

北京市大兴区梨园梨小食心虫发生动态 与温湿度的关系*

赵 鹏** 杨雪琳 孙圣杰 高旭辉 张松斗 刘小侠***

(中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193)

摘 要 【目的】梨小食心虫 *Grapholita molesta* Busck 作为世界性害虫, 对梨果生产造成严重损失。本文通过对梨小食心虫种群进行监测, 以明确种群动态与温湿度的关系。【方法】以北京大兴梨园为监测点, 连续 3 年 (2018–2021) 利用性诱捕装置监测梨小食心虫成虫种群发生动态, 并结合当地气象数据, 分析研究了温湿度与种群动态的关系。【结果】大兴地区梨小食心虫于 3 月中下旬始见越冬代成虫, 一年发生 4 次高峰期, 分别在 4 月中下旬、6 月中旬、7 月中下旬及 9 月上中旬。通过气象数据分析发现平均气温和最高气温与虫口密度之间具有显著相关性, 回归方程为 $Y = -5.62 - 0.16X_1 + 0.72X_2 + 0.52X_3 + 0.18X_4$, 其中最高气温 (X_3) 为主要气象影响因素, 而平均气温 (X_1) 和最低气温 (X_2) 次之, 平均相对湿度 (X_4) 影响最小。【结论】通过对大兴梨园梨小食心虫发生动态监测和气象数据分析, 初步掌握了梨小食心虫发生规律与温湿度的关系, 为梨小食心虫预测预报模型的建立奠定基础。

关键词 梨小食心虫; 温度; 湿度; 相关分析; 回归分析

The effect of temperature and humidity on the population dynamics of *Grapholita molesta* in pear orchards in Daxing district, Beijing

ZHAO Peng** YANG Xue-Lin SUN Sheng-Jie GAO Xu-Hui
ZHANG Song-Dou LIU Xiao-Xia***

(Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effects of temperature and humidity on the population dynamics of *Grapholita molesta*, a pest that causes significant losses to pear crops worldwide. 【Methods】A monitoring site was set up in a pear orchard in Daxing, Beijing municipality where sex pheromone traps were used to monitor the population dynamics of adult *G. molesta* over three years (2018–2021). The data obtained were combined with local meteorological data collected over the same period to analyze the relationship between temperature, humidity and population dynamics. 【Results】*G. molesta* began to appear in the pear orchard in mid to late March. Four population peaks occurred each year; in mid to late April, mid-June, mid to late July and early to mid-September. There was a significant relationship between the average and maximum temperature and population density, which can be described by the equation $Y = -5.62 - 0.16X_1 + 0.72X_2 + 0.52X_3 + 0.18X_4$, where X_3 is the highest temperature, X_1 is the average temperature, X_2 is the lowest temperature and X_4 is the average relative humidity. The relative importance of these factors was: $X_3 > X_1 > X_2 > X_4$. 【Conclusion】There is a significant relationship between the occurrence of *G. molesta* in pear orchards in Daxing, Beijing municipality, and local temperature and humidity data. These results lay a foundation for developing a model to predict the occurrence of *G. molesta*.

Key words *Grapholita molesta*; temperature; humidity; correlation analysis; regression analysis

*资助项目 Supported projects: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-28)

**第一作者 First author, E-mail: zhaopeng941103@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuxiaoxia611@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-03-10; 接受日期 Accepted: 2022-09-01

梨小食心虫 *Grapholita molesta* Busck 属鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae 小卷蛾亚科 Olethreutinae 小食心虫属 *Grapholita*, 简称梨小、桃折梢虫等(张青文和刘小侠, 2015), 是一种世界性果树(桃、梨和苹果等)蛀果害虫(Myers *et al.*, 2006; Stelinski *et al.*, 2006)。我国除西藏外, 其余各省(区)均有分布, 在华北、东北等桃梨混栽区为害尤为严重(陆鹏飞等, 2010; 周仙红等, 2011; 范仁俊等, 2013), 重发果园的虫果率超过 50%, 致使水果产量和品质下降, 甚至完全失去食用价值, 造成严重经济损失, 目前梨小已成为梨果绿色生产中的重要限制因子(刘玉光等, 2013; 张利军等, 2013)。

梨小食心虫主要以幼虫蛀入果实内部危害, 幼虫阶段防治较为困难, 因此梨小食心虫的防治以成虫的监测和防治为主。目前, 成虫监测主要利用性信息素测报装置, 主要由梨小食心虫性信息素诱芯及三角型诱虫屋组成, 其中诱芯黏在白色粘虫板上或用细丝悬挂于诱虫屋内部的粘虫板上方。通常于 3 月份开始悬挂, 每 667 m² 悬挂 3-5 个, 悬挂高度在 1.5-1.8 m, 诱捕装置内的诱芯每月更换 1 次, 诱虫屋内每周更换 1 张粘虫板并记录诱蛾量(孙圣杰等, 2021)。当诱集到的成虫数量连续增加, 且累计诱蛾量超过历年平均诱蛾量的 50% 时, 确定为成虫羽化高峰期, 高峰期后 4-5 d 即为产卵高峰期, 产卵高峰期后 4-5 d 即为卵孵化高峰期(张青文和刘小侠, 2015)。

梨小食心虫世代重叠现象严重, 平均温度、平均湿度和光周期等是影响梨小发生的重要环境因素, 其中温度主要影响梨小食心虫的存活和发育等(杜娟等, 2009); 湿度主要影响梨小食心虫的产卵、孵化、化蛹和羽化等(庾琴等, 2017); 光周期主要影响梨小食心虫的滞育率(何超等, 2011); 降水量和日均光照时间主要影响越冬代发生量(金立等, 2014)。本文应用相关分析、逐步回归分析和通径分析等方法分析了 2018-2021 年造成梨小食心虫种群消长态势差异性的主要原因, 探索气候因素与梨小食心虫种群动态的关联程度和定量关系, 以期对梨小食心虫的预测预报和综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

梨小食心虫性诱捕器监测点设置在北京市大兴区庞各庄镇定福庄村梨享庄园(116°27'E, 39°59'N, 海拔约 35 m), 梨园面积 53.3 hm², 种植方式为矮化密植, 主栽品种为翠玉酥(新梨 7 号), 次栽品种红香酥和雪青, 种植比例为 6:1:1, 梨树整体树龄约 7 年, 株行距为 0.7 m × 3.0 m, 树高 2.5 m, 行间自然生草, 生草种类为藜、黑麦、菵草等, 往年梨小食心虫发生较严重, 试验期间梨园正常管理。

1.2 梨小食心虫虫情监测

在监测园区内, 选取正常管理的 0.7 hm² 梨园(新梨 7 号)虫情监测区。园内采用对角线五点法选取 5 个点, 并将这 5 点的诱捕器进行标记, 用于梨小食心虫数量统计。三角型屋式诱捕器内部放置梨小食心虫性诱芯(均购自北京中捷四方生物科技有限公司), 每月更换 1 次诱芯, 每周更换 1 次粘虫板。诱捕器悬挂高度为 1.5-1.8 m, 各诱捕器的间距不小于 15 m。调查时间为 2018 年 4 月 18 日至 10 月 4 日, 2019 年 2 月 20 日至 2019 年 11 月 6 日, 2021 年 3 月 20 日至 10 月 17 日。在调查时间段中每周(期间受降雨等天气影响, 调查时间会略有波动)对监测点诱捕器内的诱虫量进行统计。

1.3 气象数据收集

2018 和 2019 年气象资料由北京市大兴地区气象观测站提供, 收集调查时间段的气象数据, 主要包括日平均气温、平均相对湿度、日最高温度、日最低温度等以日为单位统计的因子。2021 年气象数据则利用温湿度记录仪(精创 RC-4HC 广州新卓江科技有限公司)悬挂田间进行记录采集。

1.4 数据分析

利用相关分析、逐步回归分析和通径分析等

方法分析梨小食心虫种群与气象因素之间的关系，其中梨小发育阶段的生物零度则采用 10 ℃ 进行计算（李文亮等，2010）。种群动态的试验数据采用 Excel 2019 和 SPSS 22.0 进行处理，利用 GraphPad 7 进行作图。

有效积温（ A_e ）计算公式如下：

$$A_e = \sum_{i=1}^n (T_i - B)$$

式中： n 代表发育时期历经的天数； T_i 代表—第 i 日平均气温； B 代表该发育阶段的生物学零度。式中若 $T_i \leq B$ 时，则 $(T_i - B)$ 以 0 计。

本文中梨小食心虫发育时期历经的天数（ n ）为每代高峰之间的间隔天数。

2 结果与分析

2.1 梨小食心虫种群动态及其与主要气象因子关系

通过 3 年对北京大兴梨园监测统计（表 1），发现梨小食心虫越冬代成虫一般于 3 月下旬出现，4 月中下旬达到发生高峰，此时平均温度为 14.9-17.0 ℃，平均湿度为 43.1%-61.0%，有效积温为 123.8-174.0 日·度；第 1 代成虫发生高峰主要在 6 月中旬，此时有效积温最高，为 610.5-726.5 日·度；第 2 代成虫发生高峰主要在 7 月中下旬；9 月上中旬出现梨小食心虫的第 3 代成虫发生高峰，至 10 月上中旬种群完全消退。

表 1 田间梨小食心虫成虫各代高峰出现时间及相关气象数据

Table 1 Peak occurrence time and related meteorological data of each generation of the adult of *Grapholita molesta* in the field

时期 Stage	气象参数 Meteorological parameter	年份 Year		
		2018	2019	2021
成虫出现时期 The period of emergence of the adult	日期 Date	—	3 月 20 日-3 月 26 日	4 月 4 日-4 月 11 日
	平均温度 (℃) Mean temperature (℃)	—	11.3	13.0
	平均湿度 (%) Medial humidity (%)	—	16.1	44.2
越冬代高峰期 Peak of overwintering generation	日期 Date	4 月 11 日-4 月 18 日	4 月 18 日-4 月 26 日	4 月 19 日-4 月 25 日
	平均温度 (℃) Mean temperature (℃)	16.0	14.9	17.0
	平均湿度 (%) Medial humidity (%)	43.1	58.5	61.0
	有效积温 (日·度) Effective accumulated (degree·days)	403.3	469.4	470.5
第 1 代代高峰期 The first generation peak	日期 Date	6 月 7 日-6 月 14 日	6 月 13 日-6 月 19 日	6 月 14 日-6 月 20 日
	平均温度 (℃) Mean temperature (℃)	22.7	25.0	26.7
	平均湿度 (%) Medial humidity (%)	64.9	59.6	57.7
	有效积温 (日·度) Effective accumulated (degree·days)	664.8	684.4	745.1
第 2 代代高峰期 The second generation peak	日期 Date	7 月 26 日-8 月 2 日	7 月 18 日-7 月 24 日	7 月 5 日-7 月 11 日
	平均温度 (℃) Mean temperature (℃)	30.1	28.8	26.6
	平均湿度 (%) Medial humidity (%)	72.5	73.7	63.2
	有效积温 (日·度) Effective accumulated (degree·days)	887.1	610.5	-
第 3 代代高峰期 The third generation peak	日期 Date	9 月 1 日-9 月 6 日	9 月 5 日-9 月 11 日	9 月 6 日-9 月 12 日
	平均温度 (℃) Mean temperature (℃)	25.0	24.4	22.1
	平均湿度 (%) Medial humidity (%)	58.3	68.2	86.7
	有效积温 (日·度) Effective accumulated (degree·days)	583.0	782.0	-

—为缺少部分气象数据。

— indicates that some meteorological data is missing.

成虫不同世代以越冬代峰值明显,第1代高峰不明显,2代、3代世代重叠,梨小食心虫呈暴发态势,数量持续增多。

2.2 梨小食心虫发生动态与气象因子的相关性分析

为明确单气象因素与梨小发生数量的关系,结合3年数据进行分析作图,结果(图1)表明,平均温度、最高气温、最低气温和平均相对湿度与梨小食心虫种群发生数量之间均呈正相关关系。

为进一步明确3年不同气象因素与梨小虫口密度之间的关系,对平均气温(X_1)、最高气温(X_2)、最低气温(X_3)和平均相对湿度(X_4)与虫口密度(Y)进行了显著性分析,结果表明平均气温(X_1)和最高气温(X_2)与虫口密度(Y)之间具有显著性(表2)。

2.3 气象因子对梨小食心虫种群数量逐步回归分析

通过对梨小种群动态与3年气象因子的逐

步回归分析,建立梨小食心虫种群数量与主要气象因子的方程式,以梨小食心虫种群发生动态作为因变量(Y),气象因素作为自变量(X_i),完成气象因子对梨小食心虫种群动态的逐步回归分析。回归方程以相关系数 R 为最大的原则,引入相应的气象因子,由此得到以下回归方程: $Y = -5.62 - 0.16X_1 + 0.72X_2 + 0.52X_3 + 0.18X_4$, 上述方程中,各气象因子(X_i)与梨小食心虫种群动态(Y)的偏相关系数为: $r(y, X_1) = -0.0057$; $r(y, X_2) = 0.0735$; $r(y, X_3) = 0.0268$; $r(y, X_4) = 0.0610$ 。由此可看出最高气温(X_2)与梨小食心虫种群动态间的偏相关系数最大,其次为平均相对湿度(X_4)、最低温(X_3),而与平均温度(X_1)呈负相关。

2.4 影响梨小食心虫种群数量变动的气象因子通径分析

基于回归方程,进一步分析多种气象因素与虫口密度的关系,结果表明最高气温(X_2)对梨小食心虫的种群数量变动具有最直接的作用,最

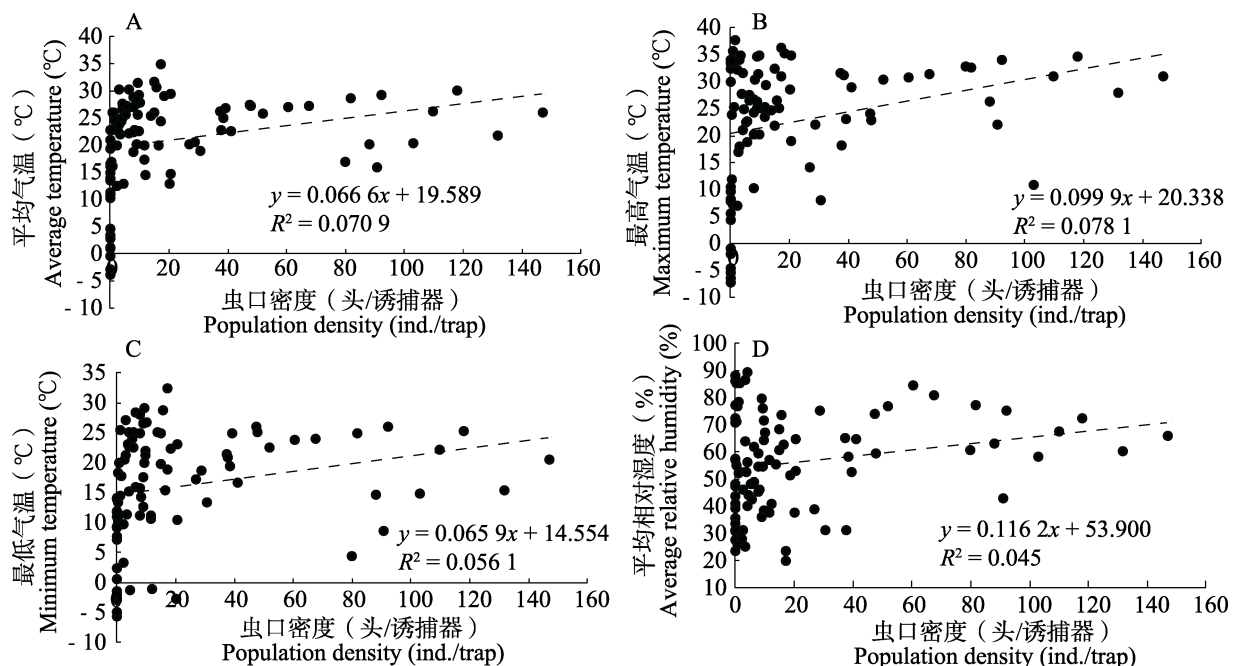


图1 梨小食心虫数量与气象因子的关系

Fig. 1 Relationship between meteorological factors and population quantity of *Grapholita molesta*

图中为不同气象条件与梨小食心虫种群数量动态的关系,其中A. 平均气温; B. 最高气温;

C. 最低气温; D. 平均相对湿度。

The figure shows the relationship between different meteorological conditions and population dynamics of *Grapholita molesta*. A. Average temperature; B. Maximum temperature; C. Minimum temperature; D. Mean relative humidity.

表 2 梨小食心虫虫口密度与主要气象因子相关性
Table 2 Correlation analysis between population density of *Grapholita molesta* and main climatic factors

因子 Character	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y
X ₁	1.00	0.79**	0.92**	0.35**	0.23*
X ₂		1.00	0.56**	0.40**	0.24*
X ₃			1.00	0.34**	0.20
X ₄				1.00	0.16
Y					1.00

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。X₁: 平均气温; X₂: 最高气温; X₃: 最低气温; X₄: 平均相对湿度。
* and ** indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively. X₁: Average temperature; X₂: Maximum temperature; X₃: Minimum temperature; X₄: Mean relative humidity.

低气温 (X₃) 次之。此外, 平均气温 (X₁) 和平均相对湿度 (X₄) 的间接作用大于直接作用 (表 3)。

2.5 气象因子对梨小食心虫种群数量灰色关联度分析

对梨小食心虫种群数量与气象因子 (X_i) 之间进行灰色关联分析, 结果表明平均气温 (X₁)、最高气温 (X₂)、最低气温 (X₃) 和平均相对湿度 (X₄) 与梨小食心虫种群变动的关联系数分别为 0.617 4、0.622 8、0.613 6 和 0.606 0, 关联度排序为 X₂>X₁>X₃>X₄。以上结果表明最高气温 (X₂) 为主要气象影响因素, 对梨小食心虫种群动态的影响最为重要, 而平均气温 (X₁) 和最低气温 (X₃) 的变化对其种群动态的影响次之, 与前三者相比平均相对湿度 (X₄) 对梨小食心虫种群发生动态也有影响, 但影响最小。

3 讨论

本研究结合北京市大兴梨园的气象因素, 通过相关性分析、通径分析、逐步回归分析、灰度分析等分析方法, 研究梨小食心虫种群发生动态与温度、湿度的关系。通过对 3 年的梨小食心虫种群动态和气象数据分析发现, 3 月中旬, 日平均气温达到 12 ℃时, 梨小食心虫越冬代成虫开始危害, 这与相关报道中辽宁地区梨小食心虫在 13 ℃越冬代成虫羽化危害相似 (周大森等, 2016), 随着日平均气温逐渐升高, 梨小食心虫的发生数量也有所提升, 并于 4 月中旬达到越冬代的发生高峰, 与安徽砀山县梨小食心虫越冬代高峰期一致 (王学良, 2020), 此时平均温度 14.9-17.0 ℃, 平均湿度为 43.1%-61.0%, 有效积温为 403.3-470.5 日·度。6 月中旬至 9 月中旬园内梨小食心虫发生量不断攀升并达到发生高峰, 世代重叠严重, 此时温度在 22.1-30.0 ℃之间, 相对湿度在 57.7%-86.7%之间, 有效积温为 610.5-887.1 日·度, 此时也正值梨果的成熟期, 梨小食心虫的大量发生对梨果果品质量造成潜在威胁。9 月下旬-10 月中旬温度的逐渐降低造成梨小食心虫的种群数量呈下降趋势。这与前人 (张星政, 1980; 杜鹃等, 2009; 周大森等, 2016) 报道的梨小食心虫的发育适宜温度 24-29 ℃, 适宜湿度在 60%-80%相一致, 由此可表明, 北京市大兴梨地区梨小食心虫种群数量变动与上述各气象因子有密切联系。

结合相关性分析、逐步回归分析、通径分析和灰色关联度分析结果可知, 在北京市大兴梨园

表 3 影响梨小食心虫种群动态的气象因子通径分析
Table 3 Path analysis between the fluctuation of *Grapholita molesta* and main climatic factors

因子 Character	直接作用 Direct path coefficient	间接作用总和 Total of indirect path coefficient	间接作用 Indirect path coefficient			
			X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
X ₁	- 0.028 8	0.259 4	—	0.141 5	0.094 5	0.023 4
X ₂	0.179 3	0.061 3	- 0.022 7	—	0.057 2	0.026 8
X ₃	0.102 3	0.096 6	- 0.026 6	0.100 3	—	0.022 9
X ₄	0.067 6	0.095 8	- 0.010 0	0.071 2	0.034 6	—

中,当年最高气温及持续天数是影响梨小食心虫种群动态的重要因素之一,其余气象因素与梨小食心虫发生存在一定相关性。梨小食心虫作为一种变温生物,需经历不同的发育阶段,每个发育阶段均受到温度的影响(Yokoyama and Miller, 1987)。温度的升高会缩短梨小食心虫的发育历期,加快其发育速率(唐润轩等, 2020)。本研究监测发现梨小食心虫第2代和第3代高峰期发生在7月中下旬和9月上旬,此时温度较高,有助于梨小食心虫的生长发育,这与成虫高峰期出现时间段相吻合,也说明最高气温影响梨小食心虫的发生量。同样在甘肃省张掖市,由于近年来张掖气候反常,有些年份春季气温回升快,从而导致梨小食心虫发生期提前,发生量增多(郭爱等, 2019)。李晓军等(2013)研究表明温度的变化不仅影响梨小食心虫的生长发育及世代历期,而且还影响各代成虫日羽化量,活动习性等。类似的,在近缘物种——桃小食心虫 *Carposina sasakii* Matsumura 中,气温越高,诱蛾量越大,此外,土中越冬茧的羽化率与平均地表温度呈显著正相关(石文静等, 2019)。表明温度作为重要气象因素在昆虫生长发育过程中具有重要作用。此外,温度的升高同样对果园内其他害虫、天敌、微生物的发生与发育产生影响,园内的物种多样性及丰富度也会随着环境温度的变化而变化,对梨小食心虫的发生产生间接影响(杨雪琳等, 2022)。尽管平均相对湿度与梨小食心虫的发生无显著相关性,但结合多种分析方法的结果可看出环境因素之间是互相联系又相互限制的,不同的气象因素综合构成了梨园的气象环境,整体气象环境的改变最终影响梨小食心虫的发生数量与种群动态。

从生态系统的观点来看,虫害发生是一个复杂的动态系统,因此,做好梨小食心虫等害虫的预测预报,要将现代科学理论进行有机融合,注重多学科优势交叉,采用先进科学技术,通过研究害虫发生的动态规律等,建立快速、精准的预测预报体系,为我国主要害虫的防治提供依据。

参考文献 (References)

- Du J, Guo JT, Zhang YS, Wu JX, 2009. Effect of temperature on development and reproduction of *Grapholitha molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 18(6): 314–318. [杜娟, 郭建挺, 张亚素, 仵均祥, 2009. 温度对梨小食心虫 *Grapholitha molesta* Busck 生长发育及繁殖的影响. 西北农业学报, 18(6): 314–318.]
- Fan RJ, Liu ZF, Lu JJ, Feng YT, Yu Q, Gao Y, Zhang RX, 2013. Progress in the application of IPM to control the oriental fruit moth (*Grapholitha molesta*) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1509–1513. [范仁俊, 刘中芳, 陆俊姣, 封云涛, 庾琴, 高越, 张润祥, 2013. 我国梨小食心虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 50(6): 1509–1513.]
- Guo A, Feng JR, Li XM, Chen B, 2019. The occurrence regularity and green control experiment of *Grapholitha molesta* in plum orchard. *Contemporary Horticulture*, 2019(13): 19–20, 93. [郭爱, 冯军仁, 李雪梅, 陈斌, 2019. 李子良种园梨小食心虫发生规律与绿色防治试验. 现代园艺, 2019(13): 19–20, 93.]
- He C, Meng QK, Hua L, Chen W, 2011. Photoperiod influences diapause induction of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Ecologica Sinica*, 31(20): 6180–6185. [何超, 孟泉科, 花蕾, 陈文, 2011. 光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响. 生态学报, 31(20): 6180–6185.]
- Jin L, Lin HF, Wang XL, Yue LJ, Li JD, 2014. Effects of climatic condition of spring on the population dynamics of *Grapholitha molesta* (Busck). *Plant Protection*, 40(3): 169–173, 182. [金立, 林华峰, 王学良, 岳兰菊, 李建东, 2014. 春季气候条件对梨小食心虫发生的影响. 植物保护, 40(3): 169–173, 182.]
- Li WL, Li DX, Dong JF, Feng YQ, Li Y, 2010. The research of threshold temperature and effective accumulated temperature of oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Busck. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010(10): 80–82. [李文亮, 李定旭, 董钧锋, 冯宇倩, 李艳, 2010. 梨小食心虫发育起点温度和有效积温研究. 河南农业科学, 2010(10): 80–82.]
- Li XJ, Zhai H, Wang T, Li H, Wang CJ, 2013. Study on the occurrence dynamics and prediction mathematical model of *Grapholitha molesta* in peach orchard in Feicheng region of Shandong. *Journal of Fruit Science*, 30(5): 841–847. [李晓军, 翟浩, 王涛, 李红, 王长君, 2013. 山东泰安肥城桃产区梨小食心虫发生规律及预测预报模型研究. 果树学报, 30(5): 841–847.]
- Liu YG, Gu SD, Li LL, Zhang B, Yu Y, Zheng CY, 2013. The frequency of occurrence of *Grapholitha molesta* (Busck) in

- single pear, peach and mixed pear-peach orchards in Laiyang. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1538–1545. [刘玉光, 顾松东, 李丽莉, 张彬, 于毅, 郑长英, 2013. 莱阳地区梨园、桃园、混栽桃园梨小食心虫发生规律. 应用昆虫学报, 50(6): 1538–1545.]
- Lu PF, Huang LQ, Wang CZ, 2010. Semiochemicals used in chemical communication in the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(12): 1390–1403. [陆鹏飞, 黄玲巧, 王琛柱, 2010. 梨小食心虫化学通信中的信息物质. 昆虫学报, 53(12): 1390–1403.]
- Myers CT, Hull LA, Krawczyk G, 2006. Effects of orchard host plants on the oviposition preference of the oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(4): 1176–1183.
- Shi WJ, Li JZ, Liu JP, Bai XK, Hui ZH, Dou PH, 2019. Study on the occurrence regularity and monitoring and forecasting of *Carpocapsa sasakii* on Qingyang apple. *Agricultural Science-Technology and Information*, (24): 88–91, 95. [石文静, 李金章, 刘建平, 白欣可, 惠翌华, 窦培华, 2019. 庆阳苹果桃小食心虫发生规律与监测预报研究. 农业科技与信息, (24): 88–91, 95.]
- Stelinski LL, Il'ichev AL, Gut LJ, 2006. Antennal and behavioral responses of virgin and mated oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) females to their sex pheromone. *Annals of the Entomological Society of America*, 99(5): 898–904.
- Sun SJ, Ren AH, Wang XX, Yang XL, Li HW, Li Z, Liu XX, 2021. Control of pear fruit borers using sex pheromone diffuser and releasing *Trichogramma dendrolimi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(1): 102–109. [孙圣杰, 任爱华, 王晓祥, 杨雪琳, 李浩文, 李贞, 刘小侠, 2021. 利用迷向散发器和释放松毛虫赤眼蜂对梨树蛀果害虫的防控效果. 中国生物防治学报, 37(1): 102–109.]
- Tang RX, Tan QY, Zhang J, Liu XX, Zhang QW, Li Z, 2020. Impact analysis of ambient temperature on the occurrence dynamics of *Grapholitha molesta* in pear orchard. *Northern Horticulture*, 458(11): 25–31. [唐润轩, 谭秋月, 张璟, 刘小侠, 张青文, 李贞, 2020. 温度对梨园梨小食心虫发生动态的影响分析. 北方园艺, 458(11): 25–31.]
- Wang XL, 2020. Occurrence regularity and efficient control technology of *Grapholitha molesta* Busck in Dangshan county. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 10(3): 26–29. [王学良, 2020. 砀山县梨小食心虫发生规律及高效防治技术研究. 农业灾害研究, 10(3): 26–29.]
- Yang XL, Qiao ZY, Zhu GF, Jia YJ, Sun SJ, Liu XX, 2022. Occurrence regularity of insect pests and natural enemies in apple orchard and peach orchard of Yantai, Shandong province. *Plant Protection*, 48(1): 240–245. [杨雪琳, 乔折艳, 朱高峰, 贾煜婕, 孙圣杰, 刘小侠, 2022. 山东烟台地区苹果园和桃园主要害虫及天敌昆虫发生动态. 植物保护, 48(1): 240–245.]
- Yokoyama VY, Miller GT, 1987. High temperature for control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in stone fruits. *Journal of Economic Entomology*, 80(3): 641–645.
- Yu Q, Feng YT, Guo XJ, Guo GM, Hao C, Fan RJ, 2017. Effects of humidity on the survival and fecundity of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(6): 659–665. [庾琴, 封云涛, 郭晓君, 郭贵明, 郝赤, 范仁俊, 2017. 湿度对梨小食心虫存活和繁殖的影响. 昆虫学报, 60(6): 659–665.]
- Zhang LJ, Zhao ZG, Li YY, Wang Y, Ma RY, 2013. Research on the oriental fruit moth in cultivated pear orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1532–1537. [张利军, 赵志国, 李丫丫, 王怡, 马瑞燕, 2013. 不同栽培管理梨园梨小食心虫发生程度研究. 应用昆虫学报, 50(6): 1532–1537.]
- Zhang QW, Liu XX, 2015. Integrated Pest Control Technology in Pear Orchard. Beijing: China Agricultural University Press. 1–4. [张青文, 刘小侠, 2015. 梨园害虫综合防控技术. 北京: 中国农业大学出版社. 1–4.]
- Zhang XZ, 1980. A preliminary report on oriental fruit moth. *Acta Phytomyologica Sinica*, 7(4): 254–256. [张星政, 1980. 梨小食心虫研究初报. 植物保护学报, 7(4): 254–256.]
- Zhou DS, Gong WM, Li JP, Zhao ZW, 2016. Influence of meteorological conditions on *Grapholitha molesta* overwintering larvae coming out and the law of *Grapholitha molesta* in central Liaoning area. *Northern Horticulture*, 2016(6): 109–112. [周大森, 公维敏, 李结平, 赵章武, 2016. 田间气象条件对梨小食心虫越冬代出土的影响及辽宁中部地区梨小食心虫发生规律研究. 北方园艺, 2016(6): 109–112.]
- Zhou XH, Li LL, Zhang SC, Zhang AS, Men XY, Yu Y, 2011. Review on occurrence regularity and pollution free control technology of *Grapholitha molesta* Busck. *Shandong Agricultural Sciences*, 43(10): 76–81. [周仙红, 李丽莉, 张思聪, 张安盛, 门兴元, 于毅, 2011. 梨小食心虫发生规律及无公害防治技术. 山东农业科学, 43(10): 76–81.]