

草地贪夜蛾对不同生育期玉米产量的影响及防治指标



陈浩梁¹ 林璐璐¹ 钟永志¹ 张 峰² 谢明惠¹ 张光玲¹ 苏卫华^{1*}

(1. 安徽省农业科学院植物保护与农产品质量安全研究所, 安徽-CABI农业有害生物防控联合实验室, 合肥 230031;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业农村部-CABI生物安全联合实验室, 北京 100193)

摘要: 为明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 对我国玉米产量造成的损失, 并制订相应的防治指标, 在玉米不同生育期分别接入不同数量的草地贪夜蛾3龄幼虫, 研究其为害玉米后对产量和其他相关指标造成的影响, 建立不同生育期产量损失与不同为害率之间的回归方程。结果显示, 大喇叭口期接虫对玉米成株期株高有显著影响, 玉米各生长时期接入不同数量草地贪夜蛾后对产量损失均有显著影响。根据防治成本及玉米产量等指标计算出国内玉米的经济危害允许水平为5.56%。利用回归方程计算出玉米小喇叭口期、大喇叭口期以及吐丝期的防治指标分别为为害率达8.72%、7.99%和6.17%。

关键词: 草地贪夜蛾; 玉米; 不同生育期; 产量; 防治指标

Effects of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* on corn yield at different growth stages and the control threshold

Chen Haoliang¹ Lin Lulu¹ Zhong Yongzhi¹ Zhang Feng² Xie Minghui¹

Zhang Guangling¹ Su Weihua^{1*}

(1. Anhui-CABI Joint Laboratory for Agricultural Pest Control, Institute of Plant Protection and Agro-Products Safety, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 2. Ministry of Agriculture and Rural Affairs-CABI Joint Laboratory for Bio-Safety, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: To clarify the corn yield loss caused by fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China and calculate the control threshold, the 3rd-instar larvae of *S. frugiperda* were introduced at different growth stages of corn to study the effects of its damage on yield and other related indexes. The regression equations between yield loss and damage rates at different growth stages were established. The results showed that the plant height of corn was significantly affected by insect infestation at late whorl stage, and the yield loss was significantly affected by different damage rates of *S. frugiperda* at all growth stage of corn. According to the control cost and corn yield index, the economic injury level of corn in China was 5.56%. The regression equations were then used to calculate the control thresholds at early whorl stage, late whorl stage, and silk stage, which were 8.72%, 7.99%, and 6.17%, respectively.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; corn; different growth stages; yield; control threshold

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科昆虫, 原发地位于美洲热带和亚热带地区 (Sparks, 1979), 寄主范围较广, 多达 76 科 353 种植

物, 一般为害玉米、水稻和甘蔗等作物 (Montezano et al., 2018), 其中玉米是草地贪夜蛾最主要的寄主植物之一, 草地贪夜蛾为害严重时造成的玉米产量损

失超过50%(Day et al., 2017)。2015年前,草地贪夜蛾仅在美洲为害,2016年在非洲尼日利亚首次被发现为害玉米(Goergen et al., 2016),由于其远距离迁飞能力,之后2年迅速扩散至整个非洲及印度半岛和东南亚,并于2019年1月入侵中国(FAO, 2017; 2019; Sharanabasappa et al., 2018)。草地贪夜蛾现今在非洲及亚洲人口密度较大的发展中国家为害较重,对当地的粮食安全造成了严重影响,也对草地贪夜蛾的有效防控提出了更高要求。防治草地贪夜蛾的方法很多,例如种植Bt玉米(Buntin et al., 2004; Storer et al., 2012)、农业生态防治(Harrison et al., 2019)、生物防治(Molina-Ochoa et al., 2003; Kenis et al., 2019; Koffi et al., 2020)和性信息素诱集(Batista-Pereira et al., 2006; Unbehend et al., 2014),但目前化学防治仍是主要的防控途径(Pitre, 1986; Yu, 1991; 吴超等, 2019)。

对于新的入侵物种草地贪夜蛾来说,我国现在采用见虫即防的应急用药策略,且没有明确具体的防治指标。研究表明,玉米是我国草地贪夜蛾最适寄主,也是被为害最重的作物,随着草地贪夜蛾在国内的定殖,其将成为玉米田的一种常发性害虫,亟需制订适合我国国情的防治指标,用于指导玉米种植区草地贪夜蛾的有效防控(姜玉英等, 2019; 李定银等, 2019; 杨普云等, 2019)。关于玉米害虫的防治指标,根据害虫种类、分布地区及玉米各生育期为害程度的不同有所差异,如李丽莉等(2015)根据防治的直接收益和成本得出夏玉米苗期二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 幼虫的防治指标为3头/株,此时玉米缺苗率在6%~7%左右。孙立娟等(2020)结合当前农业绿色发展和农药减施的要求,提出春玉米和夏玉米产量损失的经济阈值分别为3.00%和3.75%,当用化学农药防治时,玉米螟的防治指标应分别设定为300头/百株和400头/百株。

目前防治指标有多种评估参数,其中使用较多的是经济危害允许水平,该参数受防治成本、作物产量、作物价格和防治效果等多种因素影响,是决定害虫防治指标制订的重要参数(钟涛等, 2020)。本研究通过分析在不同玉米生长期(小喇叭口期、大喇叭口期以及吐丝期)接入不同数量草地贪夜蛾后对玉米株高、雌穗长、雌穗直径、千粒重和产量等指标的影响,结合草地贪夜蛾为害率与产量损失率之间的拟合方程以及玉米的经济危害允许水平计算玉米不同生长期相应的防治指标,以期国内草地贪夜蛾

科学有效的防控提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米:玉米品种为徽玉900,种子由安徽省徽道农业科技有限公司提供。

供试虫源:草地贪夜蛾为安徽省黄山市黄山区采集种群,饲养于温度(25±1)℃、光照周14 L:10 D、相对湿度(70±10)%的人工气候室内。产卵时采用徽玉900玉米种植至3~4片叶完全展开时的叶片诱导其产卵,孵化后继续使用玉米叶群聚饲养至3龄,3龄后用人工饲料单独饲养,待成虫羽化后一起放入笼中交配产卵。本试验选用大小一致的3龄幼虫用于接虫试验。

供试药剂:5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(ema-mectin benzoate)微乳剂,青岛润生农化有限公司。

1.2 方法

1.2.1 玉米种植

本试验于安徽省合肥市长丰县岗集镇三十埠村(31.98° N, 117.19° E)进行,试验田土壤为细粒壤,肥力中等,前茬作物为西瓜,冬季抛荒。育苗采用育苗盘进行,在育苗盘底部按照2:1加入土壤和营养土的混合土,然后放入玉米种子,浇水,再在表面覆上营养土。采取育苗移栽方法种植玉米可以使其长势保持一致,为便于后续试验及田间管理,将玉米分3期播种。第1期玉米于2020年6月1号育苗,6月15日移栽入田,9月20日收获;第2期玉米于6月20号育苗,7月6号移栽入田,10月9日收获;第3期玉米于7月10日育苗,7月26号移栽入田,10月30日收获。每个玉米生长期接虫时设置0、5%、10%、20%、40%和80%六个为害率,每个为害率处理设置3个重复,即每个玉米生长期设置18个小区,3个玉米生长期共设置54个小区,每个小区大小为宽2 m×长4 m,种植玉米30株以上,播种密度为57 000株/hm²。整个试验在钢架大棚中进行,后期钢架大棚上覆盖防鸟网,以防玉米雌穗受鸟为害。

1.2.2 接虫方法

2020年8月4日,当第1期播种玉米生长到吐丝期(玉米生长阶段R1期),第2期播种玉米生长到大喇叭口期(玉米10~12片叶完全展开,即V10~V12阶段),第3期播种玉米生长到小喇叭口期(4~6片叶完全展开,即V4~V6阶段)时,在不同时期播种的玉米中选取20株长势一致的玉米作为一个处理小区,按照上述小区为害率0(CK)、5%、10%、20%、40%

和80%的6个处理进行随机接虫,即6个处理小区接虫的玉米株数分别为0、1、2、4、8、16株,每株接虫1头。对被选取和处理的玉米植株分别挂牌,每处理重复3次。接虫时选取草地贪夜蛾3龄幼虫,隔日观察为害状,确定接虫是否成功,若失败则重接。吐丝期玉米接虫至玉米雌穗丝上,小喇叭口期和大喇叭口期接虫至玉米芯叶。

1.2.3 田间管理及调查方法

在接虫前如发现虫害用5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂按说明书兑水喷雾防治,接虫前7 d停止施药,接虫后20 d见虫开始施药,以确保玉米前期没有被其他害虫为害,接虫后有且仅有接虫的一代草地贪夜蛾为害。玉米结实期,每株玉米只留1个玉米雌穗,将其余玉米雌穗去除。

玉米收获时分别测量并记录各处理小区玉米的植株高度。同时,收获玉米雌穗,按照不同小区、是否接虫分别标记装袋,置于晒谷场将水分晾干后,测量和记录玉米雌穗长度、雌穗直径、雌穗粒数等指标,最后将玉米雌穗脱粒,并按照各小区装袋标记,测定小区千粒重。对照选取无虫害的植株进行相关数据的采集和记录。

1.2.4 经济危害允许水平及防治指标确定方法

根据1.2.3所得数据计算玉米产量和产量损失率,玉米产量=小区收获的穗棒平均穗粒数×千粒重/1 000×57 000;产量损失率=(对照产量-接虫后产

量)/对照产量×100%。根据产量损失率和为害率之间的关系获得自然对数回归方程。根据公式 $C \times F / Y \times P \times E \times 100\%$ 计算出草地贪夜蛾的经济危害允许水平,其中 C 是玉米地防治成本,约为450元/hm²(包括人工和药剂); Y 是玉米产量,在本试验中为9 000 kg/hm²; P 是玉米市场收购价,约为2元/kg; E 是防治效果,在本试验中为90%; F 是经济调整系数,在本试验中设定为2,即按收益为花费的2倍进行校正。

将经济危害允许水平代入产量损失率和为害率的自然对数回归方程,即可获得不同生育期玉米被草地贪夜蛾为害的防治指标。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 16.0软件进行统计分析,用单因素ANOVA方差分析,采用Tukey's b测验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 对玉米植株高度的影响

通过分析不同生长期接虫对玉米不同生长指标的影响可知,小喇叭口期及吐丝期接虫对玉米株高无显著影响(小喇叭口期: $F=0.863$, $df=1, 296$, $P=0.354$;吐丝期: $F=0.199$, $df=1, 344$, $P=0.656$),大喇叭口期接虫对玉米株高有显著影响($F=6.072$, $df=1, 371$, $P=0.014$)(表1)。

表1 不同生长期接虫对玉米株高的影响

Table 1 Effects of infestation by *Spodoptera frugiperda* on plant height at different corn growth stages

接虫时期 Stage	株高 Plant height/cm	
	接虫处理 Inoculated with <i>S. frugiperda</i>	不接虫处理 Without inoculation
小喇叭口期 Early whorl stage (V4-V6)	251.32±2.17 a	249.18±1.14 a
大喇叭口期 Late whorl stage (V10-V12)	248.28±1.89 b	253.58±1.06 a
吐丝期 Silk stage (R1)	249.68±1.81 a	248.58±1.33 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示同一时期内接虫和不接虫处理经Tukey's b法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference between infestation by *S. frugiperda* and the control by Tukey's b test ($P<0.05$).

小喇叭口期不同为害率对玉米株高无显著影响($F=1.675$, $df=5, 292$, $P=0.234$),但为害率高的小区整体株高比为为害率低的小区高(表2)。大喇叭口期为害率对玉米株高有显著影响($F=3.134$, $df=5, 367$, $P=0.009$),为害率高的小区株高矮,为害率低的小区株高相对较高,且对照及5%为害率的小区株高显著高于80%为害率的小区株高(80% vs CK: $F=8.469$, $df=1, 118$, $P=0.004$; 80% vs 5%: $F=9.066$, $df=1, 122$, $P=0.003$)(表2)。小喇叭口期和吐丝期不同

为害率对玉米株高无显著影响(小喇叭口期: $F=1.375$, $df=5, 292$, $P=0.234$;吐丝期: $F=0.076$, $df=5, 340$, $P=0.996$)(表2)。

2.2 对玉米产量指标的影响

小喇叭口期接虫对玉米雌穗长度无显著影响($F=0.012$, $df=1, 285$, $P=0.914$),大喇叭口期和吐丝期接虫对玉米雌穗长度有显著影响(大喇叭口期: $F=6.003$, $df=1, 354$, $P=0.015$;吐丝期: $F=21.345$, $df=1, 335$, $P<0.001$)(表3)。小喇叭口期和大喇叭口期

接虫对玉米雌穗直径无显著影响(小喇叭口期: $F=0.819$, $df=1, 285$, $P=0.366$;大喇叭口期: $F=0.003$, $df=1, 354$, $P=0.957$),吐丝期接虫对玉米雌穗直径有显著影响($F=24.152$, $df=1, 335$, $P<0.001$)(表3)。小喇叭

口期、大喇叭口期和吐丝期接虫对千粒重均有显著影响(小喇叭口期: $F=35.660$, $df=1, 28$, $P<0.001$;大喇叭口期: $F=10.261$, $df=1, 31$, $P=0.003$;吐丝期: $F=16.283$, $df=1, 31$, $P<0.001$)(表3)。

表2 不同生长期下为害率对玉米株高的影响

Table 2 Effects of infestation by different densities of *Spodoptera frugiperda* on plant height at different corn growth stages

为害率	株高 Plant height/cm		
Injury rate/%	小喇叭口期 Early whorl stage (V4-V6)	大喇叭口期 Late whorl stage (V10-V12)	吐丝期 Silk stage (R1)
CK	248.30±2.55 a	257.57±2.63 a	247.83±2.96 a
5	247.53±1.68 a	256.05±1.72 a	248.39±2.21 a
10	247.85±2.45 a	252.98±1.81 ab	249.14±2.79 a
20	247.85±2.12 a	249.92±2.57 ab	249.98±2.79 a
40	254.07±3.28 a	249.94±2.22 ab	248.98±2.59 a
80	252.95±2.69 a	247.07±2.47 b	248.93±2.77 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示同一时期内不同为害率处理之间经 Tukey's b 法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different injury rates by Tukey's b test ($P<0.05$).

表3 不同生长期接虫对玉米产量指标的影响

Table 3 Effects of infestation by *Spodoptera frugiperda* on yield index at different corn growth stages

时期 Stage	玉米雌穗长度		玉米雌穗直径		千粒重	
	Corn cob length/cm		Corn cob diameter/cm		1 000-grain weight/g	
	接虫	不接虫	接虫	不接虫	接虫	不接虫
	Inoculated with <i>S. frugiperda</i>	Without inoculation	Inoculated with <i>S. frugiperda</i>	Without inoculation	Inoculated with <i>S. frugiperda</i>	Without inoculation
小喇叭口期 Early whorl stage (V4-V6)	17.03±0.27 a	17.06±0.10 a	5.08±0.05 a	5.03±0.03 a	256.88±4.37 b	289.11±3.31 a
大喇叭口期 Late whorl stage (V10-V12)	17.17±0.24 b	17.74±0.11 a	4.93±0.03 a	4.93±0.01 a	275.40±6.25 b	296.83±3.23 a
吐丝期 Silk stage (R1)	16.83±0.34 b	18.42±0.17 a	4.80±0.03 a	4.58±0.02 b	269.37±4.79 b	293.44±3.71 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示同一时期是否接虫的产量指标经 Tukey's b 法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same row for the same yield index indicate significant difference between infestation by *S. frugiperda* and the control by Tukey's b test ($P<0.05$).

小喇叭口期不同为害率对玉米雌穗长度、玉米雌穗直径和千粒重均无显著影响(玉米雌穗长度: $F=0.76$, $df=5, 281$, $P=0.578$;玉米雌穗直径: $F=1.884$, $df=5, 281$, $P=0.097$;千粒重: $F=1.509$, $df=5, 24$, $P=0.224$)(表4)。大喇叭口期不同为害率对玉米雌穗长度和玉米雌穗直径均无显著影响(玉米雌穗长度: $F=1.233$, $df=5, 350$, $P=0.293$;玉米雌穗直径: $F=1.316$, $df=5, 350$, $P=0.257$),但对千粒重有显著影响($F=6.399$, $df=5, 27$, $P<0.001$)(表4)。吐丝期不同为害率对玉米雌穗长度、玉米雌穗直径以及千粒重均有显著影响(玉米雌穗长度: $F=2.331$, $df=5, 331$, $P=0.042$;玉米雌穗直径: $F=2.933$, $df=5, 331$, $P=0.013$;千粒重: $F=2.855$, $df=5, 27$, $P=0.034$)(表4)。玉米各时期不同为害率对玉米的产量均有显著影响(小喇叭口期: $F=7.435$, $df=5, 12$, $P=0.002$;大喇叭口

期: $F=26.281$, $df=5, 12$, $P<0.001$;吐丝期: $F=15.809$, $df=5, 12$, $P<0.001$)(表4)。小喇叭口期只在为害率达到80%时才对产量有显著影响($F=19.200$, $df=1, 5$, $P=0.012$),大喇叭口期和吐丝期则在为害率达到20%时就与对照在产量上有显著差异(大喇叭口期20% vs CK: $F=43.702$, $df=1, 5$, $P=0.003$;吐丝期20% vs CK: $F=13.836$, $df=1, 5$, $P=0.020$)。吐丝期不同为害率之间的产量均有显著差异,40%和80%为害率的产量显著低于10%为害率的产量(为害率40% vs 为害率10%: $F=10.101$, $df=1, 5$, $P=0.034$;为害率80% vs 为害率10%: $F=10.155$, $df=1, 5$, $P=0.033$)。

2.3 产量损失回归方程及草地贪夜蛾防治指标

不同玉米生长时期下各处理小区产量损失如表4所示,不同玉米生长时期随着接虫株数的增加,产量损失率也随之增加,当为害率达到80%时,造成

的产量损失率均高于20%。总体来说,小喇叭口期各处理小区的产量损失率要低于大喇叭口期和吐丝期各处理小区的产量损失率。

设定为害率为 X ,产量损失率为 Y ,获得各时期

产量损失率的自然对数回归方程,小喇叭口期为 $Y=6.140\ln X-7.735$ ($R^2=0.924$),大喇叭口期为 $Y=8.299\ln X-11.690$ ($R^2=0.919$),吐丝期为 $Y=6.775\ln X-6.771$ ($R^2=0.961$)。

表4 不同玉米生长期不同为害率对产量指标的影响

Table 4 Effects of infestation by different densities of *Spodoptera frugiperda* on yield index at different corn growth stages

时期 Stage	为害率 Injury rate/%	玉米雌穗长度 Corn cob length/ cm	玉米雌穗直径 Corn cob diameter/ cm	千粒重 1 000-grain weight/ g	产量 Yield/(kg/hm ²)	产量损失率 Yield loss rate/%
小喇叭口期 Early whorl stage (V4-V6)	CK	17.00±0.24 a	4.95±0.07 a	299.64±4.64 a	9 120.14±112.21 a	—
	5	17.14±0.19 a	5.09±0.04 a	287.11±15.90 a	9 018.08±210.00 a	1.12±1.78 b
	10	16.66±0.20 a	4.94±0.06 a	271.16±12.14 a	8 308.68±292.05 ab	8.86±3.50 ab
	20	17.12±0.24 a	5.08±0.05 a	278.18±3.38 a	8 192.23±220.65 ab	10.20±1.47 ab
	40	17.01±0.26 a	5.05±0.05 a	265.26±5.50 a	7 968.43±170.55 ab	12.56±2.92 ab
	80	17.35±0.36 a	5.15±0.07 a	270.30±8.12 a	7 249.62±411.90 b	20.56±3.97 a
大喇叭口期 Late whorl stage (V10-V12)	CK	18.08±0.22 a	4.96±0.03 a	310.87±8.08 a	9 341.39±70.65 a	—
	5	17.79±0.24 a	4.92±0.03 a	306.71±4.29 a	9 112.08±114.90 a	2.46±0.56 b
	10	17.53±0.22 a	4.91±0.03 a	297.59±4.59 ab	8 971.11±201.00 a	3.98±1.61 b
	20	17.40±0.20 a	4.87±0.02 a	274.22±8.13 b	7 743.79±231.15 b	17.12±2.14 a
	40	17.47±0.30 a	4.94±0.03 a	271.29±6.34 b	7 638.51±296.55 b	18.19±3.64 a
	80	17.34±0.31 a	4.97±0.03 a	273.78±8.51 b	7 087.51±36.90 b	24.12±0.43 a
吐丝期 Silk stage (R1)	CK	18.96±0.34 a	4.50±0.05 b	311.56±2.71 a	9 334.74±45.90 a	—
	5	18.20±0.37 ab	4.60±0.04 ab	289.05±4.25 ab	9 006.77±109.65 a	3.52±0.77 c
	10	17.91±0.34 ab	4.67±0.54 ab	285.51±9.72 ab	8 594.19±193.65 ab	7.91±2.54 bc
	20	17.74±0.43 ab	4.65±0.05 ab	283.62±8.20 ab	7 843.01±131.10 bc	15.99±1.06 ab
	40	17.82±0.36 ab	4.70±0.04 a	269.67±5.91 b	7 608.48±242.25 c	18.51±2.23 a
	80	17.23±0.45 b	4.73±0.06 a	270.12±9.16 b	7 312.08±352.65 c	21.70±3.44 a

表中数据为平均数±标准误。玉米同一生长时期内同列不同小写字母表示不同为害率的产量指标经 Tukey's b 法检验差异显著 ($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different damage rates for the same developmental stage by Tukey's b test ($P<0.05$).

根据经济危害允许水平的公式 $C \times F / Y \times P \times E \times 100\%$,其中 C 是玉米地防治成本,约为450元/hm²(包括人工和药剂); Y 是玉米产量,本试验为9 000 kg/hm²; P 是玉米市场收购价,约为2元/kg; E 是防治效果,本试验为90%; F 是经济调整系数,本试验设定为2,即按收益为花费的2倍进行校正。计算出玉米上草地贪夜蛾的经济危害允许水平为5.56%,将该结果分别代入上述产量损失率的回归方程中得到不同玉米生长期的草地贪夜蛾防治指标为在小喇叭口期为害率达到8.72%,在大喇叭口期为害率达到7.99%,在吐丝期为害率达到6.17%。

3 讨论

本试验中不同时期播种的玉米成株期株高存在

差异,小喇叭口期和吐丝期的株高较大喇叭口期的株高矮(表1),这可能是由于种植时间不同,玉米生长时的气候差异造成的,如小喇叭口期的玉米为7月10日育苗,而本试验中玉米品种的建议播种时间为6月1日至6月15日,晚播可能造成了玉米株高偏矮。同样,小喇叭口期的千粒重较大喇叭口期和吐丝期轻,可能也与晚播有关。与试验品种徽玉90说明书中的指标相比,本试验中的株高、雌穗长度、雌穗直径、产量等均偏低,如株高,品种说明中的株高为256 cm,但本试验对照的株高只有大喇叭口期达到这一数值,其他2个时期均不到250 cm,这可能是由于播期不在最适范围内造成的,也可能是由于试验中的栽培管理措施未达到最佳水平。本研究结果显示,只有大喇叭口期接虫对株高有显著影响,说

明喇叭口期被害对玉米植株生长的影响相对比较大,可能与草地贪夜蛾喜欢为害玉米芯叶有关,通过破坏玉米生长点,从而影响了玉米最后的株高。喇叭口期接虫对玉米成株期的株高无显著影响,说明玉米早期即使芯叶被害,后期也有很强的恢复能力。而吐丝期接虫对成株期株高无显著影响则主要是接虫时株高基本已经定型,草地贪夜蛾为害不会对期产生太大影响。

根据防治指标的定义可知,其在不同国家和地区存在差异,这是由于不同国家和地区的防治成本有所差异,玉米的价格也略有不同造成的。如国际玉米小麦改良中心给非洲建议的草地贪夜蛾防治指标为:玉米芯叶初期(VE~V6)平均被害株率20%(10%~30%);玉米芯叶末期(V7~VT)平均被害株率40%(30%~50%);玉米雌穗期(R1~R3)果雌穗平均被害率20%(10%~30%)(Prasanna, 2018),也就是田间调查为害率高于相应的百分比时才用药。南美洲也在转Bt和非转Bt玉米上通过接虫的方式开展了草地贪夜蛾防治指标的研究,结果显示在非转Bt玉米上的草地贪夜蛾在成虫羽化20 d内的防治指标是1.8头/10株,而转Bt(Cry1F蛋白)玉米上是2.1头/10株(Jaramillo-Barrios et al., 2020)。在非洲和南美洲研究的草地贪夜蛾防治指标均高于本研究,这可能与不同地区防治成本及玉米价格有关。

玉米田间害虫种类较多,很难保证试验过程中只有草地贪夜蛾为害,所以本研究只考虑了一代草地贪夜蛾幼虫3龄以后取食(草地贪夜蛾取食量较大的阶段主要在3龄后)对玉米的为害情况,因而对人工接虫前后发生的虫害均进行了人为控制,由此计算获得的防治指标可能会比实际高。在实际生产中应考虑草地贪夜蛾的一些特性,比如产卵量大(一般1头雌成虫最高产卵量在1 000粒以上)以及作为入侵害虫天敌较少等特点,可在实际防治中采取更为严格的防治指标。

本试验的防治指标仅针对草地贪夜蛾对夏玉米的为害损失情况,在春玉米和秋玉米上为害损失情况仍需进一步研究。究其原因主要是因为不同时期种植的玉米受产量、价格和人工成本等因素的影响,经济危害允许水平会略有差异,而且不同时期种植的玉米因受温度条件影响,玉米生长和草地贪夜蛾为害情况可能也会存在差异,这些均可能导致防治指标的改变。因此,本研究的防治指标在计算产量损失时只针对饲料用玉米,如果是鲜食玉米还需考虑售卖时的外观等情况,有可能出现雌穗被害后不

易售卖的情况,且鲜食玉米售价一般较饲用玉米高,这些均为制订防治指标时需要考虑的因素。尽管本试验研究的防治指标有一定的限制条件,且仅针对夏玉米,但对草地贪夜蛾的科学精准防控仍具有一定的指导意义。

参考文献 (References)

- Batista-Pereira LG, Stein K, de Paula AF, Moreira JA, Cruz I, Figueiredo MLC, Perri J Jr., Corrêa AG. 2006. Isolation, identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone of the Brazilian population of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Chemical Ecology*, 32(5): 1085–1099
- Buntin GD, Flanders KL, Lynch RE. 2004. Assessment of experimental Bt events against fall armyworm and corn earworm in field corn. *Journal of Economic Entomology*, 97(2): 259–264
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotney V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Early R, Godwin J, et al. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5):196–201
- FAO. 2017. Briefing note on FAO actions on fall armyworm in Africa. Rome, Italy: FAO. <http://www.fao.org/3/a-bt415e.pdf>
- FAO. 2019. Briefing note on FAO actions on fall armyworm. Rome, Italy: FAO. <http://www.fao.org/3/a-bs183e.pdf>
- Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632
- Harrison RD, Thierfelder C, Baudron F, Chinwada P, Midega C, Schaffner U, van den Berg J. 2019. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of Environmental Management*, 243: 318–330
- Jaramillo-Barrios CI, Varón-Devia EH, Monje-Andrade B. 2020. Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1): 9065–9076
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K. 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤. 2019. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. *植物保护*, 45(6): 10–19]
- Kenis M, du Plessis H, van den Berg J, Ba MN, Goergen G, Kwadjo KE, Baoua I, Tefera T, Buddie A, Cafà G, et al. 2019. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. *Insects*, 10(4): 92
- Koffi D, Kyerematen R, Eziah VY, Agboka K, Adom M, Goergen G, Meagher RLJ. 2020. Natural enemies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Ghana. *Florida Entomologist*, 103: 85–90

- Li DY, Zhi JR, Zhang T, Ye JQ, Yu YC, Hu CX. 2019. Preference of *Spodoptera frugiperda* to four host plants. *Plant Protection*, 45(6): 50–54 (in Chinese) [李定银, 郅军锐, 张涛, 叶佳琴, 禹云超, 胡朝兴. 2019. 草地贪夜蛾对4种寄主植物的偏好性. *植物保护*, 45(6): 50–54]
- Li LL, Li JW, Men XY, Chen H, Wang ZY, Yu Y. 2015. Economic threshold of *Athetis lepigone* at seedling stage of summer maize. *Journal of Plant Protection*, 42(6): 1014–1019 (in Chinese) [李丽莉, 李静雯, 门兴元, 陈浩, 王振营, 于毅. 2015. 夏玉米苗期二点委夜蛾防治指标. *植物保护学报*, 42(6): 1014–1019]
- Molina-Ochoa J, Carpenter JE, Heinrichs EA, Foster JE. 2003. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean basin: an inventory. *Florida Entomologist*, 86: 254–289
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300
- Pitre HN. 1986. Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): an update. *Florida Entomologist*, 69(3): 570–578
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, Peschke VM. 2018. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management. 1st edition. Mexico, CDMX: CIMMYT
- Sharanabasappa CM, Kalleshwaraswamy R, Asokan HM, Mahadeva SMS, Maruthi HB, Pavithra KH, Shivaray NST, Prabhu GG. 2018. First report of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new invasive alien pest of corn in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 24: 23–29
- Sparks AN. 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist*, 62(2): 82
- Storer NP, Kubiszak ME, King JE, Thompson GD, Santos AC. 2012. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: lessons from Puerto Rico. *Journal of Invertebrate Pathology*, 110(3): 294–300
- Sun LJ, Chen SL, Li YY. 2020. Overview of the damage loss and control index of corn borer. *China Plant Protection*, 40(1): 55–59, 66 (in Chinese) [孙立娟, 陈世雷, 李妍颖. 2020. 玉米螟为害损失和防治指标概述. *中国植保导刊*, 40(1): 55–59, 66]
- Unbehend M, Hänniger S, Vásquez GM, Juárez ML, Reisig D, McNeil JN, Meagher RL, Jenkins DA, Heckel DG, Groot AT. 2014. Geographic variation in sexual attraction of *Spodoptera frugiperda* corn- and rice-strain males to pheromone lures. *PLoS ONE*, 9(2): e89255
- Wu C, Zhang L, Liao CY, Wu KM, Xiao YT. 2019. Research progress of resistance mechanism and management techniques of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to insecticides and Bt crops. *Journal of Plant Protection*, 46(3): 503–513 (in Chinese) [吴超, 张磊, 廖重宇, 吴孔明, 萧玉涛. 2019. 草地贪夜蛾对化学农药和Bt作物的抗性机制及其治理技术研究进展. *植物保护学报*, 46(3): 503–513]
- Yang PY, Zhu XM, Guo JF, Wang ZY. 2019. Strategy and advice for managing the fall armyworm in China. *Plant Protection*, 45(4): 1–6 (in Chinese) [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营. 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. *植物保护*, 45(4): 1–6]
- Yu SJ. 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 39(1): 84–91
- Zhong T, Fan WY, Xu GQ, Zhao TH. 2020. Damage of action threshold of *Holotrichia diomphalia* 3rd instar larvae in spring sowing soybean field in Northeast China. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 42(4): 708–712 (in Chinese) [钟涛, 范唯艳, 许国庆, 赵彤华. 2020. 东北春大豆田蛴螬防治指标研究. *中国油料作物学报*, 42(4): 708–712]

(责任编辑:王璇)