

易红娟, 王节萍, 孙雪梅, 等. 江苏沿江稻区水稻纹枯病病情扩展时间动态模型[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1256-1261.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.010

## 江苏沿江稻区水稻纹枯病病情扩展时间动态模型

易红娟<sup>1</sup>, 王节萍<sup>2</sup>, 孙雪梅<sup>1</sup>, 杨凌峰<sup>1</sup>, 刘嘉德<sup>1</sup>, 张谷丰<sup>2</sup>

(1. 江苏省南通市通州区植保站, 江苏 南通 226300; 2. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 本研究 2014–2015 年对江苏沿江稻区纹枯病病斑最高点离地面高度及病株数随时间变化的规律进行了系统研究, 并进行了相关模型的分析拟合。结果表明, 纹枯病病情随时间增长而蔓延扩展, 应用 SPSS 曲线拟合病情随时间( $t$ )变化的动态模型, 根据各模型的检验参数分析比较, 二次函数、三次函数、幂函数、Logistic 函数的拟合程度较好, 其中 Logistic 函数更能反映病情随时间变化的动态。根据 Logistic 函数分析得出的病斑最高点离地面高度 Logistic 函数曲线, 计算得 Logistic 函数曲线的 2 个特征值  $t_1$  等于 12.79 d,  $t_2$  等于 42.05 d, 曲线拐点为 27.42 d; 病株数 Logistic 曲线的特征值  $t_1$ 、 $t_2$  分别等于 12.89 d 和 18.16 d。由此可见纹枯病初见病株后的 13 ~ 42 d, 是病情发展最快的时期, 因而纹枯病防治的起始时间应掌握在病情突增期之前, 即见病后的 13 d 前。

**关键词:** 水稻纹枯病; 病情扩展; 时间; 动态模型

**中图分类号:** S435.111.4<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)06-1256-06

## Studies on the dynamic models of rice sheath blight expansion with time in riparian rice region, Jiangsu province

YI Hong-juan<sup>1</sup>, WANG Jie-ping<sup>2</sup>, SUN Xue-mei<sup>1</sup>, YANG Ling-feng<sup>1</sup>, LIU Jia-de<sup>1</sup>, ZHANG Gu-feng<sup>2</sup>

(1. Plant Protection Station of Tongzhou, Nantong 226300, China; 2. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The rules of the disease spots height and disease plants of rice sheath blight with the time variation at the growing season of rice from 2014 to 2015 were studied in riparian rice region, Jiangsu province, and the simulated models were analyzed. The results showed that the rice sheath blight extended as the time passed, and then the method of curvilinear regression was used to simulate the dynamic models of the disease and time by SPSS. The quadratic function, cubic function, power function and the Logistic function were selected to simulate the model and the fitting degree were good by the comparison of test parameters. Logistic function was the best in the five functions. Finally, the Logistic function for the disease spots height was constructed, the characteristic values of Logistic function were calculated as 12.79 d for  $t_1$  and 42.5 d for  $t_2$ , and the curves turning point was 27.42 d. The characteristic values for disease plants of Logistic function were 12.89 d for  $t_1$  and 18.16 d for  $t_2$ . So the period that the disease expanded quickly occurred the date between 13 to 42

d after the beginning of the disease appeared, and the best time to prevent this disease was the first 13 d.

**Key words:** rice sheath blight; disease expansion; time; dynamic models

收稿日期: 2016-02-01

基金项目: 科技基础性工作专项(2013FY113200); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(15)1002]

作者简介: 易红娟(1978-), 女, 江苏通州人, 本科, 高级农艺师, 从事病虫测报研究。王节萍为共同第一作者。

通讯作者: 张谷丰, (Tel) 025-84390690; (E-mail) tzzbzg@hot-mail.com

水稻纹枯病(*Rhizoctonia solani* Kühn)是中国水稻上的重要病害, 发生面积广, 流行频率高, 一般年

份可造成 15%~20% 的损失,重病田减产可达 50% 以上,江苏近年来纹枯病连年重度发生,达偏重以上发生程度<sup>[1]</sup>,每年针对纹枯病需防治 4~5 次,已成为每次病虫害防治运动均要兼顾的病害。

国内外上世纪八九十年代对纹枯病病原菌的病理学、分类学、生态学、危害损失<sup>[2-4]</sup>、流行规律、防治策略<sup>[5-11]</sup>研究较多,对纹枯病流行规律的研究多为对环境和气象因子影响方面的定性描述和预警系统,本世纪以来多侧重于研究纹枯病抗性基因及资源、新型杀菌剂应用等方面<sup>[12-18]</sup>,由于尚未发现明显的强抗病品种,目前对纹枯病的防治以化学药剂为主,主要药剂有井冈霉素、苯醚甲环唑·丙环唑、噻呋酰胺、嘧菌酯等,而对于新型栽培气候条件下纹枯病病情如何随时间变化的动态规律研究甚少。

病虫害流行的时间动态是预测预报及有效防控的基础,在此前提下,才能更加科学地探索病虫害的防治策略,国内外一些学者进行了病虫害发生随时间动态变化的研究探索,如褐飞虱、花生褐斑病、玉米大斑病和灰斑病的动态模拟等<sup>[19-22]</sup>。对于水稻纹枯病,李成文等<sup>[23]</sup>通过人工接种方法进行了水稻纹枯病相对严重度与时间的动态模拟,选用 Richards 函数建立模型模拟西南稻区纹枯病的流行动态;周如军等<sup>[24]</sup>系统调查了辽宁盘锦地区水稻纹枯病病情,构建了北方稻区时间及纹枯病病情指数与病株率之间的数学模型,重点分析了病情指数与病株率之间的关系。本研究于 2014—2015 年在江苏南通市通州区对沿江稻区水稻纹枯病病斑最高点离地面高度及纹枯病病株数增长随时间变化的规律进行了系统研究,并进行了相关模型的分析拟合,以期对纹枯病的预警和适期防治、科学减药控害提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

试验分别在 2014 年、2015 年水稻生长期间进行,试验田位于通州区水稻重大病虫害观测区内,属江苏沿江稻区,纹枯病连年重度发生,种植的水稻品种均为南粳 5055,较易感纹枯病,是通州区栽培面积最大的水稻品种,生育期约 160 d。

播种前未进行药剂浸种,防止药剂浸种对水稻纹枯病发生造成影响,试验前 1 年未对水稻纹枯病进行防治,水稻播种后 20 d 移栽(2014 年为 6 月 28

日、2015 为 6 月 26 日),机插秧穴行距为 15 cm×23 cm。移栽后除草、肥水管理及害虫控制措施同一般大田,不用杀菌剂防治病害。

### 1.2 试验设计

水稻移栽后,每天观察纹枯病田间发生情况,田间始见病株后,进行定点观察,以对角线法取 5 个点,每点用标记卡套圈标定 5 穴水稻,共计 25 穴水稻。定期测量 1 次茎秆病斑最高点离地面高度,测量工具选用 80 cm 塑料直尺。为避免在测量中病菌的人为传播,调查病穴和病株时另选取 5 点,选择包含病穴在内的连续 10 穴水稻,调查纹枯病的病株数。

### 1.3 数据处理

对调查的数据(5×5=25 组)进行统计,取 25 组数据的平均值,应用 SPSS 软件中分析菜单的回归项,选择曲线估计对数据进行分析,以见病的天数为自变量,分别以病斑最高点离地高度、病株率为因变量,筛选相关性好、拟合率高的函数建立动态模型进行拟合比对。

## 2 结果与分析

### 2.1 纹枯病病情扩展时间动态模型的筛选

调查结果表明,沿江稻区水稻纹枯病在 7 月中旬后期(分蘖盛期)始见,8 月份(拔节孕穗期)病情快速上升,到 8 月底 9 月初(破口扬花期)病情趋于稳定,病情随水稻生长加重,其病斑离地高度上升,病株数量增加。

将表 1 的调查数据应用线性函数、对数函数、倒数函数、二次函数、三次函数、复合函数、幂函数、增长函数、S 函数、指数函数、Logistic 函数等 11 种函数分析筛选纹枯病病情扩展随时间变化动态,Logistic 函数的  $u$  值应用三点法<sup>[25-26]</sup>求得,2014 年病斑最高点离地面高度和病株率  $u$  值分别为 56.0 和 281.0,2015 年病斑最高点离地面高度和病株率  $u$  值分别为 57.6 和 264.0。

根据 SPSS 输出的结果(表 2),线性函数、二次函数、三次函数、幂函数、Logistic 函数 5 种函数 2 年病斑最高点离地面高度、病株数与时间的相关指数  $R^2$  值多在 0.900 以上,对数函数、复合函数、S 函数、增长函数和指数函数 5 种函数的相关指数  $R^2$  值为 0.600~0.900,倒数函数的  $R^2$  值最低,小于 0.500。

故下述仅比较线性函数、二次函数、三次函数、幂函数、Logistic 函数 5 种模型的模拟情况。

表 1 纹枯病病斑最高点离地面高度、病株数调查结果

Table 1 The survey data of the disease spots height and the disease plants of rice sheath blight

见病后天数 (d)	2014 年			2015 年		
	调查时间 (月-日)	病斑最高点离 地面高度 (cm)	病株数	调查时间 (月-日)	病斑最高点离 地面高度 (cm)	病株数
1	07-18	2.62±0.23	5.2±1.6	07-17	3.01±0.25	5.8±2.6
6	07-23	7.25±1.49	22.4±2.3	07-22	5.92±0.54	12.0±3.2
11	07-28	11.60±3.44	49.2±10.4	07-27	8.54±1.95	34.0±18.8
17	08-03	25.00±1.30	107.0±13.0	08-02	22.34±0.68	69.8±28.7
22	08-08	28.35±1.76	159.0±14.6	08-07	23.82±1.05	90.2±38.7
27	08-13	33.92±1.59	206.0±6.4	08-12	31.54±1.14	112.2±34.9
32	08-18	37.50±1.62	265.4±21.1	08-17	33.94±0.75	152.6±29.6
37	08-23	40.12±2.64	256.6±18.7	08-22	38.96±0.91	177.0±42.5
42	08-28	44.90±1.10	273.0±15.9	08-27	41.82±2.01	226.8±27.6
48	09-03	47.54±1.41	273.4±18.1	09-02	46.26±2.74	244.2±21.5
53	09-08	47.90±1.29	273.8±17.5	09-07	49.86±2.32	252.6±19.2
58	09-13	54.10±1.09	280.4±16.9	09-12	54.42±2.87	257.4±16.8

表 2 纹枯病病斑最高点离地面高度、病株数时间动态模型相关指数  $R^2$

Table 2 Value of  $R^2$  for the dynamic models between disease spot height and the disease plants of rice sheath blight

方程	2014		2015	
	病斑最高点 离地面高度	病株数	病斑最高点 离地面高度	病株数
线性函数	0.956	0.880	0.979	0.980
对数函数	0.848	0.811	0.795	0.722
倒数函数	0.419	0.390	0.357	0.290
二次函数	0.989	0.968	0.988	0.980
三次函数	0.989	0.980	0.988	0.995
复合函数	0.764	0.707	0.827	0.838
幂函数	0.978	0.970	0.943	0.950
S 函数	0.715	0.740	0.604	0.605
增长函数	0.764	0.707	0.827	0.838
指数函数	0.764	0.707	0.827	0.838
Logistic 函数	0.943	0.955	0.967	0.990

2.2 病斑最高点离地面高度时间动态模型

表 3 显示,纹枯病病斑最高点离地面高度随时间变化情况,线性函数、二次函数、三次函数、幂函数及 Logistic 函数 5 个模型 2 年分析数据的相关指数  $R^2$  都大于 0.900, $F$  值均为极显著。其中以二次函数、三次函数的模拟效果最好,线性函数、Logistic 函数、幂函数也能较好地拟合,故这 5 种模型都可以反映纹枯病病斑最高点离地面高度随时间上升的情况。

2.3 纹枯病病株数增长时间动态模型

纹枯病病株数增长模拟结果(表 4)表明,除 2014 年病株数增长线性模型相关指数  $R^2$  值小于 0.900 外,其余方程的  $R^2$  值均大于 0.950, $F$  值均为极显著,Logistic 函数、二次函数、三次函数及幂函数 4 个曲线方程均能较好地反映病株数增长的时间动态,根据模型的  $F$  值结果比较,相对来讲,Logistic 模型更能反映田间纹枯病病株数增长情况。

表 3 2014、2015 年纹枯病病斑最高点离地面高度时间动态模型及其检验

Table 3 The dynamic models and its test results between the disease spots height and the time of rice sheath blight

年份	模型	模型表达式	$R^2$	$F$ 值
2014	线性函数	$Y=5.433\ 00+0.892\ 00x$	0.956	216.433
	二次函数	$Y=-0.276\ 00+1.505\ 00x-0.010\ 00x^2$	0.989	404.423
	三次函数	$Y=-0.770\ 00+1.621\ 00x-0.015\ 00x^2+0.000\ 07x^3$	0.989	244.618
	幂函数	$Y=2.272\ 00x^{0.788}$	0.978	436.719
	Logistic 函数	$Y=1/(1/56+0.192\ 00\times0.913\ 00^x)$	0.943	165.465
2015	线性函数	$Y=2.775\ 00+0.924\ 00x$	0.979	468.186
	二次函数	$Y=-0.295\ 00+1.254\ 00x-0.006\ 00x^2$	0.988	377.900
	三次函数	$Y=-0.022\ 00+1.190\ 00x-0.003\ 00x^2-0.000\ 03x^3$	0.988	225.185
	幂函数	$Y=2.145\ 00x^{0.782}$	0.943	164.709
	Logistic 函数	$Y=1/(1/57.6+0.226\ 00\times0.915\ 00^x)$	0.967	291.827

表 4 2014、2015 年纹枯病病株增长时间动态模型及其检验

Table 4 The dynamic models and its test results between the disease plants and the time of rice sheath blight

年份	模型	模型表达式	$R^2$	$F$ 值
2014	线性函数	$Y=21.199+5.415x$	0.880	73.255
	二次函数	$Y=-37.570+11.727x-0.107x^2$	0.968	134.186
	三次函数	$Y=-13.829+6.159x+0.135x^2-0.003x^3$	0.980	132.610
	幂函数	$Y=4.645x^{1.077}$	0.970	322.724
	Logistic 函数	$Y=1/(1/281+0.099\times0.856^x)$	0.955	210.751
2015	线性函数	$Y=-12.608+5.045x$	0.980	488.059
	二次函数	$Y=-16.194+5.430x-0.007x^2$	0.980	224.403
	三次函数	$Y=6.579+0.089x+0.226x^2-0.003x^3$	0.995	574.215
	幂函数	$Y=3.616x^{1.052}$	0.950	191.972
	Logistic 函数	$Y=1/(1/264+0.140\times0.881^x)$	0.990	986.128

在作物病害时间动态模拟中,Logistic 模型的应用较为广泛,结合本研究病斑最高点离地面高度、病株数随时间动态变化的分析,Logistic 曲线能较好反映田间纹枯病病情发展的时间动态。

2.4 病斑最高点离地面高度和病株增长随时间变化的实测值与 Logistic 曲线拟合结果比较

SPSS 输出的 Logistic 理论曲线与田间调查的病斑最高点离地面高度、病株数拟合效果图见图 1、图 2,从图 1 可以看出,水稻纹枯病 2 年病斑最高点离地面高度随时间变化情况基本一致,其理论曲线见

表 3,相关指数  $R^2$  分别为 0.943 和 0.967,相关系数标准差分别为 0.075 4 和 0.057 4,相关系数  $t$  测验的  $t$  值分别为 12.872 和 17.114;图 2 所示病株增长也表现同样的趋势,理论曲线见表 4,相关指数  $R^2$  分别为 0.955 和 0.990,相关系数标准差分别为 0.085 8 和 0.031 6,相关系数  $t$  测验的  $t$  值分别为 11.220 和 31.446, $t$  分布双侧分位的  $t_{0.01}$  显著水平为 3.169,表明病斑最高点离地面高度和病株数随时间变化 Logistic 模拟曲线和实际调查结果吻合度极显著。

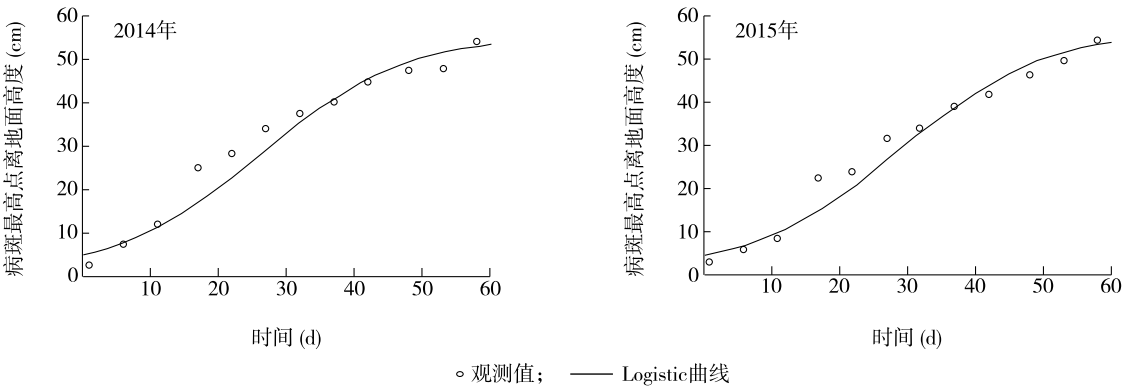


图 1 病斑最高点离地面高度随时间增长 Logistic 模型曲线图  
Fig. 1 The graph of Logistic models between the disease plot height and the time of rice sheath blight

2.5 对纹枯病病情增长的 Logistic 曲线的进一步分析

对病斑最高点离地面高度 2 年调查结果进行年度间差异性的测定。以拟合 Logistic 曲线所得的数据,进行回归系数的差异比较<sup>[27-28]</sup>。根据回归系数

差异标准差计算公式:  
$$S_{b1-b2} = \text{SQR} \{ [ (Q_1+Q_2)/(N_1+N_2-4) ] \cdot (1/L_{X1X1}+1/L_{X2X2}) \}$$

由于 2 年试验中  $N_1=N_2$ ,且自变量都相同,所以计算时可简化为:



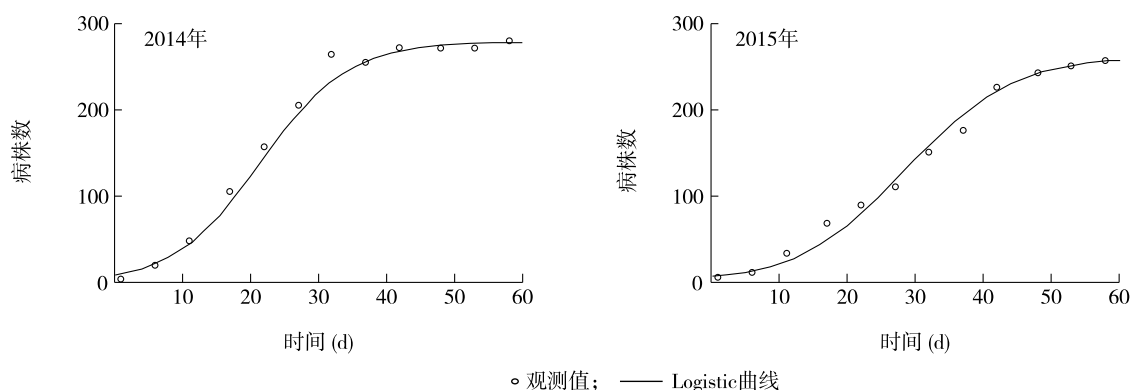


图2 病株数随时间增长 Logistic 模型曲线图

Fig. 2 The graph of Logistic models between the number of disease plants and the time of rice sheath blight

$$S_{b1-b2} = \text{SQR} \{ [(Q_1 + Q_2) / (2N - 4)] * (2 / L_{XX}) \}$$

式中  $L_{XX}$  为自变量的离均差平方和, 代入原直线方程数据后得两回归系数差异标准差为 0.008 8,  $t = 0.266 2$ 。当自由度为 20 时,  $t$  分布的双侧分位数  $t_{0.05} = 2.086 0$ , 远大于测定所得的 0.266 2, 显示两回归系数差异不大, 可以计算公共  $b$  值, 鉴于两回归方程的  $a$  值相差也很小, 所以 2 年结果可以归并计算。2 个  $u$  值平均为 56.8, 并以此进行回归分析, 所得新的 Logistic 曲线为  $Y = 56.8 / (1 + e^{2.468 4 - 0.090 0 X})$ 。  $R^2 = 0.997 7$ , 回归方程的  $F$  值等于 483.017 \*\*, 当自由度为 22 时,  $F_{0.01} = 7.945$ ,  $X^2 = 15.251$ , 其明显低于  $X^2_{0.05}$  的 33.924, 表明此回归方程的适用性极好, 理论值与实测值的误差不显著。

为了对病情发展情况做进一步的分析, 以病斑最高点离地面高度的 Logistic 曲线模型作推导, 以求得 Logistic 曲线的 2 个特征值  $t_1$  和  $t_2$ :

$$t_1 = [\ln [2 + \text{SQR}(3)] - a] / b$$

$$t_2 = [\ln [2 - \text{SQR}(3)] - a] / b$$

将 2 年试验结果所得的公共 Logistic 曲线的  $a$  值和  $b$  值代入, 则可得  $t_1$  等于 12.79 d,  $t_2$  等于 42.05 d, 曲线拐点为 27.42 d。在  $t_1$  与  $t_2$  的时间段内, 纹枯病病斑最高点离地面高度急速上升, 几乎呈直线趋势, 而在  $t_1$  之前和  $t_2$  之后病情发展则相对较为缓慢。即在田间初见纹枯病病株的 12.79 d (12 d ~ 13 d) 后, 进入病斑最高点离地面高度迅速增长期。

同样可以推导出 2 年病株数增长的曲线特征值  $t_1$  分别等于 12.89 d 和 18.16 d, 与病斑最高点离地面高度的速增期 12 ~ 13 d 几乎同步, 病斑最高点离地面高度也反映病情严重度, 故病株数增长与病情

指数增长呈正相关, 因而在纹枯病初见病株后的 13 至 42 d, 是病情发展最快的时期, 在此时段应抓紧对纹枯病的防治, 尤其是见病后的 28 d 以内是防治最为关键的时段。

本研究结果中水稻纹枯病水平扩展和垂直扩展是同步的, 也符合病害的流行规律。因此, 在生产上我们必须在纹枯病发生早期就注意对其防治, 注重于清除田间越冬病原和水稻封行前后及早进行药剂保护等防治措施的综合运用。

### 3 讨论

水稻纹枯病在沿江稻区连年重度发生, 用药次数过于频繁, 不仅加大了防治成本, 而且药剂的滥用对农田生境及其他病虫害造成影响<sup>[29]</sup>, 本研究探索了水稻纹枯病病情扩展的时间动态规律, 通过模型分析拟合, 为纹枯病的科学控制提供了理论参考。

沿江稻区田间自然发病情况下, 水稻纹枯病的病斑最高点离地面高度及病株增长与水稻生长时序间存在显著的正相关, 二次函数曲线、三次函数曲线、幂函数曲线、Logistic 函数曲线 4 种模型可较好反映两者之间的变化动态, 其中 Logistic 函数曲线拟合效果比较好。

从 Logistic 曲线特征值的推导结果可知, 初见病斑后的 12.79 d 为病斑最高点离地面高度的迅速增长期, 12.89 d 后为病株数迅速增长期, 病株增长与病情指数增长呈正相关, 沿江稻区在纹枯病初见病株后的 13 至 42 d, 是病情发展最快的时期, 在防治中要重视前期的防治工作, 力争在水稻封行前后及早进行药剂保护, 本研究的适期防治策略与病穴率、

病株率防治指标相比,更容易掌握。

本研究仅持续至水稻扬花期,在气候适宜条件下,水稻生长后期病情仍可能快速上升,甚至造成全株枯死;此外,影响水稻纹枯病病害流行的主要因素之一是田间小气候,如能与田间小气候资料结合分析,更能掌握其流行规律,获得更佳的效果,这些都有待于在以后的研究中进行完善。

## 参考文献:

- [1] 朱 凤,杨荣明,徐东祥,等. 2010 年江苏省水稻纹枯病重发原因分析及防控对策探讨[J]. 植保技术与推广,2011,31(9):29-31.
- [2] 何忠全,何 彤,毛建辉. 水稻纹枯病的危害程度、产量损失与氮、钾、密的关系[J]. 植物病理学报,1991,21(4):305-309.
- [3] 曾 泉,胡春锦,史国英,等. 氮素营养对水稻纹枯病菌致病力的影响[J]. 南方农业学报,2015,46(6):1012-1017.
- [4] TAN W Z, ZHANG W, OU Z Q, et al. Analyses of the temporal development and yield losses due to sheath blight of rice (*Rhizoctonia solani* AG1.1a)[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(9):1074-1081.
- [5] 黄庆裕,朱来佳,黎达境,等. 水稻纹枯病病情指数与病株率关系数学模型的研究及应用[J]. 广西植保, 2010, 23(1):1-3.
- [6] 何 明,何忠全,秦 敏. 我国水稻 3 大病害综合治理研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版),1999,21(1):1-6.
- [7] CAMPBELL C L, MAADDEN L V. Introduction to plant disease epidemiology[M]. New York: John Wiley & sons, 1990:76-52.
- [8] TANG Q Y, PENG S B, BURESH R J, et al. Rice varietal difference in sheath blight development and its association with yield loss at different levels of N fertilization[J]. Field Crops Research, 2007, 102(3):219-227.
- [9] KIM K H, CHO J, LEE Y H, et al. Predicting potential epidemics of rice leaf blast and sheath blight in South Korea under the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios using a rice disease epidemiology model, EPIRICE[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 203(5):191-207.
- [10] SU P, LIAO X L, ZHANG Y, et al. Influencing factors on rice sheath blight epidemics in integrated rice-duck system[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(9):1462-1473.
- [11] SAVARY S, CASTILLA N P, WILLOCQUET L. Analysis of the spatio-temporal structure of rice sheath blight epidemics in a farmer's field[J]. Plant Pathology, 2001, 50(1):53-68.
- [12] 杨 娟,王莉娟,黄胜东,等. 基于重组自交系的水稻抗纹枯病 QTL 定位[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(6):1204-1207.
- [13] WILLOCQUET L, SAVARY S, FERNANDEZ L, et al. Structure and validation of RICEPEST, a production situation-driven, crop growth model simulating rice yield response to multiple pest injuries for tropical Asia[J]. Ecological Modelling, 2002, 153(3):247-268.
- [14] 吴 祥,陈宏州,杨敬辉,等. 噻呋酰胺、氟环唑及其混配剂对水稻纹枯病的室内抑菌活性与田间防效[J]. 江苏农业科学, 2014,42(12):152-154.
- [15] PINNSCHMIDT H O, BATCHELOR W D, TENG P S. Simulation of multiple species pest damage in rice using CERES-rice[J]. Agricultural Systems, 1995, 48(2):193-222.
- [16] 汪晶晶,暴增海,马桂珍,等. 海洋细菌 GM-1 菌株对水稻纹枯病的防治作用及抗病机制初探[J]. 南方农业学报,2015,46(7):1223-1227.
- [17] GROTH D E. Effects of cultivar resistance and single fungicide application on rice sheath blight, yield, and quality[J]. Crop Protection, 2008, 27(7):1125-1130.
- [18] 陈立华,金 秋,牛 明,等. 棘孢木霉对水稻纹枯病原菌立枯丝核菌生物防治的研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):115-117.
- [19] 臧 伟,郝树广,王海扣,等. 江淮稻区褐飞虱种群动态模拟模型[J]. 南京农业大学学报, 1996, 20(2):32-38.
- [20] 李海春,傅俊范,王新一,等. 玉米大斑病病情发展及病斑扩展时间动态模型的研究[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(4):50-54.
- [21] 周如军,徐 喆,王大洲,等. 辽宁花生褐斑病发生及时间流行动态模型研究[J]. 中国油料作物学报,2014,36(4):533-537.
- [22] 李海春. 沈阳地区玉米灰斑病时间动态模型研究[J]. 玉米科学,2008,16(6):111-113.
- [23] 李成文,谭万忠,欧增奇,等. 水稻纹枯病流行的时间动态模拟分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2007,32(3):85-89.
- [24] 周如军,刘志恒,杨红魏,等. 辽宁省水稻纹枯病时间流行动态模型[J]. 植物保护, 2012,39(3):283-284.
- [25] PEARL R, REED L J. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation [J]. Springer Berlin Heidelberg, 1920, 6(6):275-288.
- [26] 王振中,林孔勋. 逻辑斯谛曲线 K 值的四点式平均值估计法[J]. 生态学报,1987,7(3):193-198.
- [27] 中国科学院数学研究所数理统计组. 回归分析方法[M]. 北京:科学出版社,1974.
- [28] 丁希泉,郑秀梅. 农业实用回归分析方法[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1989.
- [29] ZHU H F, CHENG J, LU X L, et al. Comparisons of topical and spray applications of two pesticides, triazophos and jinggangmycin, on the protein content in the ovaries and fat bodies of the brown planthopper *Nilaparvata lugens*[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2014, 114:97-101.

(责任编辑:陈海霞)