the distinguish model of rape *Sclerotinia sclerotiorum* infectious intensity along Yangtze River [J]. Jiangsu Agric Sci, (1): 100-101 (in Chinese).
- 张莉, 吴婧莲, 吴涛, 等, 2015. 荆州市近年油菜菌核病发生原因及防治对策[J]. 湖北植保, (4): 38-41. Zhang L, Wu J L, Wu T, et al, 2015. The outbreak cause and control strategy of rape *Sclerotiniosis* in Jingzhou in recent years [J]. Hubei Plant Prot, (4): 38-41 (in Chinese).
- 张立良, 沈维冰, 刘成社, 等, 2000. 油菜菌核病发生、危害与气象因子的关系[J]. 安徽农业科学, 28(6): 776, 793. Zhang L L, Shen W B, Liu C S, et al, 2000. The relationship between the occurrence and damage of rape *Sclerotinia* rot and climatic factors [J]. J Anhui Agric Sci, 28(6): 776, 793 (in Chinese).
- 张旭晖, 高苹, 居为民, 等, 2009. 小麦赤霉病气象条件适宜程度等级预报[J]. 气象科学, 29(4): 552-556. Zhang X H, Gao P, Ju W M, et al, 2009. Prediction of the adaptability category of meteorological conditions for wheat head blight [J]. Sci Meteor Sin, 29(4): 552-556 (in Chinese).
- 郑露, 刘友梅, 刘天波, 等, 2017. 免耕栽培模式下油菜菌核病的早期分子检测及预测模型建立[J]. 植物保护学报, 44(1): 103-109. Zheng L, Liu Y M, Liu T B, et al, 2017. Molecular detection and forecast model of *Sclerotinia* rot of rapeseed in no-tillage fields [J]. Acta Phytophy Sin, 44(1): 103-109 (in Chinese).
- 朱金良, 陈跃, 钟雪明, 等, 2012. 油菜菌核病发生流行与气象因素关系及预测模型研究[J]. 中国农学通报, 28(25): 234-238. Zhu J L, Chen Y, Zhong X M, et al, 2012. A study of relationship between field occurrence and meteorological factors of *Sclerotinia* stem rot in oilseed rape and its prediction model [J]. Chin Agric Sci Bull, 28(25): 234-238 (in Chinese).
- Dunker S, von Tiedemann A, 2004. Disease yield loss analysis for *Sclerotinia* stem rot in winter oilseed rape [J]. IOBC WPRS Bulletin, 27(19): 59-65.
- Ficke A, Grieu C, Brurberg M B, et al, 2018. The role of precipitation, and petal and leaf infections in *Sclerotinia* stem rot of spring oilseed Brassica crops in Norway [J]. Eur J Plant Pathol, 152(4): 885-900.
- Naresh M, 2019. Development of prediction models for the management of rapeseed-mustard diseases-current scenario [J]. Plant Dis Res, 34(2): 81-112.