

湖北玉米田草地贪夜蛾幼虫 种群动态及扩散规律*

李文静^{1**} 张天涛² 郭井菲² 姜理涛¹
许冬¹ 许敏¹ 万鹏^{1***}

(1. 农业农村部华中作物有害生物防控重点实验室, 湖北省农业科学院植保土肥研究所,
武汉 430064; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 【目的】旨在明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 在湖北玉米田的种群动态及扩散规律, 为该虫的预测预报和科学防控提供依据。【方法】分别在武汉、荆州和襄阳的春、夏、秋玉米田, 采用五点取样法调查草地贪夜蛾幼虫种群数量; 在玉米田人工接虫, 调查幼虫扩散情况。【结果】种群调查结果显示, 草地贪夜蛾幼虫在春玉米田(武汉)从喇叭口期开始发生, 抽雄期出现虫量高峰[(3.58±0.56)头/百株], 腊熟期无发生。在夏玉米田(武汉、荆州、襄阳)从拔节期开始发生, 最大虫量出现在荆州玉米抽丝期[(51.39±4.62)头/百株], 襄阳玉米腊熟期还有幼虫发生。在秋玉米田(武汉、荆州)从苗期至腊熟期均有发生, 最大虫量出现在荆州玉米抽丝期[(25.00±2.61)头/百株]。扩散试验结果显示, 以接虫株为中心, 草地贪夜蛾幼虫可向周围植株扩散为害。幼虫转株扩散多在2、3、4龄幼虫期发生, 且3龄时新增扩散株比例显著高于2龄期和4龄期。初孵幼虫密度为150头/株时, 整个幼虫期扩散距离为(352.50±17.02)cm, 约为10头/株的3.5倍。扩散实验期间, 以东风的天数最多(占比达40%), 幼虫沿着东风向西扩散的比例为60.32%, 显著高于其它方向。【结论】草地贪夜蛾幼虫在湖北春、夏、秋玉米田均有发生, 虫量高峰多出现在玉米抽雄、抽丝期。草地贪夜蛾幼虫的转株扩散在3龄期最盛, 扩散距离随幼虫密度的增加而变远, 且多沿顺风方向扩散。

关键词 草地贪夜蛾; 种群动态; 扩散; 玉米; 湖北

Population dynamics and dispersal of *Spodoptera frugiperda* larvae in maize fields in Hubei province

LI Wen-Jing^{1**} ZHANG Tian-Tao² GUO Jing-Fei²
JIANG Li-Tao¹ XU Dong¹ XU Min¹ WAN Peng^{1***}

(1. Key Laboratory of Huazhong Crops Pests Biological Control, Ministry of Agriculture and Rural, Institute for Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;
2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】To improve the forecasting and control of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in maize fields. 【Methods】The five-spot sampling method was used to monitor the fall armyworm larvae population in spring, summer and autumn, maize crops were in Wuhan, Jingzhou and Xiangyang cities. Dispersal of larvae was investigated by experimentally infesting maize crops with newly hatched larvae. 【Results】Larvae began to occur during the big-bell mouth stage in spring maize fields in Wuhan, peaked during the tasseling stage [(3.58 ± 0.56) larvae per 100 plants], and were not detected in the dough stage. In summer maize crops, larvae began to occur during the jointing stage. Larval density was highest during the

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划(2021YFD1400700)

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

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wanpenghb@126.com

收稿日期 Received: 2022-09-28; 接受日期 Accepted: 2023-03-25

silking stage in Jingzhou [(51.39 ± 4.62) larvae per 100 plants], and some larvae were still alive in the dough stage in Xiangyang. Larvae were present from the seedling stage to the wax-ripening stage in autumn maize crops in Wuhan and Jingzhou but peak numbers were observed during the silking stage in Jingzhou [(25.00±2.61) larvae per 100 plants]. The results of the dispersal experiment indicate that larvae gradually disperse from the release point to surrounding maize plants with dispersal taking place during the 2nd, 3rd and 4th instars. Significantly more plants were colonized by 3rd instar larvae than by 2nd and 4th instar larvae. At an initial density of 150 newly hatched larvae per plant, the horizontal dispersal distance of the entire larval stage was (352.50 ± 17.02) cm; about 3.5 times that with an initial density of 10 larvae per plant. Easterly winds were the most common (40%) during the period of larval dispersal, and 60.32% of larvae moved westward, significantly more than moved in other directions. **[Conclusion]** Fall armyworm larvae occur in spring, summer and autumn maize crops, and reach peak abundance in the tasseling and silking stages. 3rd instar larvae disperse the most and the dispersal distance if the initial larval density was higher. The majority of larvae dispersed downwind.

Key words *Spodoptera frugiperda*; population dynamics; dispersal; maize; Hubei

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目 Lepidoptera、夜蛾科 Noctuidae, 是一种杂食性农业害虫 (Jacobs *et al.*, 2018), 原发生于美洲的热带和亚热带地区, 寄主作物广泛, 尤嗜禾本科, 主要为害玉米和水稻等粮食作物 (Todde and Poole, 1980; Jing *et al.*, 2020)。草地贪夜蛾自 2016 年起陆续入侵非洲、亚洲和大洋洲等多个国家和地区, 成为世界性重大农业害虫 (CABI, 2021)。据报道, 草地贪夜蛾在南美洲的巴西造成玉米减产 30% 以上, 经济损失达 40 亿美元 (Jing *et al.*, 2020)。草地贪夜蛾在玉米田发生为害时, 可造成玉米减产 20%-72% (Lima *et al.*, 2010; Murua *et al.*, 2016; 郭井菲等, 2019)。有研究表明, 侵入我国的草地贪夜蛾生物型为玉米型 (张磊等, 2019), 主要危害玉米, 也取食小麦、甘蔗、花生等作物, 严重威胁我国农业生产 (任学祥等, 2019; 太红坤等, 2019; 何莉梅等, 2020)。

湖北省处于我国中部地区, 大部分地区属亚热带季风性湿润气候, 年平均气温 15-17 °C (崔杨和崔利芳, 2020), 自然条件适宜草地贪夜蛾生存。玉米作为湖北省第三大粮食作物, 常年播种面积在 80 万 hm^2 左右, 且春、夏、秋玉米均有种植, 为草地贪夜蛾的为害提供了充足的食源 (湖北省统计局, 2021)。2019 年 1 月, 草地贪夜蛾入侵我国云南并定殖后, 不断向北扩散, 5 月迁飞至长江流域 (姜玉英等, 2019)。湖北省 5 月 8 日在仙桃市首次发现草地贪夜蛾幼虫为害

玉米, 后迅速扩散, 至 6 月 26 日全省 17 个市(州)均发现该虫为害; 当年草地贪夜蛾在湖北玉米上累计发生面积 10.083 万 hm^2 , 占全省玉米种植总面积的 13.5% (杨俊杰等, 2020)。湖北省作为我国草地贪夜蛾北迁南回的重要过渡地带 (陈辉等, 2020), 明确该虫的发生和扩散情况可为精准防控提供科学依据。

害虫的发生为害与寄主植物的生育期密切相关, 作物不同生育期害虫的发生情况明显不同。由于草地贪夜蛾为近几年新入侵我国的害虫, 目前尚未有关于该虫在湖北春、夏、秋玉米不同生育期的种群动态报道。因此, 本研究拟对草地贪夜蛾在湖北不同播期玉米上的种群动态进行连续调查, 明确不同玉米生育期该虫的发生特点, 并结合自然因素分析该虫在迁飞过渡区玉米植株上的扩散规律, 对实现准确预报和制定相应的防控策略、压低本区域内虫口基数和减少迁飞虫源有重要意义。

1 材料与方法

1.1 草地贪夜蛾发生动态调查

1.1.1 试验设计 于 2021 年在武汉、荆州和襄阳定点种植春、夏、秋玉米, 调查草地贪夜蛾种群发生动态。春玉米于 3 月 21 日在武汉播种, 设置 5 个小区。夏玉米在襄阳 (6 月 5 日播种)、荆州 (6 月 9 日播种) 和武汉 (5 月 29 日播种) 种植, 襄阳设置 4 个小区, 荆州和武汉均设置 6

个小区。秋玉米在荆州(7月19日播种)和武汉(7月25日播种)种植,均设置4个小区。以上每小区面积均为 667 m^2 。播种行距约60 cm,株距约25 cm。武汉春、夏、秋玉米区分别间隔约20 m,荆州夏、秋玉米区间隔约40 m。玉米整个生育期不施农药,其它管理同一般农田。

1.1.2 调查方法 分别在春、夏、秋玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、开花期、抽丝期、灌浆期、乳熟期、腊熟期等生育期各开展一次草地贪夜蛾幼虫调查。在每个小区采取对角线5点取样,每点调查10株。目测全株,记录调查到的草地贪夜蛾幼虫数量。

1.2 草地贪夜蛾扩散规律调查

1.2.1 供试虫源 草地贪夜蛾在湖北省农业科学院植保土肥研究所养虫室饲养,原始虫源采自武汉市新洲区玉米田。饲养条件为:温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $60\%\pm 5\%$ 、光周期L:D=16:8。

1.2.2 试验设计 于2021年在武汉玉米上进行草地贪夜蛾幼虫扩散试验。玉米行间呈东西走向。在玉米田划定 $7\text{ m}\times 7\text{ m}$ 的小区,于小喇叭口期对田间原有的害虫和天敌进行人工去除,然后分别按照10、25、50、100和150头/株的幼虫密度,在小区中心的玉米植株上接入草地贪夜蛾初孵幼虫。10头/株的处理为20个重复,其余密度处理均为4个重复。接虫后第二天开始,每天以接虫株为中心,逐一观察小区内的玉米植株,记录幼虫龄期、转株幼虫数、扩散方向及扩散距离等,直至所有幼虫化蛹。同时记录每天的风向数据。

1.3 数据分析

扩散株是草地贪夜蛾幼虫从接虫株转移扩散到的玉米植株;幼虫不同龄期新增扩散株比例是在某个幼虫龄期新增扩散株占总扩散株的百分比;扩散距离是从接虫株到扩散株的距离;风向比例是幼虫期间某个风向天数占总天数的百分比;幼虫扩散方向比例是某个方向扩散株的数量占总扩散株数的百分比。

试验数据采用Excel 2013进行统计,运用SPSS Statistics 25.0软件进行方差分析(Duncan's新复极差法, $P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 玉米田草地贪夜蛾幼虫发生动态

2.1.1 春玉米 武汉春玉米苗期和拔节期均未调查到草地贪夜蛾幼虫发生(图1:A)。从大喇叭口期开始出现幼虫,大喇叭口期至抽雄期幼虫数量升高,抽雄期至抽丝期虫量下降,而后的灌浆期、乳熟期和腊熟期均未有幼虫发生。幼虫发生量高峰出现在抽雄期(5月15日),百株虫量为(3.58 ± 0.56)头,显著高于其它生育期($F=27.02$, $P<0.0001$)。

2.1.2 夏玉米 武汉夏玉米苗期未发现草地贪夜蛾幼虫(图1:B),从拔节期开始有幼虫发生,大喇叭口期出现幼虫发生量高峰[6月24日,百株虫量为(6.01 ± 1.37)头],抽雄期幼虫量下降,开花期出现第2个幼虫发生量高峰[7月9日,百株虫量为(6.01 ± 0.93)头],之后的玉米生育期虫量下降,腊熟期未调查到幼虫。整个玉米生育期中,大喇叭口期和开花期的草地贪夜蛾幼虫量显著高于其它生育期($F=14.25$, $P<0.0001$)。

与武汉类似,荆州夏玉米苗期未调查到草地贪夜蛾幼虫(图1:C),但拔节期幼虫发生量即高达(50.22 ± 6.89)头/百株;大喇叭口期、抽雄期、开花期幼虫数量缓慢下降,但最低虫量仍在30头/百株以上;抽丝期幼虫数量明显上升,出现幼虫发生量高峰[8月13日,百株虫量为(51.39 ± 4.62)头];在灌浆期和乳熟期,幼虫数量急剧下降,至腊熟期未调查到幼虫。

襄阳夏玉米苗期未有草地贪夜蛾幼虫发生(图1:D),拔节期开始出现幼虫,但发生数量较少,百株虫量不足1头;随着玉米进入大喇叭口期,幼虫数量急剧增加,出现虫量高峰[7月22日,百株虫量为(24.09 ± 2.89)头];在抽雄期、开花期、抽丝期和灌浆期,幼虫数量下降;在腊熟期仍有幼虫发生,主要隐藏在植株上半部分的

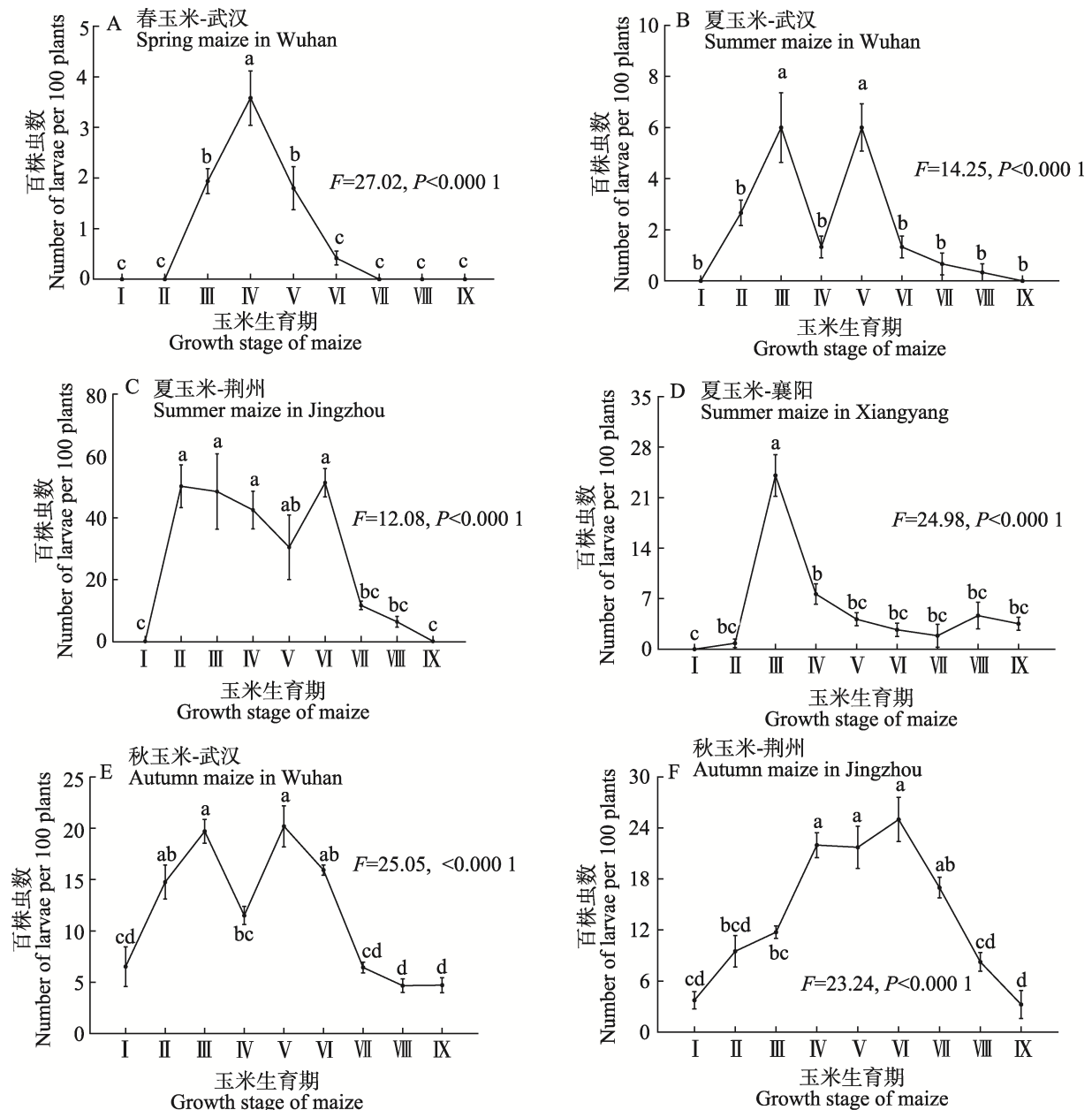


图1 玉米田草地贪夜蛾幼虫种群动态

Fig. 1 Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* larvae in maize field

A. 武汉春玉米; B. 武汉夏玉米; C. 荆州夏玉米; D. 襄阳夏玉米; E. 武汉秋玉米; F. 荆州秋玉米。

A. Spring maize in Wuhan; B. Summer maize in Wuhan; C. Summer maize in Jingzhou; D. Summer maize in Xiangyang; E. Autumn maize in Wuhan; F. Autumn maize in Jingzhou.

图中玉米生育期分别为 I 苗期、II 拔节期、III 大喇叭口期、IV 抽雄期、V 开花期、VI 抽丝期、VII 灌浆期、VIII 乳熟期、IX 腊熟期。折线上不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 新复极差法检验)。

Growth stage of maize in the figure are I: Seedling stage, II: Jointing stage, III: Big bell stage mouth, IV: Tasseling stage, V: Flowering time, VI: Silking stage, VII: Grain filling stage, VIII: Milk stage, IX: Dough stage. Different lowercase letters above the broken lines indicate significant differences at 0.05 level ($P<0.05$, Duncan's multiple range test).

绿色叶鞘和果穗内。整个玉米生育期中, 大喇叭口期的草地贪夜蛾幼虫量显著高于其它生育期

($F=24.98, P<0.0001$)。

2.1.3 秋玉米 武汉秋玉米苗期至腊熟期均有

草地贪夜蛾幼虫发生(图 1: E); 从苗期开始到大喇叭口期, 幼虫数量上升; 从开花期开始到腊熟期, 幼虫数量下降。整个玉米生育期中, 幼虫种群数量的两个高峰出现在大喇叭口期[8 月 25 日, 百株虫量为 (19.71±1.18) 头]和开花期[9 月 6 日, 百株虫量为 (20.21±2.01) 头], 显著高于苗期、抽雄期、灌浆期、乳熟期和腊熟期虫量 ($F=25.05, P<0.0001$)。

与武汉类似, 荆州秋玉米从苗期至腊熟期均调查到草地贪夜蛾幼虫(图 1: F); 从苗期到抽丝期, 幼虫种群数量波动上升; 从抽丝期开始到腊熟期, 幼虫数量下降。整个玉米生育期中, 以

抽雄期[8 月 25 日, 百株虫量为(22.00±1.47)头]、开花期[8 月 29 日, 百株虫量为(21.75±2.50)头]和抽丝期[9 月 6 日, 百株虫量为(25.00±2.61)头]幼虫发生量较高, 显著高于其它生育期 ($F=23.24, P<0.0001$)。

2.2 玉米田草地贪夜蛾幼虫扩散规律

2.2.1 扩散比例 将草地贪夜蛾初孵幼虫接至田间玉米植株上后, 幼虫能够以接虫株为中心, 向其它玉米植株进行转株扩散为害。如表 1 所示, 在整个幼虫期, 扩散株数随着幼虫密度的增加而增多, 且差异显著 ($F=51.54, P<0.001$)。

表 1 草地贪夜蛾幼虫在玉米田扩散株数及幼虫不同龄期新增扩散株比例
Table 1 Dispersal plant and proportion of newly diffused plants at different instars of larvae

幼虫密度 (头/株) The density of larvae per plant	扩散株数 Dispersal plant	幼虫不同龄期新增扩散株比例 (%) Proportion of newly diffused plant in different instars of larvae (%)				
		2 龄期 2nd instar	3 龄期 3rd instar	4 龄期 4th instar	F	P
10	2.27±0.15 C	16.90±9.42 b	71.11±10.60 a	11.98±1.85 b	15.80	0.004
25	7.75±1.49 C	26.96±5.30 b	58.21±7.90 a	14.82±5.40 b	12.56	0.002
50	14.50±0.5 B	31.03±1.69 b	62.05±1.69 a	6.92±0.22 c	398.82	0.001
100	24.50±2.36 A	20.94±1.84 b	74.88±2.20 a	4.19±0.37 c	489.08	0.001
150	29.00±1.47 A	22.94±2.49 b	73.58±2.34 a	3.48±0.18 c	334.77	0.001

同列数字后标有不同大写字母表示差异显著, 同行数字后标有不同小写字母表示间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 新复极差法检验)。
Data followed by the different uppercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level, while followed by the different lowercase letters in the same row indicate significant differences at 0.05 level (Duncan's multiple range test).

分析增加的扩散株发现, 扩散株多在幼虫 2、3 和 4 龄期增加; 且在新增扩散株中, 以 3 龄期新增比例最高, 占新增扩散株的 50%以上; 不同幼虫密度处理均以 3 龄期新增扩散株比例显著高于 2 龄期和 4 龄期(表 1)。

2.2.2 扩散距离 自然条件下玉米田草地贪夜蛾幼虫扩散距离如图 2 所示, 不同接虫密度处理草地贪夜蛾幼虫的扩散距离存在显著差异 ($F=28.05, P<0.0001$)。总体看, 随着初孵幼虫密度的增加, 幼虫的扩散距离变远。当初孵幼虫密度为 150 头/株时, 扩散距离可达 (352.50±17.02) cm, 约为 10 头/株处理的 3.5 倍。

2.2.3 扩散方向 玉米田草地贪夜蛾幼虫的扩散方向如表 2 所示。玉米田幼虫扩散期间, 风向

为东风的天数最多(占比达 40%), 其它风向天数比例从高到低依次是东南风、西风和北风。幼虫沿着东风向西扩散的比例为 60.32%, 显著高于向东、西北和西南方向扩散的幼虫比例 ($F=14.75, P=0.0014$)。由以上可知, 玉米田草地贪夜蛾幼虫扩散主要沿着风向进行。

3 讨论

3.1 春、夏、秋玉米田中草地贪夜蛾幼虫种群消长关系

昆虫种群数量在寄主植物上变动的原因是生态学界研究的重点之一 (Sakai and Ishida, 2001)。昆虫的迁飞和环境因素如食物、栖息场

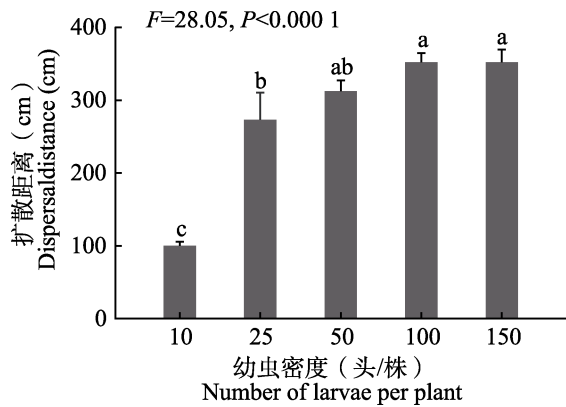


图2 草地贪夜蛾幼虫扩散距离

Fig. 2 Dispersal distance of *Spodoptera frugiperda* larvae

图中数值为平均值±标准误。柱上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 多重比较检验)。Data in the figure are mean±SE. Histograms with different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level (Duncan's multiple range test).

表2 玉米田风向及草地贪夜蛾幼虫扩散方向

Table 2 Wind direction and dispersal direction of *Spodoptera frugiperda* larvae in maize fields

风向及比例 Wind direction and ratio		幼虫扩散方向及比例 Dispersal direction of larvae and ratio	
风向 Wind direction	比例 (%) Ratio (%)	扩散方向 Dispersal direction	比例 (%) Ratio (%)
东 East	40	西 West	60.32±10.94 a
东南 Southeast	30	西北 Northwest	11.67±4.57 bc
西 West	20	东 East	25.24±6.62 b
北 North	10	西南 Southeast	2.78±2.78 c

同列数据后标有不同小写字母表示玉米上草地贪夜蛾幼虫扩散方向比例差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 多重比较检验)。

Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level among ratios of larvae dispersal direction in maize (Duncan's multiple range test).

所等制约着昆虫种群的数量 (Andrewartha and Birch, 1954; Milne, 1962)。本文结合迁飞、环境、食物等因子,探索玉米田中草地贪夜蛾种群数量变动的原因。分析夏玉米发现,武汉、荆州和襄阳草地贪夜蛾幼虫发生动态和峰期并不一致。武汉夏玉米峰期出现在大喇叭口期 (6月24日)和开花期 (7月9日),抽丝期虫量下降;荆州夏玉米峰期出现在抽丝期 (8月13日),灌浆期开始下降;襄阳夏玉米峰期出现在大喇叭口

期 (7月22日)。分析秋玉米发现,武汉和荆州草地贪夜蛾幼虫发生动态和峰期也有差别。武汉秋玉米峰期出现在大喇叭口期 (8月25日)和开花期 (9月6日),抽丝期虫量下降;荆州秋玉米峰期出现在抽丝期 (9月6日),灌浆期开始下降。由此可见,武汉、荆州和襄阳草地贪夜蛾的发生动态和峰期不同,这可能与玉米播期及当地天气有关。

按时间先后顺序分析发现,武汉春玉米区草地贪夜蛾的虫量高峰出现在抽雄期 (5月15日),夏玉米区虫量高峰出现在大喇叭口期 (6月24日)和开花期 (7月9日),秋玉米区虫量高峰分别出现在大喇叭口期 (8月25日)和开花期 (9月6日),春、夏、秋玉米上草地贪夜蛾虫量高峰在时间上并无重叠。荆州夏玉米区草地贪夜蛾的虫量高峰出现在抽丝期 (8月13日),秋玉米区虫量高峰出现在抽丝期 (9月6日),夏、秋玉米上草地贪夜蛾虫量高峰在时间上并无重叠。武汉的春玉米、武汉和荆州的夏玉米在生长后期,均未调查到草地贪夜蛾幼虫发生。武汉和荆州所在的江汉平原玉米区的种植模式主要为春、夏、秋玉米混合种植,玉米生长期一般为3-7月 (春玉米)、6-9月 (夏玉米)、7-11月 (秋玉米) (田甫焕等, 2020)。从时间序列上分析,草地贪夜蛾在春玉米田完成一个世代后,春玉米已处于生长后期即成熟期,此时同区域的夏玉米正处于苗期,推测草地贪夜蛾成虫优先选择处于苗期的夏玉米产卵和繁殖为害。同样,草地贪夜蛾在夏玉米田完成一个世代后,转移到同区域的秋玉米田继续为害。从而导致春、夏玉米后期无幼虫发生 (图3)。与武汉和荆州不同,襄阳的夏玉米腊熟期还有草地贪夜蛾幼虫发生。襄阳地处鄂北岗地丘陵玉米区,该区主要种植模式为夏玉米-冬小麦轮作;夏玉米在9月中下旬成熟收获,下茬小麦播种时间为10月中旬开始。推测襄阳夏玉米腊熟期,由于周围没有更适宜草地贪夜蛾的寄主,导致幼虫仍在原寄主上生存 (图3)。武汉和荆州的秋玉米腊熟期还有草地贪夜蛾幼虫发生,周围除玉米外,已无其它作物。推测与襄阳夏玉米类似,由于没有可供转移的寄主,导致玉米生长后期仍有幼虫存活 (图3)。

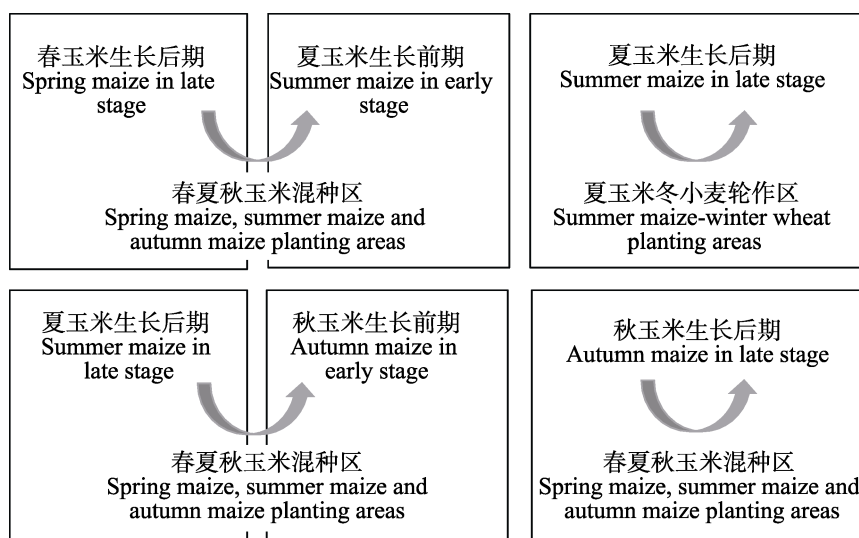


图 3 草地贪夜蛾幼虫种群转移猜想示意图

Fig. 3 Diagram of migration rule of *Spodoptera frugiperda*

图中箭头表示种群转移方向。Arrows in the picture indicate the direction of population migration.

草地贪夜蛾是迁飞性昆虫,湖北省处于迁飞过渡区,昆虫迁入迁出是影响当地种群消长的重要因素(陈辉等, 2020)。据邓环环等(2023)报道,草地贪夜蛾在春季5月中旬自南向北开始迁入湖北,本文武汉春玉米大喇叭口期(5月18日)开始出现草地贪夜蛾幼虫,推测是迁入的首代成虫产卵孵化后的幼虫;草地贪夜蛾在秋季9月上旬自北向南迁回湖北,推测秋玉米田的种群不仅有夏玉米上转移而来的本地虫源,还有迁飞虫源;本文武汉和荆州秋玉米上虫量最高峰都出现在9月6日,推测是9月份大量虫源回迁至湖北,导致不同区域都在同一时期出现虫量最高峰。

春玉米上草地贪夜蛾幼虫主要发生时期是大喇叭口期、抽雄期、开花期;夏玉米上幼虫主要发生时期是拔节期、大喇叭口期、抽雄期、开花期和抽丝期,但襄阳地区的夏玉米乳熟期和腊熟期也有发生;秋玉米从苗期至腊熟期均有草地贪夜蛾幼虫发生。因此建议,春玉米上草地贪夜蛾幼虫重点防治时期在大喇叭口期至开花期;夏玉米重点防治时期在拔节期至抽丝期,但夏玉米-冬小麦轮作区在玉米生育末期也要关注幼虫发生情况并及时进行防治;秋玉米全生育期均应进行重点防治;以降低产量和经济损失并压低迁出

虫源数量。

3.2 玉米田中草地贪夜蛾幼虫扩散

昆虫幼虫的田间扩散是寻求食物和庇护等资源的一种适应行为,对田间种群的建立和发展至关重要(Bell, 1990; Zalucki *et al.*, 2002)。本研究发现,玉米田中草地贪夜蛾1-6龄幼虫均存在扩散现象,1龄幼虫可借助风力吐丝扩散到植株其它部位上,2龄及以上幼虫通过爬行扩散到其它植株上,这与郭井菲等(2022)和Pannuti等(2016)的研究结果类似。在整个幼虫期,新增扩散株多发生在幼虫2-4龄期,推测在2、3和4龄期,随着龄期的增长,幼虫取食量增加、种内竞争加剧,对食物及空间的需求增大,一株玉米不能满足多头幼虫存活,导致幼虫转株扩散为害。幼虫3龄期新增扩散株比例最高,说明幼虫的转株扩散现象在3龄期最盛;5-6龄期的幼虫在偶发强降雨、大风等自然条件下有转株扩散的现象。结合草地贪夜蛾幼虫的扩散特点,建议在幼虫2龄期前进行防治,以最大程度减少对其它玉米植株的转移为害。

草地贪夜蛾幼虫的扩散距离随着初孵幼虫密度的增加而增大;推测密度越大,幼虫的生存压力越大,导致扩散距离更远。本试验中,草地

贪夜蛾幼虫在玉米田的扩散距离最远为 352.5 cm。郭井菲等(2022)报道,草地贪夜蛾幼虫在 36 m² 和 64 m² 的小区扩散距离分别为 336.4 cm 和 611.3 cm。本试验设置小区为 49 m², 小区面积不同或许是导致本文与以上报道中扩散距离不同的原因。幼虫扩散期间的风力等级多为 3 级以内,推测如果风力增大时,幼虫的田间扩散距离将增加。

玉米田草地贪夜蛾幼虫向西方向扩散的比例显著高于其它方向;而幼虫扩散期间出现东风天数较多,这说明幼虫种群扩散有明显的方向性,多在顺风方向扩散。与本研究结果类似,野外光肩星天牛、温室白粉虱和柑桔木虱等害虫在寄主上的扩散趋势与风向基本吻合(李国宏等, 2010; 卫秋阳等, 2018; 邓铁军等, 2019)。在草地贪夜蛾幼虫扩散期间有北风出现,但未发现向南扩散的幼虫,而有少部分幼虫向西南扩散;结合试验田玉米是东西方向种植,推测玉米行的方向也影响幼虫的扩散风向。

参考文献 (References)

- Andrewartha HG, Birch LC, 1954. Distribution and Abundance of Animals. Chicago: University of Chicago Press. 389–390.
- Bell WJ, 1990. Searching behavior patterns in insects. *Annual Review of Entomology*, 35: 447–467.
- CABI, 2021. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) datasheet. invasive species compendium [EB/OL]. (2021-02-17) [2021-02-25]. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/29810>.
- Chen H, Wu MF, Liu J, Chen AD, Jiang YY, Hu G, 2020. Migratory routes and occurrence divisions of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 747–757. [陈辉, 武明飞, 刘杰, 谌爱东, 姜玉英, 胡高, 2020. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划. 植物保护学报, 47(4): 747–757.]
- Cui Y, Cui LF, 2020. Research on the spatio-temporal distribution characteristics of temperature and precipitation variation in Hubei province in the past 50 years. *Journal of Huanggang Normal University*, 40(3): 80–86. [崔杨, 崔利芳, 2020. 近 50 年湖北省气温、降水量变化趋势的时空分布特征研究. 黄冈师范学院学报, 40(3): 80–86.]
- Deng HH, Yang JJ, Guo AH, Wang CZ, Xie JX, Zhong M, Guo GF, 2023. Exploration and application of meteorological forecasting model for the migration of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Huazhong Agricultural University*, <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/42.1181.S.20230717.1628.002.html>. [邓环环, 杨俊杰, 郭安红, 王纯枝, 谢家旭, 钟敏, 郭广芬, 2023. 草地贪夜蛾迁飞气象预报方法探索及应用. 华中农业大学学报, <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/42.1181.S.20230717.1628.002.html>.]
- Deng TJ, Liu LH, Bai XJ, Zhang L, Huang HM, 2019. Regulation of population spreading of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* under natural conditions. *South China Fruits*, 48(4): 1–3. [邓铁军, 刘丽辉, 白先进, 张兰, 黄宏明, 2019. 自然条件下柑桔木虱种群扩散规律调查. 中国南方果树, 48(4): 1–3.]
- Guo JF, Han HL, He KL, Bai SX, Zhang TT, Wang ZY, 2022. Dispersal of *Spodoptera frugiperda* in maize monoculture and intercropped maize-soybean fields. *Plant Protection*, 48(1): 110–115. [郭井菲, 韩海亮, 何康来, 白树雄, 张天涛, 王振营, 2022. 草地贪夜蛾在玉米单作及玉米-大豆间作田的扩散规律. 植物保护, 48(1): 110–115.]
- Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trends 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.]
- He LM, Zhao SY, Wu KM, 2020. Study on the damage of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to peanut. *Plant Protection*, 46(1): 28–33. [何莉梅, 赵胜园, 吴孔明, 2020. 草地贪夜蛾取食为害花生的研究. 植物保护, 46(1): 28–33.]
- Hubei Provincial Statistics, 2021. Annals of Hubei provincial statistics in 2021. <http://tjj.hubei.gov.cn/tjsj/sjkscx/tjnj/qstjnj/>. [湖北省统计局, 2021. 2021 湖北省统计年鉴. <http://tjj.hubei.gov.cn/tjsj/sjkscx/tjnj/qstjnj/>.]
- Jacobs A, Van VA, Rong IH, 2018. Characterisation of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) from South Africa. *African Entomology*, 26(1): 45–49.
- 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.]
- Jing DP, Guo JF, Jiang YY, Zhao JZ, Sethi A, He KL, Wang ZY, 2020. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques. *Insect Science*, 27(4): 780–790.

- Li GH, Gao RT, Michael TS, Kong LC, 2010. Study on the dispersal of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) (Coleoptera: Cerambycidae) population. *Forest Research*, 23(5): 678–684. [李国宏, 高瑞桐, Michael TS, 孔令才, 2010. 光肩星天牛种群扩散规律的研究. 林业科学研究, 23(5): 678–684.]
- Lima MA, Silva PSL, Oliveira OF, Silva KMB, Freitas FCL, 2010. Corn yield response to weed and fall armyworm controls. *Planta Daninha*, 28(1): 103–111.
- Milne A, 1962. On a theory of natural control of insect population. *Journal of Theoretical Biology*, 1962(3): 19–50.
- Murua G, Molina-ochoa J, Coviella C, 2006. Population dynamics of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in Northwestern Argentina. *Florida Entomologist*, 89(2): 175–182.
- Pannuti LER, Paula-moraes SV, HUNT TE, Baldin ELL, Dana L, Malaquias JV, 2016. Plant-to-plant movement of *Striacosta albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize (*Zea mays*). *Journal of Economic Entomology*, 109(3): 1125–1131.
- Ren XX, Hu BJ, Su XY, Xu LN, Su WH, Qiu K, Zheng ZY, Zhang QY, Qiu HY, Ye ZH, 2019. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, were found damaging difference between wheat-maize rotation and wheat-soybean rotation in Anhui province. *Plant Protection*, 46(2): 287–288. [任学祥, 胡本进, 苏贤岩, 徐丽娜, 苏卫华, 邱坤, 郑兆阳, 张启勇, 邱化义, 叶正和, 2019. 安徽发现草地贪夜蛾区别为害麦玉/麦豆轮作田小麦. 植物保护, 46(2): 287–288.]
- Sakai T, Ishida N, 2001. Circadian rhythms of female mating activity governed by clock genes in *Drosophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United of America*, 98(16): 9221–9225.
- Tai HK, Guo JF, Yang SC, Zhang F, Liu J, Yang YQ, Song M, Xia YG, He K, Lin QX, Wang ZY, 2019. Biological characteristics and damage symptoms of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on sugarcane in Dehong prefecture of Yunnan province. *Plant Protection*, 45(6): 75–79. [太红坤, 郭井菲, 杨世常, 张峰, 刘杰, 杨煜卿, 宋梅, 夏银果, 何珂, 蔺乔仙, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾在云南德宏州甘蔗上的生物学习性及为害状观察. 植物保护, 45(6): 75–79.]
- Tian PH, Yi GX, Du SK, Chang HB, Zhou G, 2020. Maize in Hubei. Beijing: China Meteorological Press. 14–25. [田甫焕, 羿国香, 杜世凯, 常海滨, 周刚, 2020. 湖北玉米. 北京: 气象出版社. 14–25.]
- Todde EL, Poole RW, 1980. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the Western Hemisphere. *Annals of the Entomological Society of America*, 73(6): 722–738.
- Wei QY, Wang CB, Zhang WJ, Liu H, 2018. The pattern of tobacco whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* occurrence and spreading in Chongqing area. *Journal of Environmental Entomology*, 40(3): 571–578. [卫秋阳, 王成斌, 张文娟, 刘怀, 2018. 重庆地区烟田粉虱发生及扩散规律研究. 环境昆虫学报, 40(3): 571–578.]
- Yang JJ, Guo ZP, Luo HG, Jiang YY, Huang JX, Zhang KX, Liu Q, Yuan H, 2020. Research on the law of infestation and monitoring technology of *Spodoptera frugiperda* in Hubei province in 2019. *Plant Protection*, 46(3): 247–253. [杨俊杰, 郭子平, 罗汉钢, 姜玉英, 黄家祥, 张凯雄, 刘芹, 袁浩, 2020. 2019年湖北省草地贪夜蛾发生为害规律和监测技术探索. 植物保护, 46(3): 247–253.]
- Zalucki MP, Clarke AR, Malcom SB, 2002. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 47: 361–393.
- Zhang L, Liu B, Jiang YY, Liu J, Wu KM, Xiao YT, 2019. Molecular characterization analysis of fall armyworm populations in China. *Plant Protection*, 45(4): 20–27. [张磊, 柳贝, 姜玉英, 刘杰, 吴孔明, 萧玉涛, 2019. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析. 植物保护, 45(4): 20–27.]