

大豆-玉米带状复合种植及大豆、玉米纯作主要害虫的发生规律*

张路生^{1**} 常慧红¹ 金宗亭¹ 张宇帆²
王小梦¹ 巴秀成¹ 田雪慧^{3***}

(1. 滨州市农业技术推广中心, 滨州 256600; 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271000; 3. 滨州市农业科学院, 滨州 256600)

摘要 【目的】比较分析大豆-玉米带状复合种植模式及大豆、玉米纯作模式下主要害虫的发生规律, 为科学制定害虫防治策略提供参考依据。【方法】2022年7-9月在山东省邹平市, 采用性诱方法对大豆-玉米带状复合种植模式和大豆、玉米纯作模式下棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris* 等主要害虫发生情况进行调查与统计分析。【结果】大豆-玉米带状复合种植区棉铃虫和亚洲玉米螟发生数量显著高于纯作区 ($P < 0.05$), 点蜂缘蝽数量也高于纯作区, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 说明大豆-玉米带状复合种植可促进这3种害虫的发生。斜纹夜蛾在复合种植区的诱集数量低于纯作区, 甜菜夜蛾数量低于玉米纯作区而高于大豆纯作区, 但差异均不显著 ($P > 0.05$)。复合种植区和纯作区棉铃虫、斜纹夜蛾、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽的发生趋势与高峰基本相似, 但复合种植延后了甜菜夜蛾发生的第2个高峰1-2周。【结论】大豆-玉米带状复合种植较纯作可促进棉铃虫、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽的发生, 降低斜纹夜蛾的发生, 本文结果可用于害虫的预测预报, 并为当地实施有效的害虫防控措施提供科学依据。

关键词 甜菜夜蛾; 亚洲玉米螟; 大豆-玉米带状复合种植; 发生规律; 防治策略

The effect of intercropping soybeans and maize on frequency of occurrence of major pests

ZHANG Lu-Sheng^{1**} CHANG Hui-Hong¹ JIN Zong-Ting¹ ZHANG Yu-Fan²
WANG Xiao-Meng¹ BA Xiu-Cheng¹ TIAN Xue-Hui^{3***}

(1. Binzhou Agricultural Technology Promotion Center, Binzhou 256600, China; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China; 3. Binzhou Academy of Agricultural Sciences, Binzhou 256600, China)

Abstract [Aim] To compare the occurrence of the main pests in intercropped soybean and maize fields to that in soybean or maize monocultures in order to improve pest control strategies. [Methods] Five attractants and traps were set up for five main pest species (*Helicoverpa armigera*, *Spodoptera exigua*, *Spodoptera litura*, *Ostrinia furnacalis* and *Riptortus pedestris*) in mixed soybean-maize crops and in soy and maize monocultures. [Results] The number of *H. armigera* and *O. furnacalis* trapped in intercropped areas was significantly higher than in monocultures ($P < 0.05$). The number of *R. pedestris* trapped in intercropped areas was also higher than in monocultures ($P > 0.05$), but not significantly so, which suggests that intercropping soy and maize may promote the occurrence of these three pest species. Fewer *S. litura* were, however, trapped in intercropped areas than in monocultures. Fewer *S. exigua* were trapped in maize monocultures than in soybean monocultures, but this difference was not significant ($F = 0.51$, $P > 0.05$). There was no significant difference in the occurrence and peak abundance

*资助项目 Supported project: 山东省杂粮产业技术体系 (SDAIT-15-06)

**第一作者 First author, E-mail: zhanglusheng@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: t18864805655@163.com

收稿日期 Received: 2023-12-01; 接受日期 Accepted: 2024-04-12

of *H. armigera*, *S. litura*, *O. furnacalis* and *R. pedestris* between intercropped areas and monocultures. However, the second occurrence peak of *S. exigua* occurred 1-2 weeks later in intercropped areas than in monocultures. [Conclusion] Not all pests are effectively controlled by intercropping soybean and maize. These results can be used to predict the occurrence of the next generation of pest larvae, which is useful for the implementation of local prevention and control technology.

Key words *Spodoptera exigua*; *Ostrinia furnacalis*; soybean-maize intercropping; occurrence regularity; control strategies

大豆-玉米带状复合种植是采用 2-4 行小株距密植的玉米带与 2-6 行大豆带间作套种, 结合年际交替轮作的一季双收种植模式, 该模式有效提高了土地、光能、养分和水分的利用率, 改善了土壤肥力, 同时扩大了复种指数, 提高了群体产量和整体经济效益 (刘均霞等, 2008; Amossé *et al.*, 2013; 王自奎等, 2015)。然而, 大豆-玉米带状复合种植所形成的农田生境较纯作农田更为复杂, 在生长中后期, 玉米植株高度增加, 对低位作物大豆遮阴, 导致大豆在光能截获上处于劣势 (胡海波等, 2023)。田间郁蔽环境进而引发亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、豆荚斑螟 *Etiella zinckenella*、点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris* 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 等虫害相继发生 (李琼等, 2019), 制约大豆和玉米的安全生产。因此, 在该种植模式下, 深入了解主要害虫的发生规律并科学有效地开展防控工作, 是实现增产和推广应用的重要保障。

高秆作物与矮秆作物的搭配种植模式影响农田微观生境, 从而影响虫害的发生规律 (马晓慧等, 2022; 朱书生等, 2022)。Belay 等 (2009) 研究发现玉米与豆科植物间作能够降低亚洲玉米螟等蛀茎害虫为害; 汤忠琴等 (2018) 研究发现玉米与大豆间作显著减少了大豆主要害虫的发生和为害。不同作物间的套作不仅影响田间天敌昆虫和害虫的发生, 还对其群落多样性产生影响, 生物多样性的增加可有效控制害虫 (闫雪影等, 2023)。前人在研究中归纳提出天敌假说 (Enemy hypothesis)、资源集中假说 (Resource concentration hypothesis)、联合抗性假说 (Associational resistance hypothesis) 和干扰作物假说 (Disruptive crop hypothesis) 来解释农业生物多样性对害虫种群的生态调控机制 (初炳瑶等, 2020)。祖艳群等 (2008) 研究发现辣椒与花生、大豆和玉米等间作下烟青虫 *Heliothis*

assulta 发生量显著降低; 田耀加等 (2012) 研究表明甜玉米与绿豆、菜豆等间作可显著减少害虫种类和数量, 同时蜘蛛和瓢虫等天敌类群分别增长 21% 和 83% (2012)。目前, 大豆-玉米带状复合种植模式对田间主要害虫发生规律影响的系统性报道较少。

本研究采用性诱法对大豆-玉米带状复合种植田及大豆、玉米纯作田中的棉铃虫、甜菜夜蛾、斜纹夜蛾、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽等主要害虫的发生规律进行了监测, 分析不同种植模式下主要害虫的发生数量及动态变化, 旨在为目标害虫的预测预报及防治提供重要参考, 同时也为合理精准使用农药提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试品种

试验地点位于山东省邹平市八方生态农场 (37°52'12" N, 117°44'57" E)。试验区大豆-玉米带状复合种植模式, 比例为 4:2。大豆行距 40 cm, 株距 8 cm; 玉米行距 60 cm, 株距 12 cm, 大豆带和玉米带间隔 70 cm, 总面积 2 hm²。玉米纯作区行距 45 cm, 株距 20 cm; 大豆纯作区行距 40 cm, 株距 8 cm, 面积均为 2 hm²。不同种植区域间隔 500 m。

供试大豆品种为荷豆 33, 玉米品种为登海 605。于 6 月 21 日播种, 前茬作物为小麦, 播种前进行浅耕灭茬处理。试验期间实行常规管理, 未施用杀虫剂。

1.2 试验材料方法

1.2.1 试验材料 试验共设置棉铃虫、甜菜夜蛾、斜纹夜蛾、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽 5 种诱芯, 诱捕器和诱芯均由北京中捷四方生物科技股份有限公司生产。

1.2.2 诱捕方法 2022 年 7 月初至 9 月底, 分别在大豆-玉米带状复合种植区、玉米纯作区和大豆纯作区安置上述诱捕器。每个诱捕器配套 1 根诱芯, 重复 3 次, 每个种植模式共 15 个诱捕器, 每诱捕器间距不少于 30 m, 随机排列。植株高度 30-100 cm 时, 放置高度约 80 cm, 成株时放置高度低于玉米冠层 20-30 cm。每 30 d 更换一次诱芯, 每 3 d 记录每个诱捕器诱集成虫的数量, 并清空诱捕器。

1.3 数据分析

在监测期间, 每 3 d 调查一次, 并记录每次监测的数据, 即每性诱捕器单次诱集的成虫数量。监测数据按田间每日每诱捕器的诱虫量绘制种群动态曲线, 以直观分析不同种植模式下害虫种群的发生动态。采用 Excel 2021 和 SPSS 26.0 软件对试验数据进行统计分析, 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 棉铃虫田间发生数量及消长动态

大豆纯作、玉米纯作和大豆-玉米带状复合种植 3 种植模式下, 棉铃虫的发生数量及动态变化如图 1 和图 2 所示。玉米和大豆纯作区, 棉铃虫平均每诱捕器单日诱集数量分别为 (3.45 ± 0.74) 和 (3.58 ± 0.34) 头, 没有显著性差异 ($P > 0.05$); 大豆-玉米复合种植模式下, 平均每诱捕器单日诱集数量为 (6.39 ± 0.58) 头, 显著高于纯作区 ($P < 0.05$)。

不同种植模式下棉铃虫的发生动态相似。复合种植区和玉米纯作区诱集虫量 7 月上旬逐渐增多, 并于 7 月中旬达到高峰, 诱集数量分别为 (78.33 ± 5.30) 和 (45.00 ± 4.30) 头; 大豆纯作区诱集高峰在 8 月中旬, 单日诱集数量最高可达 (29.33 ± 4.10) 头。

2.2 甜菜夜蛾田间发生数量及消长动态

不同种植模式下甜菜夜蛾发生数量如图 3 所示。玉米纯作区甜菜夜蛾诱集数量最多, 平均每诱捕器单日诱集数量为 (44.32 ± 3.04) 头, 但

与复合种植区和大豆纯作区的诱集量之间没有显著差异 ($P > 0.05$)。大豆纯作区平均每诱捕器单日诱集数量为 (29.21 ± 11.07) 头, 复合种植模式平均每诱捕器单日诱集数量为 (38.84 ± 20.57) 头。

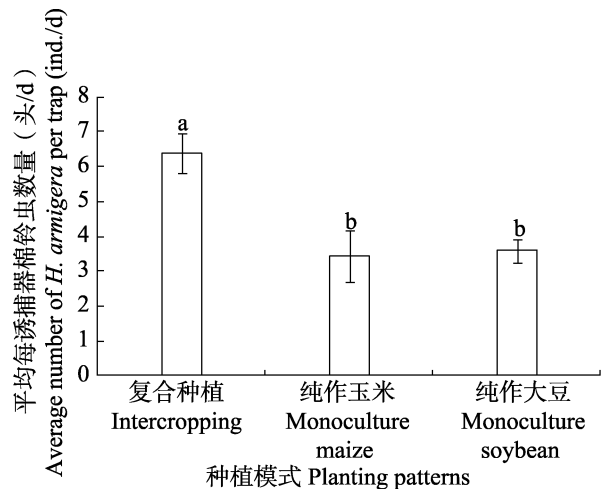


图 1 不同种植模式棉铃虫发生数量

Fig. 1 Number of *Helicoverpa armigera* occurring in different planting patterns

柱上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$,

Duncan 氏新复极差法)。下同。

Histograms with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$, Duncan's new multiple range test). The same below.

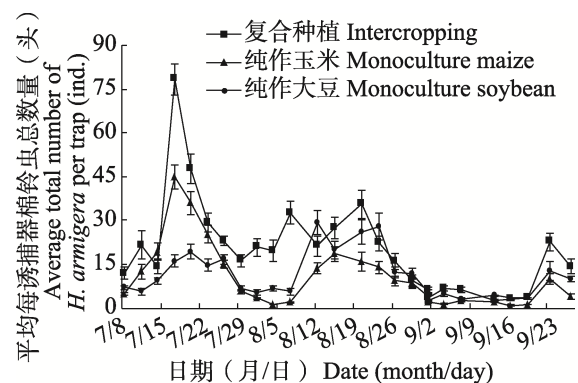


图 2 不同种植模式棉铃虫田间发生动态

Fig. 2 Field dynamic of *Helicoverpa armigera* occurring in different planting patterns

由图 4 可知, 不同种植模式下甜菜夜蛾发生规律存在差异。复合种植区在 7 月下旬和 8 月下旬有 2 个明显高峰期, 虫量最高达 (385.33 ± 15.60) 头; 大豆纯作区 2 次高峰期分别为 7 月下旬和 8 月中旬, 虫量最高达 (332.33 ± 18.90)

头;玉米纯作模式在7月中旬和8月中旬出现高峰,虫量分别达(635.00±23.00)和(431.67±19.80)头,在8月下旬至9月初甜菜夜蛾的虫量迅速下降。

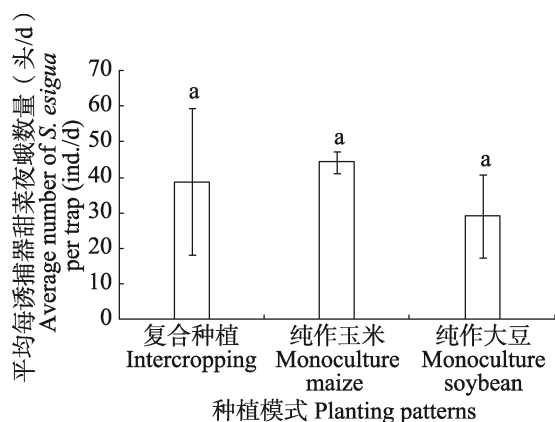


图3 不同种植模式甜菜夜蛾发生数量

Fig. 3 Number of *Spodoptera exigua* occurring in different planting patterns

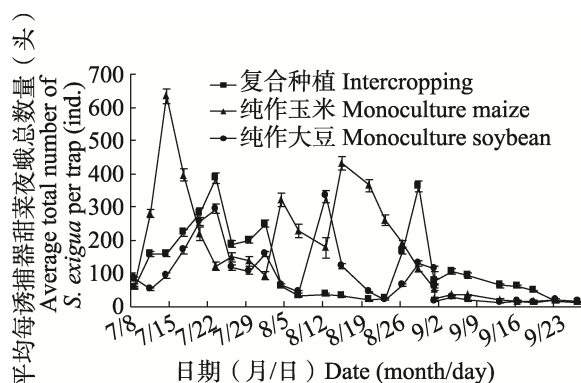


图4 不同种植模式甜菜夜蛾田间发生动态

Fig. 4 Field dynamic of *Spodoptera exigua* occurring in different planting patterns

2.3 斜纹夜蛾田间发生数量及消长动态

不同种植模式下斜纹夜蛾发生数量如图5所示。大豆纯作区和复合种植区斜纹夜蛾诱集数量显著低于玉米纯作区 ($P < 0.05$), 玉米纯作区平均每诱捕器单日诱集数量达(125.55±21.90)头, 大豆纯作区和复合种植区分别为(34.48±12.17)和(30.73±8.83)头。

由图6可知,复合种植区和大豆纯作区的斜纹夜蛾发生规律基本一致,7月初为始见期,7月中旬出现一次小高峰,均在8月下旬达到峰值,诱集数量分别为(657.33±38.00)和(397.33±

20.00)头;玉米纯作区在7月中旬有一次小高峰,8月中旬达峰值,为(909.00±30.55)头。9月中旬,3种植植模式下斜纹夜蛾虫量仍维持在较高水平,9月下旬开始呈现下降趋势。

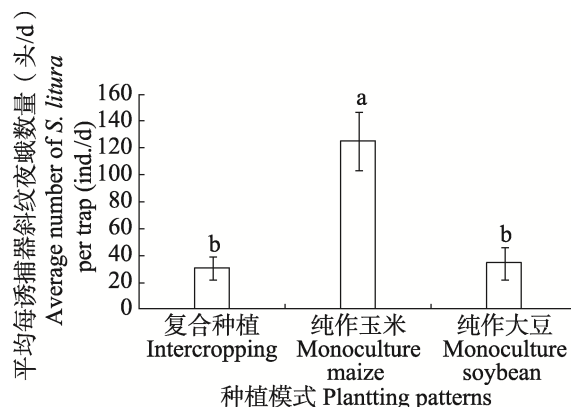


图5 不同种植模式斜纹夜蛾发生数量

Fig. 5 Number of *Spodoptera litura* occurring in different planting patterns

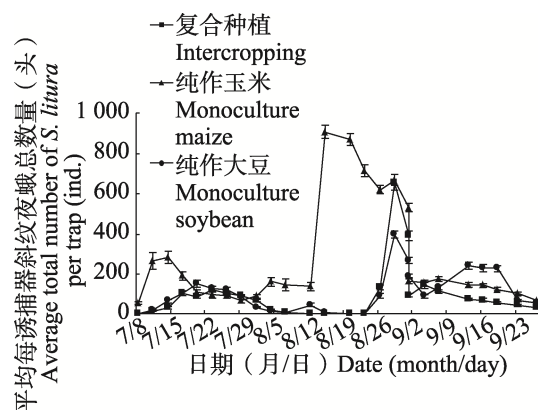


图6 不同种植模式斜纹夜蛾田间发生动态

Fig. 6 Field dynamic of *Spodoptera litura* occurring in different planting patterns

2.4 亚洲玉米螟田间发生数量及消长动态

大豆纯作区未诱集到亚洲玉米螟,复合种植区和玉米纯作区亚洲玉米螟发生数量及动态如图7和图8所示。玉米纯作区平均每诱捕器单日诱集数量为(1.27±0.17)头,复合种植模式为(3.08±0.23)头,显著高于玉米纯作区($P < 0.05$)。

复合种植和玉米纯作模式下亚洲玉米螟发生动态基本一致。7月初到8月初虫量较低,发生动态较平稳,单日诱集量均低于10头,8月中旬虫量逐渐增加,在8月下旬达到最大峰值,

2 种植模式的单日最大诱集数量分别为 (53.67 ± 3.50) 和 (11.33 ± 2.30) 头, 8 月底至 9 月初虫量迅速降低, 动态趋于平稳。

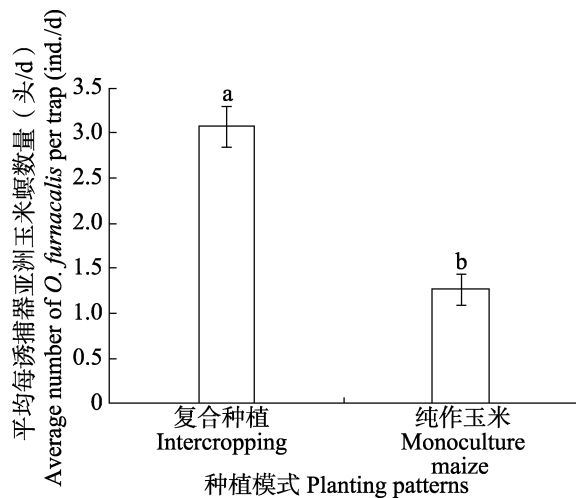


图 7 不同种植模式亚洲玉米螟发生数量

Fig. 7 Number of *Ostrinia furnacalis* occurring in different planting patterns

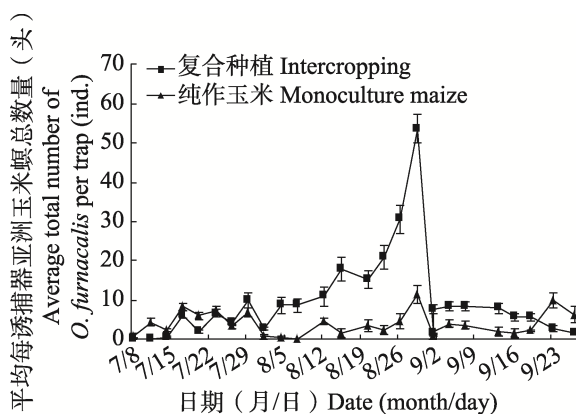


图 8 不同种植模式亚洲玉米螟田间发生动态

Fig. 8 Field dynamic of *Ostrinia furnacalis* occurring in different planting patterns

2.5 点蜂缘蝽田间发生数量及消长动态

玉米纯作区未诱集到点蜂缘蝽, 复合种植区和大豆纯作区点蜂缘蝽发生数量及动态如图 9 和图 10 所示。复合种植模式点蜂缘蝽的平均每诱捕器单日诱集数量为 (0.68 ± 0.19) 头, 大豆纯作区为 (0.33 ± 0.12) 头, 两者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

复合种植和大豆纯作模式下点蜂缘蝽发生动态相似。7 月初为始见期, 8 月上旬虫量逐渐

增加, 在 8 月中旬达到高峰。2 种植模式下单日诱集总量分别最高可达 (15.33 ± 2.10) 和 (4.00 ± 0.50) 头, 8 月下旬虫量迅速降低, 终见期为 9 月初。

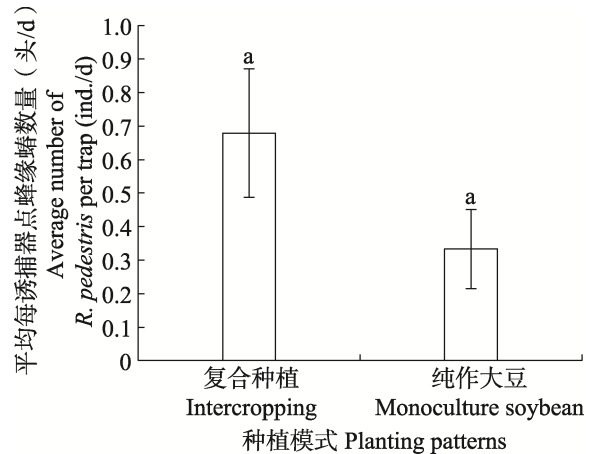


图 9 不同种植模式点蜂缘蝽发生数量

Fig. 9 Number of *Riptortus pedestris* occurring in different planting patterns

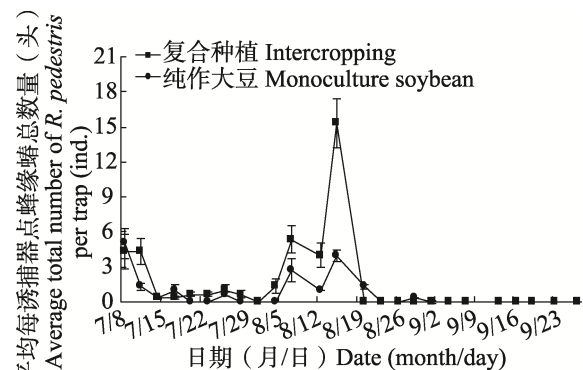


图 10 不同种植模式点蜂缘蝽田间发生动态

Fig. 10 Field dynamic of *Riptortus pedestris* occurring in different planting patterns

3 结论与讨论

植被群落的多样性与复杂性对昆虫群落的多样性具有重要影响。不同作物间作可以有效避免因作物单一而导致某些害虫猖獗发生(尤民生等, 2004; 闫雪影等, 2023)。本研究通过比较分析大豆-玉米带状复合种植、玉米纯作和大豆纯作 3 种不同种植模式下主要害虫发生数量的动态变化, 发现大豆-玉米带状复合种植可促进棉铃虫、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽的发生, 而斜纹

夜蛾诱集数量低于纯作区,甜菜夜蛾数量低于玉米纯作区但高于大豆纯作区,差异并不显著。上述结果表明,间作并非对所有虫害都有很好的控制作用,气候条件、间作布局和种植密度等也是影响害虫与天敌发生的关键因素(尤士骏等,2019)。因此,如何优化间作种植模式以实现虫害的高效控制仍是一个长期的科学问题,需根据当地环境、气候和作物种类等进行系统分析和研究。

本研究在田间动态监测过程中发现,7月中下旬正值玉米吐穗授粉期与大豆开花期,加之降雨的影响,导致第二代棉铃虫进入盛发期(徐生海和甘国福,2005;刘明春等,2014)。此外,8月中下旬以后,赤眼蜂对亚洲玉米螟卵的寄生率增加,这可能是导致9月以后亚洲玉米螟种群数量下降的原因之一。8月中上旬正值大豆开花结实时期,此时点蜂缘蝽的羽化达到高峰,常常集群危害,因而造成种群数量达到顶峰。甜菜夜蛾喜高温干燥,一年可发生6-7代,故呈现出多个诱集高峰,此结果与张彬等(2008)和张红梅等(2021)研究结果一致。玉米抽雄授粉期和大豆结荚鼓粒期是斜纹夜蛾盛发危害期,高温少雨、干旱会加剧斜纹夜蛾的发生,因此8-9月是斜纹夜蛾发生的高峰期,这与余清等(2015)的研究结果一致。

本文结果可用于预测下一代幼虫的发生时期,为当地实施有效的防控技术提供参考依据。研究结果表明大豆-玉米带状复合种植模式下诱集到的棉铃虫、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽数量较纯作多,因此纯作模式更有利于控制这3种害虫的发生,在复合种植田有针对性地重点防治棉铃虫、亚洲玉米螟和点蜂缘蝽等害虫,纯作模式下要重点防治甜菜夜蛾和斜纹夜蛾,特别要注意抓住低龄幼虫最佳防控时期,开展系统治理(全国农业技术推广服务中心,2022;王红梅,2023),切实提高防治效果,真正实现“一季双收,玉米不减产,多收一季豆”的目标。

参考文献 (References)

Amossé C, Jeuffroy MH, David C, 2013. Relay intercropping of

legume cover crops in organic winter wheat: Effects on performance and resource availability. *Field Crops Research*, 145(4): 78–87.

Belay D, Schulthess F, Omwega C, 2009. The profitability of maize-haricot bean intercropping techniques to control maize stem borers under low pest densities in Ethiopia. *Phytoparasitica*, 37(1): 43–50.

Chu BY, Chen FJ, Ma ZH, 2020. Principles of using agricultural biodiversity to control pests and crop diseases. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 28–40. [初炳瑶, 陈法军, 马占鸿, 2020. 农业生物多样性控制作物病虫害的方法与原理. 应用昆虫学报, 57(1): 28–40.]

Hu HB, Ding SR, Liu YC, Wei YS, Wang XL, Kang ZR, Cui ZH, Li F, Hou JH, Liu HN, Zhou XC, 2023. Effects of different maize and soybean zonal compound planting patterns on its economic traits. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 51(16): 18–21, 25. [胡海波, 丁素荣, 刘迎春, 魏云山, 王晓磊, 康泽然, 崔智慧, 李峰, 侯建华, 刘会宇, 周学超, 2023. 玉米大豆带状复合种植模式对粮豆经济性性状的影响. 安徽农业科学, 51(16): 18–21, 25.]

LI Q, LI Q, Zhang XM, 2019. Effects of soybean/maize intercropping densities on the arthropod diversity and stability in soybean field. *Journal of Southern Agriculture*, 50(6): 1247–1255. [李琼, 李强, 张晓明, 2019. 大豆/玉米间作密度对大豆田节肢动物群落多样性和稳定性的影响. 南方农业学报, 50(6): 1247–1255.]

Liu JX, Lu YG, Yuan HW, Zhang ZZ, Cui BW, 2008. The roots of the crop usually absorb and utilize studying to nitrogen under the maize/soybean intercropping condition. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 23(1): 173–175. [刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 张振中, 崔保伟, 2008. 玉米/大豆间作条件下作物根系对氮素的吸收利用. 华北农学报, 23(1): 173–175.]

Liu MC, Jiang JF, Guo XQ, Sun ZF, Ding WK, 2014. Study on the factors affecting corn's *Helicoverpa armigera* dynamic prediction under the background of climate change. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 32(2): 114–118, 141. [刘明春, 蒋菊芳, 郭小芹, 孙占峰, 丁文魁, 2014. 气候变化背景下玉米棉铃虫消长动态预测及影响因素研究. 干旱地区农业研究, 32(2): 114–118, 141.]

Ma XH, Feng C, Zhang Y, Xiang WY, Yang S, Bai W, Dong Z, 2022. Research on progress and prospect of maize intercropping system controlling crop diseases and insect pests. *Liaoning Agricultural Sciences*, 63(3): 50–54. [马晓慧, 冯晨, 张悦, 向午燕, 杨姝, 白伟, 董智, 2022. 玉米间作体系控制作物病虫害研究进展. 辽宁农业科学, 63(3): 50–54.]

National Agricultural Technology Extension Service Center, 2022.

- Soybean-maize intercropping pest control technical guidance. *Agricultural Machinery*, 65(3): 38–39. [全国农业技术推广服务中心, 2022. 大豆玉米带状复合种植病虫害防治技术指导意见. 农业机械, 65(3): 38–39.]
- Tang ZQ, Shang J, Zhang L, Chen YK, Chang XL, Du JB, Yong TW, Wu XL, Yu L, Zeng SH, Kong FL, Zhang M, Yang WY, 2018. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 36(3): 297–302, 308. [汤忠琴, 尚静, 张磊, 陈元凯, 常小丽, 杜俊波, 雍太文, 武晓玲, 余靓, 曾淑华, 孔凡磊, 张敏, 杨文钰, 2018. 不同田间配置对套作大豆主要虫害的种群分布影响. 四川农业大学学报, 36(3): 297–302, 308.]
- Tian YJ, Liang GW, Zeng L, Lu YY, 2012. Influence of intercropping on dynamics of insect pests, natural enemies and the damage of *Ostrinia furnacalis* in sweet corn field. *Journal of Plant Protection*, 39(1): 1–6. [田耀加, 梁广文, 曾玲, 陆永跃, 2012. 间作对甜玉米田主要害虫与天敌动态的影响. 植物保护学报, 39(1): 1–6.]
- Wang HM, Xie XH, Yang TJ, Sun YF, Xue JH, Lao YH, Li LX, 2023. Occurrence characteristics and green control technology of diseases, pests and weeds in soybean-maize intercropping in Yellow River Delta. *China Plant Protection*, 43(11): 65–69. [王红梅, 谢秀华, 杨同建, 孙亚峰, 徐继红, 劳永辉, 李丽霞, 2023. 黄河三角洲大豆玉米带状复合种植病虫害草害发生特点及绿色防控技术. 中国植保导刊, 43(11): 65–69.]
- Wang ZK, Wu PT, Zhao XN, Li ZZ, Fu XJ, 2015. A review of light interception and utilization by intercropped canopies. *Journal of Natural Resources*, 30(6): 1057–1066. [王自奎, 吴普特, 赵西宁, 李正中, 付小军, 2015. 作物间套作群体光能截获和利用机理研究进展. 自然资源学报, 30(6): 1057–1066.]
- Xu SH, Gan GF, 2005. Investigation on the distribution of second generation *Helicoverpa armigera* eggs in maize field. *Plant Protection*, 43(1): 76–78. [徐生海, 甘国福, 2005. 二代棉铃虫卵在玉米田的分布规律调查. 植物保护, 43(1): 76–78.]
- Yan XY, Wang H, Zhang YJ, Zhao JN, Yang DL, Zhang GL, 2023. Research progress on ecological regulation to crop pests using agricultural biodiversity. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(3): 710–717. [闫雪影, 王慧, 张艳军, 赵建宁, 杨殿林, 张贵龙, 2023. 农业生物多样性对农作物害虫生态调控的研究进展. 中国生物防治学报, 39(3): 710–717.]
- You MS, Liu YF, Hou YP, 2004. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 24(1): 117–122. [尤民生, 刘雨芳, 侯有明, 2004. 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报, 24(1): 117–122.]
- You SJ, Zhang J, Li JY, Chen YT, Liu TS, Niu DS, You MS, 2019. Theory and practice of utilizing biodiversity to enhance pest control in agroecosystems. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1125–1147. [尤士骏, 张杰, 李金玉, 陈燕婷, 刘天生, 牛东升, 尤民生, 2019. 利用生物多样性控制作物害虫的理论与实践. 应用昆虫学报, 56(6): 1125–1147.]
- Yu Q, Zhou YH, Zhang CP, Pan RY, 2015. Noctuidae dynamics on tobacco in Yuxi detected with sex pheromone trap. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(1): 21–27. [余清, 周艳华, 张翠萍, 潘瑞艳, 2015. 性诱剂监测玉溪烟区烟草上夜蛾类害虫的发生动态. 中国生物防治学报, 31(1): 21–27.]
- Zhang B, Liu H, Wang JJ, Zhou X, 2008. Advance in the research on *Spodoptera exigua* (Hübner). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(10): 427–433. [张彬, 刘怀, 王进军, 周旭, 2008. 甜菜夜蛾研究进展. 中国农学通报, 25(10): 427–433.]
- Zhang HM, Xu XC, Wang Y, Li XY, Yin YQ, Zhao XQ, Liu Y, Chen FS, 2021. The occurrence regularity of *Spodoptera exigua* and *S. litura* in the vegetable areas of Kunming. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 37(34): 121–126. [张红梅, 徐兴才, 王燕, 李向永, 尹艳琼, 赵雪晴, 刘莹, 陈福寿, 2021. 昆明菜区甜菜夜蛾和斜纹夜蛾发生规律. 中国农学通报, 37(34): 121–126.]
- Zhu SS, Huang HC, Liu YX, Li CY, He XH, Zhu YY, 2022. Research advances in agrobiodiversity for crop disease management. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 42–57. [朱书生, 黄惠川, 刘屹湘, 李成云, 何霞红, 朱有勇, 2022. 农业生物多样性防控作物病害的研究进展. 植物保护学报, 49(1): 42–57.]
- Zu YQ, Hu WY, Wu BZ, Zhan FD, Li Y, 2008. Effect of chilli pepper intercropping system on nutrient utilization, main diseases and pests and yield of chilli pepper. *Plant Science Journal*, 26(4): 412–416. [祖艳群, 胡文友, 吴伯志, 湛方栋, 李元, 2008. 不同间作模式对辣椒养分利用、主要病虫害及产量的影响. 植物科学学报, 26(4): 412–416.]