

芝麻青枯病严重度对芝麻生长与产量的影响

李信申¹ 肖运萍² 黄瑞荣¹ 魏林根² 汪瑞清² 华菊玲^{1*}

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200;

2. 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200)

摘要: 为预测芝麻青枯病造成的产量损失,以茎秆病斑长度指标确定成熟期芝麻青枯病严重度的分级标准,测定4个芝麻品种在不同青枯病严重度下的农艺性状指标、产量构成因子以及产量,建立单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重、单株产量与青枯病严重度的回归方程,在此基础上对芝麻青枯病严重度与单株产量损失率进行回归分析。结果表明:随着青枯病严重度上升,芝麻株高显著降低,空梢长度显著增长,始蒴高度显著增高;而芝麻单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重均显著下降,其中芝麻单株蒴果数降低最显著,各级芝麻病株的单株蒴果数之间显著差异,且4个芝麻品种9级病株的单株蒴果数比0级病株降低71.24%~79.08%;各级病株的单株产量之间显著差异,4个芝麻品种的1、3、5、7和9级病株平均产量损失率分别为12.56%、29.53%、54.01%、72.57%和81.98%;青枯病严重度与单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重3个产量构成因子呈极显著线性负相关;青枯病严重度 x 与产量损失率 y 的线性回归方程为 $y=2.5534+9.4132x(R^2=0.9867)$,说明青枯病严重度越高,损失率越大。

关键词: 青枯雷尔氏菌; 严重度; 芝麻; 农艺性状; 产量构成因子; 单株产量

Effects of bacterial wilt on the growth and yield traits of sesame

Li Xinshen¹ Xiao Yunping² Huang Ruihong¹ Wei Linggen² Wang Ruiqing² Hua Juling^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi Province, China;

2. Institute of Soil and Fertilizer & Resources and Environment, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi Province, China)

Abstract: To predict the yield loss of sesame infected with *Ralstonia solanacearum*, based on a grading system for bacterial wilt intensity by measuring stem lesion length of sesame at mature stage, several important characters involved in the resistance levels of four sesame varieties infected with *R. solanacearum* were investigated under natural conditions, including agronomic traits, yield and its components; linear regression equations between bacterial wilt intensity and seed yield per plant as well as between bacterial wilt intensity and seed yield loss rate per plant were established to investigate the effects of disease intensities on capsules per plant, seeds per capsule, thousand-seed weight, and seed yield per plant. The results showed that the plant height decreased significantly with increasing sesame bacterial wilt intensities, while the infertile top length and the initial capsule height increased significantly. Meanwhile, capsules per plant, seeds per capsule, and thousand-seed weight of sesame also decreased significantly, among which capsules per plant reduced the most significantly. The study also revealed that the significant differences in capsules per plant were detected among all grades of infected sesame varieties and the loss of capsules per plant reached 71.24%–79.08% among four infected sesame varieties with a score of grade nine. There were also significant differences in the seed yield per plant among all grades

基金项目: 国家自然科学基金(31360428), 江西省科技厅支撑计划重点项目(20141BBF60016), 国家特色油料产业技术体系(CARS-14-2-15)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: huajl2000@126.com

收稿日期: 2018-08-05

of infected sesame varieties and the average yield loss rates of four infected sesame varieties with grade one, grade three, grade five, grade seven, and grade nine reached 12.56%, 29.53%, 54.01%, 72.57%, and 81.98%, respectively. In brief, capsules per plant, seeds per capsule and thousand-seed weight were highly significantly linearly correlated negatively with sesame bacterial wilt intensities; the linear regression equation between bacterial wilt intensity (x) and sesame yield-loss rate (y) was: $y=2.5534+9.4132x$ ($R^2=0.9867$), it showed that the yield loss of sesame infected with *R. solanacearum* increased with the increase of bacterial wilt intensity.

Key words: *Ralstonia solanacearum*; disease intensity; sesame; agronomic traits; yield compositional components; seed yield per plant

芝麻是我国珍贵的油料作物之一,富含油酸、亚油酸、芝麻素、维生素E以及多种矿物元素,有重要的食用和药用价值(Kim et al., 2014; 黄晓荣等, 2017)。芝麻青枯病由青枯雷尔氏菌 *Ralstonia solanacearum* 引起,是一种典型的土传病害,其病原菌具有丰富的遗传多态性和可塑性,生态和寄主适应性广泛(Remenant et al., 2010),且能以休眠状态于逆境下长期存活,防治十分困难。芝麻青枯病发病率一般在10%~20%之间,严重时可达50%~70%或更高,已成为我国南方芝麻高产稳产的重要限制因素(华菊玲等, 2012)。随着全球气候变暖,该病害有逐渐向北扩张的趋势。

严重度是衡量病害对植物有机物质质量和产量造成损失程度的重要指标。明确病害严重度与产量的关系,可为作物产量预测提供依据,更为科学制定药剂防治指标和防治适期奠定基础。国内外关于病害严重度对产量影响的研究很多,如 Fall et al. (2018)研究结果表明核菌病病情指数阈值为22,当核菌病病情指数超过阈值后,病情指数每增加10%,大豆产量下降11%; Sharma-Poudyal et al. (2015)研究结果显示,在6个洋葱品种中,丝核菌病不同发病严重度对洋葱球茎数量无显著影响,但球茎产量平均降低25%~60%,尤其显著减少大球茎的数量;王宽等(2015)发现,经鞘腐病危害后玉米品种郑单958、郑58的穗长、穗粗、穗行数等无明显变化,但行粒数、出籽率、千粒重随病情级别的升高而降低,产量损失分别从1级的3.99%和13.84%增加到9级的16.72%和29.53%;范红亮等(2014)认为,随着油菜根肿病病情指数的升高,油菜分枝数、有效角果数和千粒重均呈下降趋势,产量显著下降;Aghajani et al. (2013)分析了菌核病严重度与油菜单株产量的关系,并建立了产量损失与严重度的线性模型;孙炳剑等(2011)研究结果显示,小麦黄花叶病毒病严重度为1、2、3级时,13个抗感小麦品种产量平均减少

9.6%、30.3%和33.5%,且2级和3级病株穗数、千粒重以及产量均显著低于0级植株;刘年喜等(2010)和杨丽敏等(2012)先后研究了稻曲病发病程度(病粒数)与稻谷结实率、干粒重和产量的关系,并据此确定了稻曲病的严重度分级标准;肖炎农等(2000)研究结果显示,根结线虫病病级每提高1级,丝瓜地上部分鲜重减少约6%。国内外虽有一些关于芝麻青枯病的报道,但大多集中于其病原菌鉴定(华菊玲等, 2012)、品种抗性鉴定(李信申等, 2018)以及病原菌的遗传基础分析(Xue et al., 2011; 李信申等, 2016; Li et al., 2018),未见青枯病严重度对芝麻生长和产量影响的定量化报道。

本课题组前期调查发现,芝麻青枯病常引起芝麻株高降低、空梢增长、蒴果数和单蒴粒数降低,进而降低芝麻产量。本研究以茎秆病斑长度为依据确定成熟期芝麻青枯病严重度分级标准,测定4种芝麻品种不同青枯病严重度下的农艺性状指标、产量构成因子以及单株产量,建立青枯病严重度与产量构成因子及单株产量的回归方程,并在此基础上建立芝麻青枯病严重度与单株产量、单株产量损失率的线性回归方程,以期对芝麻产量预测和芝麻青枯病防治适期提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:芝麻中抗青枯病品种赣芝5号、芝麻中感青枯病品种武宁黑芝麻、芝麻感青枯病品种青麻和芝麻高感青枯病品种中芝13,赣芝5号、武宁黑芝麻和青麻品种由国家特色油料产业技术体系南昌试验站提供,中芝13品种由中国农业科学院油料作物研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 田间试验设计

于2017年6—9月在江西省农业科学院试验基

地(28°32'N, 115°56'E)进行试验。试验田块为芝麻2年连作地, 2016年青枯病病株率35%以上。2017年6月9日播种, 每个品种播种1个小区, 小区净面积为100 m², 长25 m, 宽4 m, 开沟条播, 栽培密度约15万株/hm²。试验采用随机区组设计, 每个品种重复3次, 共12个小区。试验田块四周设2 m宽的保护行, 整个试验期间不喷施任何杀菌剂, 田间管理精细。

1.2.2 芝麻青枯病严重度分级标准

根据芝麻生长特点和成熟期青枯病病株症状特征, 综合参考DB36/T 879—2015和GB/T 23222—2008规范中的方法, 制定成熟期芝麻青枯病严重度分级标准: 0级: 全株不发病健康植株; 1级: 茎秆有短黑褐色条斑; 3级: 茎秆黑褐色条斑长度≤茎秆长度的1/3; 5级: 茎秆长度的1/3<茎秆黑褐色条斑长度≤茎秆长度的2/3; 7级: 茎秆黑褐色条斑长度>茎秆长度的2/3; 9级: 病株基本枯死。

1.2.3 芝麻主要农艺性状指标和产量构成因子测定

于2017年9月5—9日芝麻成熟期, 按照1.2.2青枯病分级标准, 每个小区随机选取0~9级有蒴芝麻植株各10株。根据张秀荣和冯祥运(2006)方法, 先测定每株芝麻的株高、始蒴高度、空梢长度和单株蒴果数; 然后每株取中部蒴果3个, 考种测定单蒴粒数; 之后将所有取样单株分袋晒干后, 考种测定单株产量, 并将每株所有蒴粒混匀后, 随机取3份, 每份1 000粒, 考种测量千粒重。以10株为1个考种单位计算每小区品种的各农艺性状指标和产量构成因子的平均值。

1.2.4 青枯病严重度和产量构成因子的回归分析

对4个芝麻品种青枯病严重度与单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重、单株产量进行回归分析。根据各级病株单株产量计算各级病株的单株产量损失率, 单株产量损失率=(0级病株单株产量-各级病株单株产量)/0级病株单株产量×100%, 建立4个芝麻品种的青枯病严重度与单株产量损失率的线性回归方程。

1.3 数据分析

采用DPS 2.00软件对数据进行统计分析, 应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 青枯病严重度对芝麻农艺性状指标的影响

4个芝麻品种病株株高随青枯病严重度的增加均降低, 除大部分相邻严重度级别病株的株高之间

差异不显著外, 其它级病株的株高之间差异显著($P<0.05$); 4个芝麻品种病株空梢长度随青枯病严重度的增加而增加, 除大部分相邻或者相隔1个病级的病株空梢长度之间差异不显著外, 其它级病株空梢长度之间差异显著($P<0.05$); 4个芝麻品种病株始蒴高度随青枯病严重度的增加而增加, 除大部分相邻或者相隔1个病级的病株始蒴高度之间无显著差异外, 其它级病株始蒴高度之间差异显著(表1)。

芝麻青枯病严重度对株高、空梢长度和始蒴高度3个农艺性状指标的影响程度不同, 其中对空梢长度的影响较大, 对株高的影响次之, 对始蒴高度的影响最小, 降幅分别为29.51%~38.35%、22.79%~32.35%和11.62%~15.23%。中芝13的空梢长度和株高受青枯病严重度影响最大, 青麻和赣芝5号次之, 武宁黑芝麻受影响最小; 而这4个芝麻品种的始蒴高度受青枯病严重度影响差异不大。

2.2 青枯病严重度对芝麻产量构成因子的影响

4个芝麻品种的单株蒴果数、单蒴粒数和千粒重均随着青枯病严重度的上升而下降。4个芝麻品种0~9级各级病株单株蒴果数之间存在显著差异; 除相邻级病株单蒴粒数之间差异不显著外, 其它级病株单蒴粒数之间差异显著; 除相邻级或者相隔1个病级的病株千粒重之间差异不显著外, 其它级病株千粒重之间差异显著(表2)。

青枯病严重度对4个芝麻品种的单株蒴果数、单蒴粒数和千粒重3个产量构成因子的影响程度不同, 其中对单株蒴果数的影响较大, 对单蒴粒数的影响次之, 对千粒重的影响最小, 降幅分别为71.24%~79.08%、19.67%~25.10%和11.49%~12.79%。不同芝麻品种的单株蒴果数和单蒴粒数受青枯病严重度影响差异较大, 而不同芝麻品种的千粒重受青枯病严重度影响差异较小(表2)。

不同发病级别的单株产量是青枯病严重度对芝麻农艺性状和产量构成因子影响的综合体现。分析结果表明, 4个芝麻品种单株产量随着青枯病严重度的增加而显著减少, 且各级病株单株产量之间均显著差异(表2)。与0级植株相比, 4个芝麻品种的1、3、5、7和9级病株单株产量降幅分别达9.06%~15.92%、27.52%~32.62%、48.62%~62.44%、69.21%~79.81%和79.24%~86.29%。不同芝麻品种单株产量受青枯病严重度影响差异较大。

2.3 青枯病严重度与产量构成因子的回归分析

4个芝麻品种的单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重、单株产量均与青枯病严重度呈极显著负线性相

关, R^2 分别为0.9712~0.9966、0.9008~0.9478、0.9218~0.9685、0.9705~0.9930(表3)。在此基础上建立4个芝麻品种的青枯病严重度与单株产量损失率的线性

回归方程, R^2 均在0.9858以上($P<0.001$,表4)。4个芝麻品种的平均单株产量损失率 y 与青枯病严重度 x 的线性回归方程为 $y=2.5534+9.4132x(R^2=0.9867)$ 。

表1 青枯病严重度对4个芝麻品种主要农艺性状指标的影响

Table 1 Effects of bacterial wilt intensities on main agronomic traits of four sesame varieties

品种 Variety	严重度级别 Intensity scale	株高 (cm) Plant height	始蒴高度 (cm) Initial capsule height	空梢长度 (cm) Infertile top length
赣芝5号 Ganzhi 5	0	136.27±1.03 a	51.69±0.34 d	6.62±0.35 c
	1	135.11±0.73 a	52.24±1.04 d	7.05±0.30 bc
	3	130.13±2.06 b	53.72±1.03 cd	7.45±0.30 bc
	5	113.27±1.61 c	55.38±1.03 bc	7.86±0.16 ab
	7	106.37±1.31 d	57.01±1.05 ab	8.51±0.11 a
	9	105.21±1.74 d	58.02±0.86 a	8.57±0.50 a
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	0	145.48±2.34 a	53.82±0.78 d	5.32±0.28 c
	1	143.58±1.84 ab	54.36±0.56 d	5.64±0.15 bc
	3	138.80±3.37 b	56.28±1.33 cd	5.97±0.22 bc
	5	123.59±2.04 c	58.33±0.99 bc	6.26±0.30 ab
	7	115.62±2.75 d	60.12±0.87 ab	6.85±0.20 a
	9	111.42±0.64 d	61.11±1.43 a	6.92±0.35 a
青麻 Qingma	0	124.58±1.07 a	38.09±0.45 d	5.92±0.44 c
	1	123.51±1.29 ab	38.44±1.05 d	6.27±0.39 bc
	3	120.07±2.28 b	40.15±0.91 cd	6.75±0.33 abc
	5	107.46±0.82 c	41.79±0.64 bc	7.14±0.43 ab
	7	95.25±0.96 d	43.00±1.11 ab	7.79±0.39 a
	9	90.96±1.81 d	43.89±0.93 a	7.90±0.38 a
中芝13 Zhongzhi 13	0	147.29±1.51 a	58.96±0.85 d	11.29±0.75 c
	1	145.39±2.09 ab	59.65±0.59 d	12.02±0.83 c
	3	140.20±2.49 b	61.92±1.15 c	13.01±0.69 bc
	5	125.17±2.57 c	63.51±0.41 bc	14.02±0.32 ab
	7	103.55±2.18 d	64.93±0.78 ab	15.17±0.41 a
	9	99.64±1.18 d	65.81±1.13 a	15.62±0.57 a

表中数据为平均数±标准误。同品种同列不同小写字母表示经Duncan氏新复级差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column of same variety indicate significant different at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 2 青枯病严重度对 4 个芝麻品种产量构成因子的影响

Table 2 Effects of bacterial wilt intensities on yield components of four sesame varieties

品种 Variety	严重度级别 Intensity scale	单株蒴果数 Capsules per plant	单蒴粒数 Seeds per capsule	千粒重 (g) Thousand-seed weight	单株产量 (g) Yield per plant
赣芝 5 号 Ganzhi 5	0	48.13±1.45 a	63.81±1.61 a	2.84±0.08 a	8.72±0.44 a
	1	44.11±1.38 b	63.49±1.02 a	2.83±0.08 a	7.93±0.05 b
	3	36.45±0.54 c	62.03±0.80 ab	2.79±0.09 ab	6.32±0.25 c
	5	27.98±0.33 d	60.05±1.11 b	2.67±0.13 ab	4.48±0.11 d
	7	19.26±0.21 e	54.23±1.30 c	2.55±0.09 b	2.66±0.12 e
	9	13.84±0.06 f	51.26±0.44 c	2.51±0.06 b	1.81±0.04 f
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	0	63.21±1.15 a	64.62±0.76 a	2.58±0.04 a	10.53±0.24 a
	1	56.96±0.27 b	63.94±1.21 a	2.57±0.13 a	9.37±0.24 b
	3	47.63±0.47 c	62.25±1.85 ab	2.53±0.16 ab	7.50±0.43 c
	5	35.21±0.44 d	60.82±0.60 b	2.46±0.11 ab	5.27±0.20 d
	7	25.42±0.46 e	55.03±0.99 c	2.32±0.09 ab	3.24±0.09 e
	9	17.84±0.97 f	51.83±0.45 d	2.25±0.08 b	2.08±0.06 f
青麻 Qingma	0	56.25±1.17 a	67.58±1.64 a	2.61±0.09 a	9.93±0.32 a
	1	49.36±0.96 b	66.72±1.25 a	2.59±0.10 a	8.52±0.29 b
	3	41.93±1.32 c	65.31±0.79 ab	2.57±0.07 ab	7.03±0.08 c
	5	28.56±0.38 d	62.33±1.13 b	2.51±0.11 ab	4.47±0.25 d
	7	21.28±0.39 e	56.17±1.12 c	2.35±0.12 ab	2.81±0.05 e
	9	14.62±0.13 f	52.51±0.84 d	2.31±0.09 b	1.77±0.09 f
中芝 13 Zhongzhi 13	0	72.29±1.65 a	68.65±1.80 a	2.76±0.07 a	13.71±0.42 a
	1	62.27±1.29 b	67.82±1.27 a	2.73±0.10 a	11.53±0.29 b
	3	51.63±1.38 c	66.25±0.93 ab	2.70±0.16 a	9.24±0.56 c
	5	30.81±1.17 d	64.51±0.67 b	2.59±0.11 ab	5.15±0.19 d
	7	20.22±0.43 e	55.13±1.47 c	2.48±0.07 ab	2.77±0.07 e
	9	15.12±0.30 f	51.42±0.60 d	2.41±0.06 b	1.88±0.09 f

表中数据为平均数±标准误。同品种同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复级差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column of the same variety indicate significant different at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 3 4 个芝麻品种青枯病严重度级别与单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重及单株产量的线性回归方程

Table 3 Linear regression equations between bacterial wilt intensity scales and capsules per plant, seeds per capsule, thousand-seed weight, seed yield per plant of four sesame varieties

品种 Variety	单株蒴果数 Capsules per plant	单蒴粒数 Seeds per capsule
赣芝 5 号 Ganzhi 5	$y_1=47.9275-3.9118x(R^2=0.9966^{***})$	$y_2=65.1618-1.4440x(R^2=0.9319^{**})$
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	$y_1=62.3960-5.1243x(R^2=0.9955^{***})$	$y_2=65.7236-1.4341x(R^2=0.9478^{**})$
青麻 Qingma	$y_1=54.8432-4.6824x(R^2=0.9878^{***})$	$y_2=68.9049-1.7124x(R^2=0.9350^{**})$
中芝 13 Zhongzhi 13	$y_1=69.6311-6.6179x(R^2=0.9712^{***})$	$y_2=70.4889-1.9661x(R^2=0.9008^{**})$
品种 Variety	千粒重 Thousand-seed weight	单株产量 Seed yield per plant
赣芝 5 号 Ganzhi 5	$y_3=2.8674-0.0406x(R^2=0.9622^{***})$	$y_4=8.6625-0.8022x(R^2=0.9917^{***})$
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	$y_3=2.6121-0.0385x(R^2=0.9520^{***})$	$y_4=10.3503-0.9645x(R^2=0.9930^{***})$
青麻 Qingma	$y_3=2.6380-0.0355x(R^2=0.9218^{**})$	$y_4=9.6122-0.9257x(R^2=0.9854^{***})$
中芝 13 Zhongzhi 13	$y_3=2.7758-0.0398x(R^2=0.9685^{***})$	$y_4=13.0780-1.3675x(R^2=0.9705^{***})$

$y_1\sim y_4$: 单株蒴果数、单蒴粒数、千粒重和单株产量; x : 青枯病严重度级别。**和***分别表示在 $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 水平显著相关。 $y_1\sim y_4$: Capsules per plant, seeds per capsule, thousand-seed weight, and seed yield per plant, respectively; x : bacterial wilt intensity scale. ** or *** indicates significant correlation at $P<0.01$ or $P<0.001$ level, respectively.

表4 4个芝麻品种青枯病严重度与芝麻单株产量损失率的线性回归分析

Table 4 Linear regression analysis between bacterial wilt intensities and seed yield loss rates per plant in four sesame varieties

品种 Variety	线性回归方程 Linear regression equation	决定系数 Determination coefficient R^2
赣芝5号 Ganzhi 5	$y=0.6586+9.2003x$	0.9964***
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	$y=1.7145+9.1553x$	0.9926***
青麻 Qingma	$y=3.2208+9.3206x$	0.9881***
中芝13 Zhongzhi 13	$y=4.6211+9.9741x$	0.9858***

y: 单株产量损失率; x: 青枯病严重度级别; *** 表示在 $P<0.001$ 水平显著相关。y: Yield loss rate per plant; x: bacterial wilt intensity scale; *** indicates significant correlation at $P<0.001$ level.

3 讨论

关于作物青枯病严重度划分,大多是以植株叶片萎蔫程度为划分指标,如徐进等(2016)确定的烟草青枯病0~4级分级标准,党峰峰等(2013)确定的辣椒青枯病0~5级分级标准;而Yamazaki(2001)以整个植株的萎蔫程度为划分指标确定番茄青枯病0~4级分级标准,任广伟等(2008)以叶片枯萎程度和茎秆病斑长度为划分指标建立烟草青枯病0~9级分级标准。华菊玲等(2015)以叶片萎蔫程度为指标确定了青枯病0~9级6个级别的分级标准,而该分级标准仅用于评价芝麻终花期以前的芝麻青枯病严重度。芝麻成熟期,其中下部叶片大量脱落,故本研究以茎秆病斑长度为依据,并采用国际上通用的0、1、3、5、7、9等级将芝麻青枯病发病程度划分为6个级别。青枯病病害发生初期,严重度较低,持续时间相对较长,为准确反映此时期病情,本研究划分的1、3级级差较小,而5、7、9级级差较大,这种分级级差特征符合Weber-Fechner原理,即在严重度分级时,级差应小,而后则级差要逐渐增大(Hebert, 1982)。

在3个农艺性状参数中,青枯病严重度对芝麻始蒴高度的影响最小,对芝麻空梢长度影响最大。芝麻青枯病发生初期,一般芝麻茎秆下部出现水渍状褪绿湿斑和叶片萎蔫,因而对始蒴高度影响不大。青枯雷尔氏菌侵入植株后,进入木质部,导管定殖繁衍,阻碍水分和营养物质向上输送,不同发病程度的植株导管内青枯雷尔氏菌分泌的胞外多糖等黏性液体浓度不同(Emge et al., 2016; Lowe-Power et al., 2018),植株向上输送水分和养分的压势和流速也不同,致使植株上部营养供给迥异(Hoffman et al., 2015; Caldwell et al., 2017)。芝麻青枯病还往往会导致芝麻病株顶端产生溃疡状裂缝,并且不同严重度病株裂缝长度也存在差异(华菊玲等, 2012),而

裂缝的产生进一步影响病株上部的营养输送和蒴果发育,从而导致青枯病严重度对空梢长度的影响最大。芝麻青枯病通常于初花期开始发病,盛花期为病情扩展和蔓延高峰期,而盛花期是芝麻营养生长和生殖生长并进时期,也是决定芝麻植株蒴果数和蒴粒数的关键阶段(Wang et al., 2012; 卫双玲等, 2015),此阶段芝麻对逆境最敏感(孙建等, 2010)。陈丹丹等(2018)研究结果显示,盛花期渍水对芝麻地上部分干物质分配的影响主要体现在降低蒴果分配指数;孙建等(2010)研究结果表明,盛花期干旱胁迫处理对芝麻植株蒴果数和蒴粒数影响最大;Kim et al.(2007)认为,干旱胁迫导致大部分供试芝麻品种叶片表皮蜡质含量增加,叶片表皮蜡质含量与种子产量显著负相关,并且显著降低种子数量而非种子大小。本研究结果也显示,在3个产量构成因子中,青枯病严重度对单株蒴果数影响最大、其次是单蒴粒数,这与上述芝麻逆境胁迫研究结果一致。

病害严重度与作物产量损失的回归分析,既可采用线性模型,也可采用指数模型、逻辑斯蒂模型等非线性模型。Fall et al.(2018)运用线性模型、单S曲线模型和双S曲线模型分析大豆菌核病与产量损失的相关性,认为双S曲线模型与实际数值拟合度最高;范红亮等(2014)报道韦布尔模型适合分析油菜根肿病严重度与油菜产量损失的回归关系;Aghajani et al.(2013)和欧高财等(2012)研究结果显示,线性回归模型是分析菌核病严重度与油菜单株产量、南方黑条矮缩病与水稻产量损失关系的最优模型。本研究也采用线性回归模型对青枯病严重度与芝麻产量损失进行分析,该模型与实测值拟合度高,相关系数显著水平达 $P<0.001$ 以上。

综上所述,青枯病严重度对芝麻株高、空梢长度、始蒴高度、单株蒴数、单蒴粒数、千粒重均产生显著影响,各级病株的单株产量之间存在显著差异。

下一步有待于建立芝麻青枯病流行时空动态模型、经济允许水平估算模型,结合已建立的产量损失回归模型,构建防治指标动态模型,以期对芝麻青枯病的高效精准防控提供技术支撑。

参 考 文 献 (References)

- Aghajani MA, Safaie N, Alizadeh A. 2013. Yield loss assessment of *Sclerotinia* stem rot of canola in Iran. *Journal of Crop Protection*, 2 (2): 229–240
- Caldwell D, Kim BS, Iyer-Pascuzzi AS. 2017. *Ralstonia solanacearum* differentially colonizes roots of resistant and susceptible tomato plants. *Phytopathology*, 107(5): 528–536
- Chen DD, Li GQ, Zhou M, Zhang JT, Hu F, Li YL, Zheng GQ. 2018. Quantitative analysis of dry matter accumulation and distribution in sesame during flowering period under waterlogging stress. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 47(1): 18–25 (in Chinese) [陈丹丹, 李国强, 周萌, 张建涛, 胡峰, 李亚丽, 郑国清. 2018. 芝麻干物质积累与分配对盛花期渍水响应的量化分析. *河南农业科学*, 47(1): 18–25]
- Dang FF, Lei YF, Guan DY, Wang ZX, He SL. 2013. Identification and evaluation of resistance to bacterial wilt in pepper. *Plant Science Journal*, 31(4): 378–384 (in Chinese) [党峰峰, 雷玉芬, 官德义, 王再兴, 何水林. 2013. 辣椒种质资源抗青枯病的鉴定与评价. *植物科学学报*, 31(4): 378–384]
- Emge P, Moeller J, Jang H, Rusconi R, Yawata Y, Stocker R, Vogei V. 2016. Resilience of bacterial quorum sensing against fluid flow. *Scientific Reports*, 21(6): 33115
- Fall MJ, Boyse JF, Wang D, Willbur JF, Smith DL, Chilvers MI. 2018. Case study of an epidemiological approach dissecting historical soybean *Sclerotinia* stem rot observations and identifying environmental predictors of epidemics and yield loss. *Phytopathology*, 108(4): 469–478
- Fan HL, Li XM, Tan GJ, Bao ZM, Fang CH. 2014. The yield loss caused by rape clubroot disease. *Journal of Plant Protection*, 41 (2): 250–252 (in Chinese) [范红亮, 李晓萌, 檀根甲, 鲍周明, 方春华. 2014. 油菜根肿病危害损失. *植物保护学报*, 41(2): 250–252]
- Hebert TT. 1982. The rationale for the Horsfall-Barratt plant disease assessment scale. *Phytopathology*, 72(10): 1269
- Hoffman MD, Zucker LI, Brown PJ, Kysela DT, Brun YV, Jacobson SC. 2015. Timescales and frequencies of reversible and irreversible adhesion events of single bacterial cells. *Analytical Chemistry*, 87(24): 12032–12039
- Hua JL, Hu BS, Li XM, Huang RR, Liu GR. 2012. Identification of the pathogen causing bacterial wilt of sesame and its biovars. *Journal of Plant Protection*, 39(1): 39–44 (in Chinese) [华菊玲, 胡白石, 李湘民, 黄瑞荣, 刘光荣. 2012. 芝麻细菌性青枯病病原菌及其生化变种鉴定. *植物保护学报*, 39(1): 39–44]
- Huang XR, Zhang LX, Li PW, Zhang XR, Ma F, Zhang W, Zhang Q. 2017. Comparison of amino acid composition of black and white sesame seeds. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 39(1): 123–127 (in Chinese) [黄晓荣, 张良晓, 李培武, 张秀荣, 马飞, 张文, 张奇. 2017. 黑芝麻和白芝麻中氨基酸组成的比较研究. *中国油料作物学报*, 39(1): 123–127]
- Kim JH, Seo WD, Lee SK, Lee YB, Park CH, Ryu HW, Lee JH. 2014. Comparative assessment of compositional components, antioxidant effects, and lignan extractions from Korean white and black sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds for different crop years. *Journal of Functional Foods*, 7: 495–505
- Kim KS, Park SH, Jenks MA. 2007. Changes in leaf cuticular waxes of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants exposed to water deficit. *Journal of Plant Physiology*, 164(9): 1134–1143
- Li XS, Deng XQ, Huang RR, Hua JL. 2016. Distribution and dynamic change of *Ralstonia solanacearum* in sesame plant. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 38(5): 859–865 (in Chinese) [李信申, 邓小强, 黄瑞荣, 华菊玲. 2016. 青枯雷尔氏菌在芝麻植株内的分布及消长动态. *江西农业大学学报*, 38(5): 859–865]
- Li XS, Huang XM, Chen GY, Zou LF, Wei LG, Hua JL. 2018. Complete genome sequence of the sesame pathogen *Ralstonia solanacearum* strain SEPPX 05. *Genes & Genomics*, 40(6): 657–668
- Li XS, Rao JH, Xiao YP, Wei LG, Wang RQ, Huang RR, Huang R, Hu JK, Hua JL. 2018. Identification of resistance of sesame (*Sesamum indicum*) germplasm resources to bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*). *Acta Agriculturae Jiangxi*, 30(1): 54–58 (in Chinese) [李信申, 饶建辉, 肖运萍, 魏林根, 汪瑞清, 黄瑞荣, 黄蓉, 胡建坤, 华菊玲. 2018. 芝麻种质资源抗青枯病鉴定. *江西农业学报*, 30(1): 54–58]
- Liu NX, Wang JH, Liu EM, Li XJ, Zheng HB. 2010. Rice yield loss caused by *Ustilaginoidea virens* and the factors for investigation and forecasting. *Plant Protection*, 36(4): 145–147 (in Chinese) [刘年喜, 王金辉, 刘二明, 李小娟, 郑和斌. 2010. 稻曲病产量损失测定及调查测报因子研究. *植物保护*, 36(4): 145–147]
- Lowe-Power TM, Khokhani D, Allen C. 2018. How *Ralstonia solanacearum* exploits and thrives in the flowing plant xylem environment. *Trend in Microbiology*, 26(11): 929–942
- Ou GC, Yi GH, Guo HM, Ren F, Zhang ZB, Zheng HB. 2012. Preliminary study on rice yield loss caused by *Southern rice black-streaked dwarf virus* disease and the forecasting factors related with the disease. *Plant Protection*, 38(3): 125–127 (in Chinese) [欧高财, 易光辉, 郭海明, 任凡, 张政兵, 郑和斌. 2012. 南方水稻黑条矮缩病对水稻产量损失及测报因子的初步研究. *植物保护*, 38(3): 125–127]
- Remenant B, Coupat-Goutaland B, Guidot A, Cellier G, Wicker E, Allen C, Fegan M, Pruvost O, Elbaz M, Calteau A, et al. 2010. Genomes of three tomato pathogens within the *Ralstonia solanacearum* species complex reveal significant evolutionary divergence. *BMC Genomics*, 11: 379
- Sharma-Poudyal D, Paulitz TC, du Toit LJ. 2015. Study patches in onion bulb crops in Oregon and Washington: etiology and yield

- loss. *Plant Disease*, 99(5): 648–658
- Sun BJ, Li HL, Yang XZ, Xie LH, Chen JP. 2011. Evaluation of commercial wheat cultivars for resistance to *Wheat yellow mosaic virus* in Henan. *Journal of Plant Protection*, 38(2): 102–108 (in Chinese) [孙炳剑, 李洪连, 杨新志, 谢联辉, 陈剑平. 2011. 河南省主要推广品种对小麦黄花叶病毒抗性的评价. *植物保护学报*, 38(2): 102–108]
- Sun J, Rao YL, Le MW, Yan TX, Yan XW, Zhou HY. 2010. Effects of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 32(4): 525–533 (in Chinese) [孙建, 饶月亮, 乐美旺, 颜廷献, 颜小文, 周红英. 2010. 干旱胁迫对芝麻生长与产量性状的影响及其抗旱性综合评价. *中国油料作物学报*, 32(4): 525–533]
- Wang K, Cao ZY, Li PP, Yin HF, Liu J, Dong JG. 2015. Analysis of the correlation between diseased-degree of corn sheath rot and corn lodging and yield loss. *Journal of Plant Protection*, 42(6): 949–956 (in Chinese) [王宽, 曹志燕, 李朋朋, 尹海峰, 刘俊, 董金皋. 2015. 鞘腐病发生程度与玉米倒伏及产量损失间的相关性分析. *植物保护学报*, 42(6): 949–956]
- Wang LH, Zhang YX, Qi XQ, Li DH, Wei WL, Zhang XR. 2012. Global gene expression responses to waterlogging in roots of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(6): 2241–2249
- Wei SL, Gao TM, Wu Y, Li F, Lu HL, Wang L, Zhang HY. 2015. Effects of high temperature stress on photosynthetic characteristic and grain yield in sesame (*Sesamum indicum*). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 28(5): 1977–1981 (in Chinese) [卫双玲, 高桐梅, 吴寅, 李丰, 芦海灵, 王龙, 张海洋. 2015. 高温胁迫对芝麻光合特性及产量的影响. *西南农业学报*, 28(5): 1977–1981]
- Xiao YN, Wang MZ, Fu YP, Zeng FT. 2000. Comparison of different methods to estimate root-knot nematode disease grade. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 19(4): 336–338 (in Chinese) [肖炎农, 王明祖, 付艳萍, 曾凡涛. 2000. 蔬菜根结线虫病病情分级方法比较. *华中农业大学学报*, 19(4): 336–338]
- Xu J, Xu JS, Zhang H, Feng J, Gu G. 2016. Study on Granville wilt resistance screening in tobacco using an *in vitro* plantlet inoculation method. *Chinese Tobacco Science*, 37(5): 51–56 (in Chinese) [徐进, 许景升, 张昊, 冯洁, 顾钢. 2016. 烟草品种青枯病抗性的组培苗接种鉴定方法研究. *中国烟草科学*, 37(5): 51–56]
- Xue QY, Yin YN, Yang W, Heuer H, Prior P, Guo JH, Smalla K. 2011. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from China assessed by PCR-based fingerprints to unravel host plant- and site-dependent distribution patterns. *FEMS Microbiology Ecology*, 75(3): 507–519
- Yamazaki H. 2001. Relation between resistance to bacterial wilt and calcium nutrition in tomato seedlings. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 35(3): 163–169
- Yang LM, Chen L, Xu J, Liu JC, Ding KJ. 2012. Estimation of yield loss caused by rice false smut. *Journal of Anhui Agricultural University*, 39(3): 474–477 (in Chinese) [杨丽敏, 陈莉, 许娟, 刘家成, 丁克坚. 2012. 稻曲病产量损失估计研究. *安徽农业大学学报*, 39(3): 474–477]
- Zhang XR, Feng XY. 2006. Description criterion and data standard for sesame germplasm evaluation. Beijing: China Agriculture Press, pp. 53–55 (in Chinese) [张秀荣, 冯祥运. 2006. 芝麻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, pp. 53–55]

(责任编辑: 张俊芳)