

海南鲜食玉米对草地贪夜蛾危害的 补偿效应研究*

卢 辉** 唐继洪 吕宝乾*** 邱海燕 张起恺 刘彦龙

(中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室,
海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海口 571101)

摘 要 【目的】明确不同龄期草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 取食海南鲜食玉米对植物补偿生长的影响, 为制定周年繁殖区草地贪夜蛾防控指标提供依据。【方法】采用田间笼罩接虫方式, 测定草地贪夜蛾幼虫 5 个龄期及 5 种密度下对甜玉米补偿性生长的影响。【结果】草地贪夜蛾幼虫为害玉米后, 随着虫口密度和龄期的不断增加, 玉米受害程度呈现增加的趋势; 笼罩内密度 ≤ 4 头/10 株时, 2-3 龄幼虫对鲜食玉米造成的受害程度均不超过 10%; 玉米苗期 (4-6 叶期) 和小喇叭口期 (7-9 叶期), 草地贪夜蛾 2-3 龄幼虫密度为 4 头/10 株时, 取食玉米对产量没有影响, 产量损失率分别为 -3.32% 和 -4.00%; 大喇叭口期 (10-12 叶期) 和抽雄期 (13-15 叶期), 密度为 6 头/10 株时 4-6 龄幼虫为害后产量损失率显著高于 2-3 龄幼虫的 ($P < 0.05$)。【结论】玉米在一定的受害程度下存在补偿生长, 草地贪夜蛾低龄期低密度取食为害下鲜食玉米具有很强的耐受能力, 对产量具有补偿效果。

关键词 草地贪夜蛾; 鲜食玉米; 产量; 补偿生长

Compensatory growth by corn plants induced by the feeding of *Spodoptera frugiperda*

LU Hui** TANG Ji-Hong LÜ Bao-Qian*** QIU Hai-Yan ZHANG Qi-Kai LIU Yan-Long

(Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Key Laboratory of Integrated
Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hainan Key Laboratory for Monitoring and
Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou 571101, China)

Abstract 【Objectives】To determine the compensatory growth of corn at different growth stages induced by the feeding of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). 【Method】The effects of feeding by 5 different larval instars at 5 different densities on the compensatory growth of corn were determined in enclosures in corn fields. 【Result】Plant damage generally increased with larval density and instar. At a larval density ≤ 4 larvae per 10 stems, 2nd-3rd instar larvae did not do more than 10% damage. The same larval density and instars had no effect on the yield of corn plants at the seedling (V4-V6) and small bell stages (V7-V9), the effect on yield being 3.32% and 4.00%, respectively. However, a density of 4th to 6th instar larvae of 6 larvae per 10 stems, significantly affected yield during the large bell (V10-V12) and the tasseling stages (V13-V15) ($P < 0.05$). 【Conclusion】Corn can compensate for damage by *S. frugiperda* larvae to a certain degree by compensatory growth and can consequently withstand attack by low densities of younger larval instars of this pest.

Key words *Spodoptera frugiperda*; fresh-eating corn; yield; compensated growth

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400700); 海南省国际科技合作研发项目 (GHYF2022002); 海南省重大科技计划项目 (No. ZDKJ202002)

**第一作者 First author, E-mail: aaluhui@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lvbaoqian@hotmail.com

收稿日期 Received: 2022-09-21; 接受日期 Accepted: 2023-06-27

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 属于鳞翅目夜蛾科, 俗称秋粘虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 是世界重要的迁飞害虫 (Nagoshi *et al.*, 2018; 吴孔明, 2020), 具有危害程度大、迁飞速度快、繁殖能力强、难以防控等特点 (Kumar, 2002; 郭井非等, 2019; 卢辉等, 2019)。2016 年草地贪夜蛾首次入侵到非洲中部和西部地区, 之后迅速扩散到非洲的其它国家和地区 (杨普云等, 2019)。2019 年 1 月发现在我国云南为害玉米后, 草地贪夜蛾迅速扩散到我国多个省份, 对我国农业生产造成巨大的威胁 (姜玉英等, 2019)。入侵我国的草地贪夜蛾为“玉米型”种群 (张磊等, 2019)。草地贪夜蛾在玉米不同生育期均可取食危害, 严重时会造成产量损失超过 50% (Day *et al.*, 2017), 在华南地区, 调查中发现苗期、小喇叭口期、大喇叭口期和抽雄期为害更为严重 (林丹敏等, 2020; 卢辉等, 2021)。植物为应对昆虫取食的防御策略主要有忍耐与抵抗, 其中植物的抵抗会产生耐受性, 还存在一些补偿生长而弥补甚至超过之前因取食所减少的生物量 (Gard *et al.*, 2013), 这种恢复或超过未经昆虫伤害下的情形, 从而弥补取食造成的伤害, 称为补偿效应。因此, 草地贪夜蛾在一定的危害强度下, 对玉米生产有一定的补偿生长。

鲜食玉米 (包括糯玉米和甜玉米等) 是指在乳熟期采摘新鲜果穗直接食用或加工的玉米 (孙丽娟等, 2019), 因具备重要的营养和经济价值, 在海南的种植面积逐年增加, 近年来年均种植面积不少于 $4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 已成为海南重要的反季节经济作物 (林乙明, 2019); 同时, 海南是玉米育种制种的理想之地, 目前已成为加快玉米种质创新、品质改良和种子繁育的重要区域 (邢宝龙等, 2006)。海南岛气候条件使得全年都可以种植玉米, 尤其是大面积种植了反季节鲜食玉米, 为草地贪夜蛾提供了充足的食物来源, 田间调查发现防控草地贪夜蛾时存在有虫必打的现象, 这样不仅增加了防治成本, 而且极易造成农药残留超标和环境污染 (卢辉等, 2021)。玉米在受到害虫取食下有补偿生长的效应 (Steckel and

Stewart, 2013), 研究补偿效应是估测害虫经济危害水平的重要组成部分, 陈建明等 (2003) 研究了褐飞虱为害后稻株后的补偿作用, 培矮 64S/32E 品种具有有较较强的补偿能力; 杨崇庆等 (2018) 研究表明亚麻象在虫口密度 5-30 头/ m^2 下对胡麻的生长均有促进作用; 李跃强等 (2003) 模拟第 2 代棉铃虫为害的试验, 每株棉花摘除 8 个早蕾, 成铃数增加 13.4%, 引发了植物的超补偿作用。本研究拟以鲜食玉米为试验材料, 通过人工笼罩接虫方法, 测定不同密度、不同龄期草地贪夜蛾对玉米受害程度及对产量损失的影响, 分析和评估草地贪夜蛾在玉米不同生育期造成的补偿生长, 为深入研究周年繁殖区草地贪夜蛾对鲜食玉米为害损失及经济阈值提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试昆虫: 草地贪夜蛾幼虫来自海南省儋州市中国热带农业科学院环境与植物保护研究所六坡试验基地 ($30^{\circ}29'N$, $114^{\circ}18'E$) 鲜食玉米上, 于室内采用新鲜玉米嫩叶连续饲养 2 代, 待种群稳定后用于试验接种。选取大小、活跃程度相当的 2、3、4、5 和 6 龄幼虫作为试验的供试虫源。

供试植物: 试验地点位于海南省儋州市六坡试验基地, 面积 3.33 hm^2 , 长期种植鲜食玉米, 选择施肥、灌溉条件一致的区域作为试验处理区域。玉米品种为“皇冠”超甜玉米, 海南绿川种苗有限公司 (市售种子), 播种时期为 2021 年 3 月初, 于玉米幼苗期 (2-3 叶期, 3 月 20 日) 移栽至试验田, 移栽后进行一次药剂防治, 之后进行养虫笼罩 (养虫笼规格为长 $\times$ 宽 $\times$ 高= $2.0 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$) 试验。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 笼罩内 10 株玉米, 保证虫口密度为 0, 在鲜食玉米生长的苗期 (4-6 叶期)、小喇叭口期 (7-9 叶期)、大喇叭口期 (10-12 叶期) 和抽穗期 (13-15 叶期) 进行人工接虫, 接虫龄期按 2、3、4、5 和 6 龄幼虫, 密度分别为

0、2、4、6、8、10 头/10 株 6 个水平, 每个处理重复 3 次。每隔 1 d 调查笼内虫口数量变化情况, 及时更换笼罩内超过龄期和死亡的幼虫。

1.2.2 草地贪夜蛾在鲜食玉米上的受害程度 在笼罩各处理末期 (玉米生育期处理结束时) 调查玉米叶片危害程度。玉米危害程度根据叶片受害等级划分为: 叶片未被害 (0 级); 叶片被害面积小于或等于 1/5 (1 级); 叶片被害面积大于 1/5 小于或等于 2/5 (2 级); 叶片被害面积大于 2/5 小于或等于 3/5 (3 级); 叶片被害面积大于 3/5 小于或等于 4/5 (4 级); 叶片被害面积大于 4/5 (5 级)。记录各处理受害等级的叶片数 (Sisay *et al.*, 2019; 刘彦龙等, 2021), 按下式计算受害程度。

受害程度 (%) =

$$\frac{\sum (\text{受害级叶片数} \times \text{受害等级})}{\text{调查总叶数} \times \text{受害最高级别}} \times 100。$$

1.2.3 草地贪夜蛾对玉米产量的影响 玉米成熟后 (2021 年 5 月 24 日), 以笼罩小区为单位收获果穗称取鲜重 (带皮), 记录产量。根据测产调查数据, 计算产量损失率。产量损失率 (%) = [(未受害处理区的产量 - 受害处理区产量) / 未受害处理区的产量] × 100。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 软件进行统计分析, 不同处理间采用 Tukey 检验方法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾不同龄期幼虫不同密度下的受害程度评价

玉米受草地贪夜蛾幼虫为害后, 随着虫口密度和龄期的不断增加, 玉米受害程度呈现增加的趋势, 笼罩密度为 2 头时, 不同龄期处理受害程度无显著差异 ($P > 0.05$); 密度 4 头时, 4、5 和 6 龄幼虫为害玉米后的受害程度分别为 15.31%、13.50% 和 10.64%, 显著大于 3 龄 (6.31%) 和 2 龄 (5.36%) 取食为害 ($P < 0.05$); 密度 6 头时, 玉米受害程度均超过 10%, 其中 4 龄和 5 龄幼虫为害后的受害程度超过 20%, 显著高于其它密度处理的 ($P < 0.05$); 密度 8 头和 10 头时, 随着草地贪夜蛾幼虫龄期的增加玉米的受害程度上升趋势明显, 其中 6 龄幼虫密度 10 头时受害程度达到最大为 42.93%, 4-6 龄幼虫的受害程度显著高于 1-2 龄 ($P < 0.05$) (表 1)。

2.2 草地贪夜蛾不同密度幼虫对玉米产量的影响

苗期 (图 1: A), 笼罩内草地贪夜蛾幼虫密度在 2 头时, 玉米产量无明显差异; 密度 4 头时, 低龄 (2-3 龄) 与高龄 (4、5 和 6 龄) 幼虫为害玉米后产量均有差异; 随着笼罩内幼虫密度的增加, 对产量的影响明显增大。由此可见, 草地贪夜蛾低龄期低密度 (<4 头/10 株) 下取食苗期玉米对产量没有影响。

表 1 草地贪夜蛾不同龄期幼虫在不同密度下的受害程度 (%)

Table 1 Injury degree (%) of *Spodoptera frugiperda* larvae of different instars under different densities

幼虫龄期 Larval instar	虫口密度 (头/10 株) Density (ind./10 plants)				
	2	4	6	8	10
2 龄 2nd instar	2.36±1.28 a	5.48±1.39 b	11.83±3.45 c	14.97±2.35 b	19.76±3.86 b
3 龄 3rd instar	2.97±1.72 a	6.31±2.05 b	16.54±4.62 bc	17.28±2.81 b	22.89±4.75 b
4 龄 4th instar	3.23±2.38 a	10.64±3.14 a	18.34±3.71 ab	24.31±5.47 a	34.89±5.08 a
5 龄 5th instar	3.95±2.64 a	13.50±4.37 a	21.07±4.73 a	27.78±4.69 a	38.56±7.13 a
6 龄 6th instar	4.53±2.51 a	15.31±3.43 a	25.156±3.08 a	31.47±3.62 a	42.93±6.26 a

表中数据为平均值±标准误。同行数据后标有相同小写字母表示显著不差异 ($P > 0.05$, Tukey 检验)。

Data in the table are mean ± SE, and those in the same column with the same lowercase letters indicate no significant differences ($P > 0.05$, Tukey test).

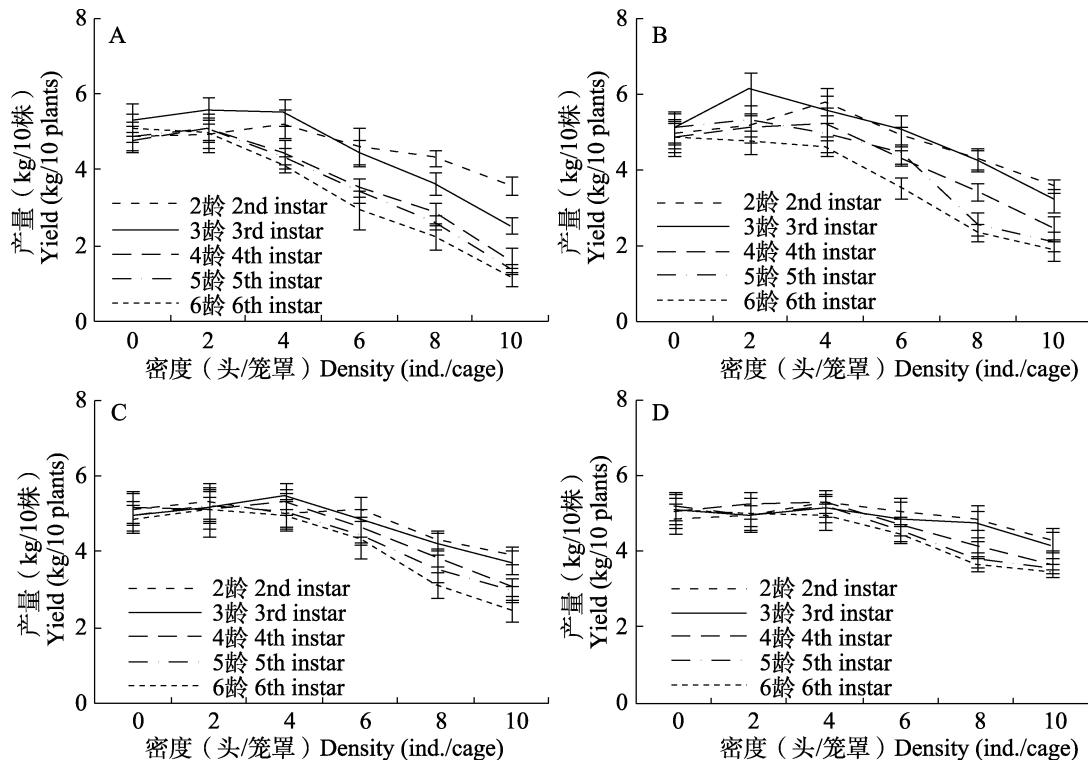


图1 草地贪夜蛾不同龄期幼虫在苗期 (A)、小喇叭口期 (B)、大喇叭口期 (C) 和抽雄期 (D) 对产量的影响

Fig. 1 Effects of different instar larvae of *Spodoptera frugiperda* on yield at seedling stage (A), small bell stage (B), big bell stage (C) and anthesis stage (D)

图中数值为平均值±标准误。Data in the figure are mean ±SE.

小喇叭口期 (图 1: B), 笼罩内草地贪夜蛾幼虫密度 ≤4 头时, 幼虫为害玉米后产量均高于其它密度的; 密度 6 头时, 低龄期幼虫为害玉米产量高于高龄期幼虫的; 密度超过 6 头时, 笼罩内产量均受影响, 高龄期产量降低更加明显。

大喇叭口期 (图 1: C), 笼罩内草地贪夜蛾幼虫密度 6 头时, 低龄幼虫对玉米产量没有造成明显损失; 密度 8 头时, 高龄幼虫对产量的影响大于低龄幼虫; 密度 10 头时, 玉米产量迅速下降, 由此可见, 高龄期幼虫达到临界密度会对产量造成显著影响。

抽雄期 (图 1: D), 笼罩内草地贪夜蛾低龄幼虫密度 ≤8 头时, 危害玉米后的产量无明显变化; 高龄幼虫密度 ≥6 头后, 随着笼罩内虫口密度的增加, 玉米产量也缓慢下降。进而说明, 玉米抽雄期一定密度 (<8 头) 条件下, 草地贪夜蛾低龄幼虫取食玉米叶片后更有利于其生长发育。

2.3 草地贪夜蛾不同密度幼虫对产量损失率的影响

草地贪夜蛾不同密度幼虫对玉米不同生育期产量损失率的影响结果可以看出, 在 4 个玉米生育期, 笼罩内密度 2 头时, 2-3 龄和 4-6 龄幼虫对产量损失率均为负数, 且差异不显著 ($P>0.05$); 玉米苗期 (图 2: A), 笼罩内草地贪夜蛾密度 4 头时, 1-2 龄和 4-6 龄幼虫产量损失率存在显著差异 ($P<0.05$), 分别为 -3.32% 和 13.20%, 且随着密度增加, 产量损失率明显增加, 小喇叭口期 (图 2: C), 2-3 龄和 4-6 龄幼虫产量损失率差异不显著 ($P>0.05$), 分别为 -4.00% 和 1.23%, 随后密度增加产量损失率增加; 大喇叭口期 (图 2: C) 和抽雄期 (图 2: D) 密度 6 头时, 2-3 龄和 4-6 龄幼虫产量损失率存在显著差异 ($P<0.05$) 分别为 3.20%、11.19%、-1.05%

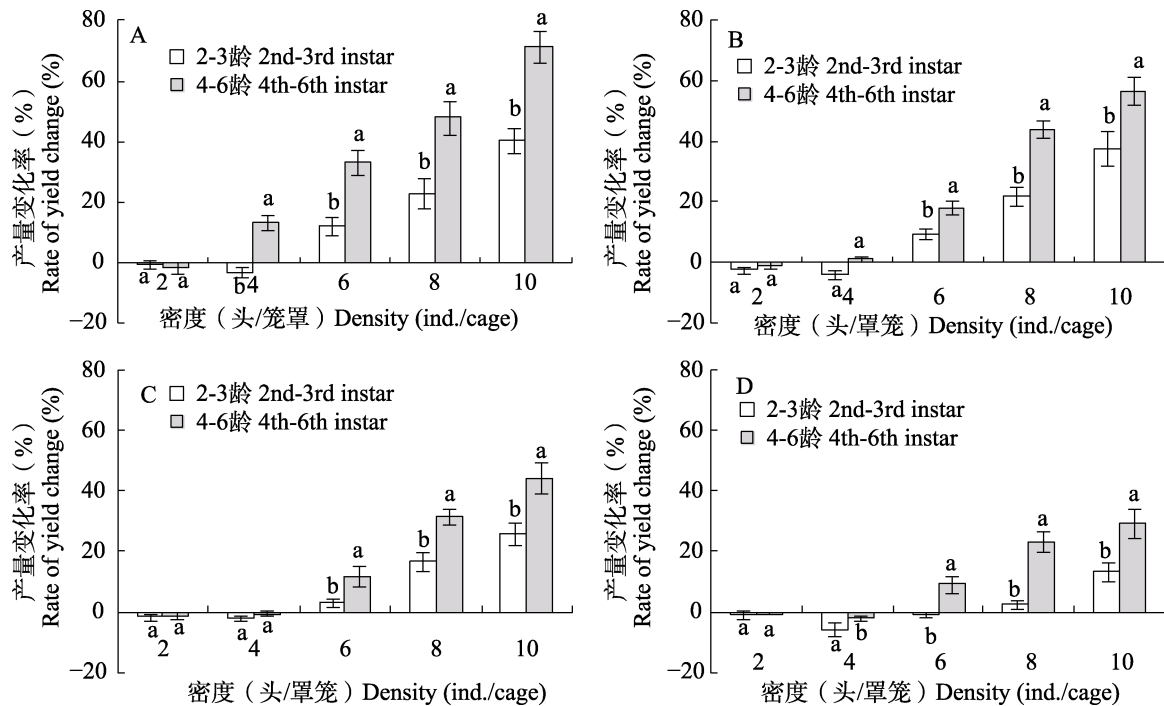


图2 草地贪夜蛾不同密度幼虫在苗期 (A)、小喇叭口期 (B)、大喇叭口期 (C) 和抽雄期 (D) 对产量损失率的影响

Fig. 2 Effects of different instar larvae of *Spodoptera frugiperda* on rate of yield change at seedling stage (A), small bell stage (B), big bell stage (C) and anthesis stage (D)

图柱上标有不同字母表示不同龄期草地贪夜蛾幼虫差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。

Histograms with different lowercase letters indicate significantly different between different stage of the same larva of *Spodoptera frugiperda* at 0.05 level by Tukey test.

和 9.17%。综上说明, 玉米苗期、小喇叭口期草地贪夜蛾低龄期低密度为害存在补偿生长, 可能与草地贪夜蛾低强度为害有关。

3 讨论

目前, 研究表明不同类型玉米对草地贪夜蛾的生长发育与繁殖无显著影响 (杨亚军等, 2019), 但鲜食玉米具有含量较高的可溶性糖, 更易受到草地贪夜蛾偏爱 (李贤嘉等, 2021), 为其取食提供了充足的食物来源。因此当下, 亟须摸清草地贪夜蛾取食危害对鲜食玉米损失的影响。在自然界中, 植物为了抵抗害虫干扰采用补偿手段以弥补造成的损失, 补偿能力与植株上害虫密度有关, 密度大引起产量降低, 称为欠补偿, 密度低弥补虫害造成的损失为完全补偿, 低密度危害使植产量提高为超越补偿 (Stowe *et al.*, 2000)。本文研究结果表明, 草地贪夜蛾幼虫随着虫口密度和龄期的不断增加, 玉米受害程度呈

现增加的趋势, 这与人 (Pereira and Hellman, 1993) 的研究结果较为一致。笼罩内虫口密度 4 头时为临界值, 草地贪夜蛾高龄幼虫受害程度显著高于低龄幼虫的 ($P < 0.05$), 受害程度大于 10% 后很难产生明显的补偿效应。Cruz 和 Turpin (1983) 研究表明, 草地贪夜蛾在损伤等级与产量的关系是线性的, 产量损失与损伤等级直接相关, 这与本文结果不完全一致。造成这些研究结论的差异, 可能与研究条件、寄主植物的生物期选择、应用水平等因素有关, 但在一定的胁迫强度下, 植物存在明显的超补偿能力。究其原因, 这与玉米生长的源库强弱关系密切相关, 在玉米生长的一定时期, 通过减少一定的叶片可以达到百粒重、淀粉含量上升的效果 (Borras *et al.*, 2002)。而高强度的胁迫条件会导致生长发育受限而带来产量损失 (Adee *et al.*, 2017), 本研究中小喇叭口期和大喇叭口期的中高强度 (笼罩内密度大于 6 头) 为害后, 导致产量损失, 出现欠

补偿效果。

昆虫取食与寄主植物生长过程中,昆虫适度的取食对植物起到了修剪的作用,减少了植物的多余的部分,使植物呈现补偿效果 (Muzzatti *et al.*, 2021), 补偿效果与强度决定了对损害的耐受性,即使在生物量相对较低的幼苗中也是如此 (Lurie *et al.*, 2017)。本研究中苗期玉米受草地贪夜蛾中低强度为害后,玉米植株可以通过补偿生长来弥补因为虫害取食所减少的生长量;笼罩内密度 6 头时,草地贪夜蛾高龄期幼虫对玉米造成的受害程度超过 20%,但在大喇叭口期和抽雄期,对鲜食玉米造成的产量损失分别仅有 11.97 和 9.17%。笼罩内草地贪夜蛾 6 龄幼虫密度 10 头时,受害程度达到 42.93%,而抽雄期产量最大损失量仅为 29.47%,说明植物的补偿能力非常有弹性,在植物不同的生育期具有不同的变化值,例如,完全落叶的 *Actinoccephalus polyanthus* 树种子的数量几乎是未落叶树的 2 倍 (Tito *et al.*, 2016)。虽然补偿可能会增加潜在产量,但也会导致作物成熟不均,从而导致作物收获延迟 (Muzzatti *et al.*, 2021)。因此,为防止成熟和收获延迟,应在达到这些密度之前进行防控草地贪夜蛾。

光合作用对补偿性生长起着关键的作用,植物被取食后通过快速生长和积累有机物质的来恢复光合能力 (Wang *et al.*, 2022), 光合速率与玉米的根系深浅有着密切的关系 (Hund *et al.*, 2009), 同时根系较深能更好地利用深层土壤中水分,有助于其对抗不良生长环境。在防治草地贪夜蛾时,应加强对高龄幼虫的监测与防控,特别是苗期玉米,草地贪夜蛾高龄幼虫达到一定密度取食心叶,会咬断生长点,进而影响到地上部分茎叶的生长,加之苗期根系较浅,对生长环境变化的感应迟钝,不利于损伤后的玉米进行补偿性生长。

另外,昆虫取食玉米还能还能诱导植物间的通信作用,即昆虫取食不仅能诱导玉米本身产生防御反应,还能诱导邻近健康植株产生防御反应 (Lv *et al.*, 2017; 吕敏等, 2021), 草地贪夜蛾幼虫在取食玉米后导致玉米间形成通信作用,达

到抗击害虫干扰的作用。草地贪夜蛾危害玉米后的补偿机制尚未研究,但可能与植物储存能量和营养的能力、损伤的时间、损伤频率和植物生长状态等因素有关,还需对潜在的影响因素作进一步的研究。后续研究中会系统研究玉米各生育期受草地贪夜蛾危害后的生理生化反应,揭示玉米受胁迫后的源库关系,为明确补偿效应提供有力的证据。

参考文献 (References)

- Adee E, Roozeboom K, Balboa GR, Schlegel A, Ciampitti IA, 2016. Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*, 13(7): 1534.
- Borras L, Cura JA, Otegui ME, 2002. Maize kernel composition and post-flowering source-sink ratio. *Crop Science*, 42(3): 781–790.
- Chen JM, Yu XP, Cheng JA, Lu ZX, Zheng XS, Xu HX, 2003. Evaluation for tolerance and compensation of rice varieties to infesting of brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Chinese Journal of Rice Science*, 17(3): 76–80. [陈建明, 俞晓平, 程家安, 吕仲贤, 郑许松, 徐红星, 2003. 不同水稻品种对褐飞虱为害的耐性和补偿作用评价. *中国水稻科学*, 17(3): 76–80.]
- Cruz I, Turpin FT, 1983. Yield impact of larval infestations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to midwhorl growth stage of corn. *Journal of Economic Entomology*, 76(5): 1052–1054.
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotey V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Early R, Godwin G, Gomez J, Pablo Gonzalez Moreno PG, Murphy ST, Oppong-Mensah B, Phiri N, Pratt C, Silvestri S, Witt A, 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5): 196–201.
- Gard B, Bretagnolle F, Dessaint F, Laitunga B, 2013. Invasive and native populations of of common ragweed exhibit strong tolerance to foliar damage. *Basic and Applied Ecology*, 14(1): 28–35.
- Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. *应用昆虫学报*, 56(3): 361–369.]
- Hund A, Ruta N, Liedgens M, 2009. Rooting depth and water use efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought

- tolerance. *Plant and Soil*, 318: 311–325.
- 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. [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.]
- Kumar H, 2002. Plant damage and grain yield reduction by fall armyworm and stem borers on certain maize hybrids containing resistance genes from varying sources under experimental and farmers field conditions. *Crop Protection*, 21(7): 563–573.
- Li XJ, Wu JYZ, Dai XC, Wang YQ, Wang RF, Zhang ZX, Xu HH, 2021. Study on the damage of *Spodoptera frugiperda* to ears of different maize cultivars. *Journal of South China Agricultural University*, 42(2): 71–79. [李贤嘉, 吴吉英子, 戴修纯, 王勇庆, 王瑞飞, 张志祥, 徐汉虹, 2021. 草地贪夜蛾对不同玉米品种果穗的为害研究, 2021. 华南农业大学学报, 42(2): 71–79.]
- Li YQ, Xuan WJ, Wang HT, Sheng CF, 2003. Physiological mechanism of over-compensation by cotton plants for simulated bollworm infestation on early squares. *Acta Entomologica Sinica*, 46(3): 267–271. [李跃强, 宣维健, 王红托, 盛承发, 2003. 棉花对棉铃虫为害超补偿作用的生理机制. 昆虫学报, 46(3): 267–271.]
- Lin DM, Huang DC, Shao T, Li ZY, Wang L, Chen KW, Lu YY, 2020. Occurrence and damage of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) at different growth stages of corn. *Journal of Environmental Entomology*, 42(6): 1291–1297. [林丹敏, 黄德超, 邵屯, 李子园, 王磊, 陈科伟, 陆永跃, 2020. 不同生育期玉米上草地贪夜蛾的发生为害规律. 环境昆虫学报, 42(6): 1291–1297.]
- Lin YM, 2019. Discussion on green and high-yield cultivation techniques of fresh sweet corn in Hainan. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2019 (7): 342–344. [林乙明, 2019. 海南鲜食甜玉米绿色高产栽培技术探讨. 农业科技通讯, 2019 (7): 342–344.]
- Liu YL, Lyu BQ, Lu H, Tang JH, Zhang YJ, Zhu XM, 2021. Effect of different population density of *Spodoptera frugiperda* on the yield of corn and its economic threshold. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(12): 3394–3401. [刘彦龙, 吕宝乾, 卢辉, 唐继洪, 张永军, 朱晓明, 2021. 草地贪夜蛾不同虫口密度对海南鲜食玉米产量的影响及其经济阈值研究. 热带作物学报, 42(12): 3394–3401.]
- Lu H, Tang J H, Lu B Q, He X, Su H, 2021. Investigation on the population dynamics of *Spodoptera frugiperda* in winter corn planting areas of Hainan. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(6): 1764–1769. [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 何杏, 苏豪, 2021. 海南冬季玉米种植区草地贪夜蛾种群动态调查初报. 热带作物学报, 42(6): 1764–1769.]
- Lu H, Tang JH, Lyu BQ, Ma ZL, He X, Chen Q, Su H, 2019. Recent advances in biological control and invasion risk of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 40(6): 1237–1244. [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 马子龙, 何杏, 陈琪, 苏豪, 2019. 草地贪夜蛾的生物防治及潜在入侵风险. 热带作物学报, 40(6): 1237–1244.]
- Lu H, Tang JH, Lyu BQ, Zhang YJ, Liu WC, Su H, 2021. Effects on control period and frequency of *Spodoptera frugiperda* on corn yield. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(12): 3388–3393. [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 张永军, 刘万才, 苏豪, 2021. 草地贪夜蛾的防治时期和次数对玉米产量的影响. 热带作物学报, 42(12): 3388–3393.]
- Lurie MH, Barton KE, Daehler CC, 2017. Pre-damage biomass allocation and not invasiveness predicts tolerance to damage in seedlings of woody species in Hawaii. *Ecology*, 98(12): 3011–3021.
- Lv M, Kong HL, Liu HA, Lu YR, Zhang CM, Liu JF, Ji CM, Zhu JL, Su JK, Gao XW, 2017. Induction of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in insect damaged and neighboring undamaged cotton and maize seedlings. *International Journal of Pest Management*. 63(2): 1–6.
- Lv M, Wei T, Liu HA, Su JK, 2021. Effects of insect feeding and mechanical injury on cotton and maize lipoxygenase activity induction. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 49(10): 86–90. [吕敏, 卫甜, 刘怀阿, 苏建坤, 2021. 昆虫取食和机械损伤对棉花和玉米脂氧合酶活性的诱导作用. 江苏农业科学, 49(10): 86–90.]
- Muzzatti MJ, Mori BA, Hallett RH, 2021. Compensatory abilities of canola in response to swede midge (Diptera: Cecidomyiidae) Damage. *Journal of Economic Entomology*, 114(2): 728–738.
- Nagoshi RN, Meagher RL, 2008. Review of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) genetic complexity and migration. *Florida Entomologist*, 91(4): 546–554.
- Pereira CJ, Hellman JL, 1993. Economic injury levels for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on silage corn in Maryland. *Journal of Economic Entomology*, 86(4): 1266–1270.
- Sisay B, Simiyu J, Mendesil E, Likhayo P, Ayalew G, Mohamed S, Subramanian S, Tefera T, 2019. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in east Africa: Assessment of damage and parasitism. *Insects*, 10(7): 195.
- Steckel S, Stewart SD, 2013. Injury and interplant compensation for southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) infestations in

- field Corn. *Journal of Economic Entomology*, 106(2): 816–822.
- Stowe KA, Marquis RJ, Hochwender CG, Ellen LS, 2000. The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31: 565–595.
- Sun LJ, Zhao ZH, He J, Wang B, 2019. Analysis and tactic of the problems on the standard of fresh corn in China. *Crops*, 2019(2): 46–50. [孙丽娟, 赵志宏, 贺娟, 王步, 2019. 我国鲜食玉米相关标准问题分析及对策. 作物杂志, 2019(2): 46–50.]
- Tito R, Castellani TT, Faveri SB, Lopes BC, Vasconcelos HL, 2016. From over to undercompensation: Variable responses to herbivory during ontogeny of a Neotropical monocarpic plant. *Biotropica*, 48: 608–617.
- Wang ZY, Ding XR, Li Y, Xie JB, 2022. The compensation effect between safety and efficiency in xylem and role in photosynthesis of gymnosperms. *Physiologia Plantarum*, Doi.org/10.1111/ppl.13617
- Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5]
- Xing BL, Li YC, Liu GK, Li H, Song B, 2006. Research on key techniques of southern propagation of corn in Hainan island. *Journal of Maize Sciences*, 14(S1): 26–27. [邢宝龙, 李育才, 刘根科, 李洪, 宋斌, 2006. 海南岛玉米南繁关键技术研究. 玉米科学, 14(S1): 26–27.]
- Yang CQ, Cao XX, Zhang W, Lu JW, Qian AP, 2018. A preliminary study on compensation effect of oil-flax yield traits under the boring stress of *Ceuthorrhynchus liupanensis*. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 40(1): 140–145. [杨崇庆, 曹秀霞, 张炜, 陆俊武, 钱爱萍, 2018. 胡麻对亚麻象蛀食胁迫的补偿效应初探. 中国油料作物学报, 40(1): 140–145.]
- 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. [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.]
- Yang YJ, Xu HX, Hu Y, Han HL, Qian JN, Lü ZX, 2020. Growth development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* during the seedling stage on different types of maize. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(6): 1345–1349. [杨亚军, 徐红星, 胡阳, 韩海亮, 钱佳宁, 吕仲贤, 2020. 草地贪夜蛾在不同类型玉米苗期的生长发育与繁殖. 应用昆虫学报, 57(6): 1345–1349.]
- Zhang L, Jin MH, Zhang DD, Jiang YY, Liu J, Wu KM, Xiao YT, 2019. Molecular identification of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province. *Plant Protection*, 45(2): 19–24. [张磊, 靳明辉, 张丹丹, 姜玉英, 刘杰, 吴孔明, 萧玉涛, 2019. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定. 植物保护, 45(2): 19–24.]