延安地区苹果园食心虫种类及其种群消长动态调查

陈秀琳[1,2]， 陈玉鑫[2]， 包琳杰[2]， 康 乐[2]， 孙 勇[2]， 李广伟[1,2*]

(1. 陕西省红枣重点实验室（延安大学），延安 716000；2. 延安大学生命科学学院，延安 716000)

摘要 利用5种果树食心虫的性诱剂通过诱捕法调查了延安苹果产区苹果园中桃小食心虫、梨小食心虫、李小食心虫、苹果蠹蛾和桃蛀螟的发生情况及成虫在田间的种群消长动态；对梨小食心虫和李小食心虫性诱剂的“交互引诱”能力进行了测定。结果表明，在苹果园中发生的食心虫主要有桃小食心虫、梨小食心虫和李小食心虫3种，未诱捕到桃蛀螟和苹果蠹蛾。不同调查点的诱捕结果均表明，李小食心虫成虫种群数量最大，属于优势种群，梨小食心虫次之，桃小食心虫种群数量相对最小。桃小食心虫雄成虫1年有2个发生高峰期，越冬代成虫羽化出土极不整齐；梨小食心虫在苹果树整个生长季均可诱捕到，雄成虫1年具有不明显的4个发生盛期；李小食心虫越冬代成虫羽化较为整齐，雄成虫1年有2个明显的发生高峰期，该虫在延安地区年发生2代。梨小食心虫和李小食心虫性诱剂的“交互引诱”试验表明，2种食心虫的性诱剂对种内和种间雄蛾均具有引诱活性，但梨小食心虫性诱剂对种内和种间雄蛾的引诱能力均显著强于李小食心虫性诱剂，诱蛾量分别是李小食心虫性诱剂诱蛾量的2.75和2.30倍，2种食心虫性诱剂的“交互引诱”能力具有不对称性。本试验明确了延安苹果产区食心虫的种类组成及主要食心虫在田间的种群消长规律，对预测预报和治理苹果园食心虫提供了重要的参考依据。

关键词 性诱剂； 桃小食心虫； 梨小食心虫； 李小食心虫； 交互引诱

中图分类号： S 436.611 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2020101

Species and population dynamics of fruit-borer in apple orchards of Yan'an area

CHEN Xiulin[1,2]， CHEN Yuxin[2]， BAO Linjie[2]， KANG Le[2]， SUN Yong[2]， LI Guangwei[1,2*]

(1. *Shaanxi Province Key Laboratory of Jujube* (*Yan'an University*), *Yan'an* 716000, *China*;
2. *College of Life Science*, *Yan'an University*, *Yan'an* 716000, *China*)

Abstract The occurrence and population dynamics of five fruit moth species, namely *Carposina sasakii*, *Grapholita molesta*, *Grapholita funebrana*, *Cydia pomonella* and *Conogethes punctiferalis*, were investigated in apple orchards of Yan'an by using sex pheromone lures trapping. The "interactive attraction" of pheromone lures between *G. molesta* and *G. funebrana* was further determined. The results showed that *C. sasakii*, *G. molesta*, and *G. funebrana* were found in the apple orchards, while *C. pomonella* and *D. punctiferalis* were not. Among the three trapped species, *G. funebrana* dominated in the sampling orchards, followed by *G. molesta* and *C. sasakii*. The male adults of *C. sasakii* had two peaks each year and emerged untidily in the overwintering generation. The male adults of *G. molesta* could be trapped with four inconspicuous peaks all year around. The overwintering *G. funebrana* emerged simultaneously. There were two obvious peaks and two generations each in the local orchards. "Interactive attraction" test showed that the pheromone lures of *G. molesta* and *G. funebrana* all had attractant activities to intra- and interspecific male moths, but the *G. molesta* pheromone lure had stronger intraspecific (2.75 times) and interspecific (2.30 times) attractiveness than that of *G. funebrana*. "Interactive attraction" abilities between the pheromone lures of *G. molesta* and *G. funebrana* were asymmetric. In this study, the species composition and the population dynamics of the main fruit-borers in Yan'an apple production area

收稿日期： 2020-03-01 **修订日期：** 2020-04-23
基金项目： 陕西省自然科学基础研究计划(2018JM3044)；延安大学校级科研项目(YDQ2018-22)；国家大学生创新创业训练计划(201910719019；201813036)
* 通信作者 E-mail：xbbjb2010@sina.com

were clarified, which provided an important reference for the prediction and control of the apple orchard fruit-borers.

Key words pheromone lure; *Carposina sasakii*; *Grapholita molesta*; *Grapholita funebrana*; interactive attraction

果树食心虫是严重影响我国果业生产的一类重要害虫。为害苹果、桃、梨、李、杏、枣、山楂、樱桃等落叶果树的食心虫主要有梨小食心虫 *Grapholita molesta*、桃小食心虫 *Carposina sasakii*、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*、李小食心虫 *Grapholita funebrana*、梨大食心虫 *Acrobasis pirivorella*、苹小食心虫 *Grapholita inopinata*、白小食心虫 *Spilonota albicana* 等种类。其中，梨小食心虫和桃小食心虫的为害最为严重[1-2]。近年来，随着我国果树种植面积的不断扩大以及种植管理技术的不断改变，致使部分果树种植区食心虫的优势种类、寄主范围发生了较为明显的变化，如前人研究证实李小食心虫主要为害李、杏，但近年来在新疆伊犁、甘肃陇东等地区发现李小食心虫在苹果园大量发生，种群密度甚至超过梨小食心虫[3-4]；Zheng 等[5]在研究陕西省卷蛾科昆虫遗传多样性时发现苹果园中存在大量的李小食心虫；苹果蠹蛾自 1953 年传入我国新疆后，至今已扩散至甘肃[6]、内蒙古[7]、宁夏[8]、黑龙江[9]、辽宁[10]、吉林[11]、天津蓟州区[12]、北京平谷区[12]，对我国苹果主产区的安全生产构成了严重威胁。陕西省属我国的水果大省，苹果是果业生产的支柱产业，至 2018 年苹果种植面积达 73 万 hm^2，产量达 1 008 万 t[13]。延安地区属陕西省苹果种植的核心区，种植面积达 24 万 hm^2[14]。随着山地苹果的大力推广，延安地区的苹果种植面积仍在不断扩大，这种大面积单一的种植格局导致食心虫偏重发生。大量施用化学农药造成果品农药残留、果园土壤污染、天敌控害能力下降等系列问题时常发生。目前延安地区苹果园的食心虫种类组成和优势种群仍未明确。因此，本研究借助性诱剂诱捕法对延安苹果主产区的食心虫发生情况进行调查，明确食心虫的发生种类、优势种及其在田间的种群消长动态，以期为延安苹果产区食心虫的预测预报和防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年 4 月 20 日至 10 月 15 日在延安苹果主产县区进行，共设 4 个调查点，分别为延安市宝塔区河庄坪镇、富县羊泉镇、甘泉县下寺湾镇和安塞县沿河湾镇，4 个调查点苹果树的树龄分别为 22、20、18 年和 16 年。富县羊泉镇调查点属于平地苹果，其他 3 个调查点属于山地苹果。平地苹果行距 4 m，株距 2.5 m；山地苹果行距 4～5 m，株距 2.5～3.5 m。在苹果树萌芽前和果实膨大期各施肥 1 次，其中，果树萌芽前穴施氮磷钾复合肥 4～5 kg/株，果实膨大期穴施氮磷钾复合肥 2.5～3.0 kg/株。4 个调查点均利用本地推广的起垄覆膜集雨保墒技术实现果园水分自给。在果树生长期松土 1 次，利用割草机清理果园杂草数次，治理苹果黄蚜 *Aphis citricola*、山楂叶螨 *Amphitetranychus viennensis* 各施药 1 次，防治苹果腐烂病菌 *Valsa mali*、苹果锈病菌 *Gymnosporangium yamadai*、苹果褐斑病菌 *Marssonina mali* 各施药 1 次。

1.2 试验材料

性诱剂：桃小食心虫（缓释载体：天然脱硫橡胶塞）、梨小食心虫（缓释载体：橡胶塞）、李小食心虫（缓释载体：袖口式天然脱硫橡胶塞）、苹果蠹蛾（缓释载体：袖口式天然脱硫橡胶塞）、桃蛀螟（缓释载体：袖口式天然复合橡胶塞）性诱芯购自北京中捷四方生物科技有限公司，内含仿雌性成虫性信息素。

三角形诱捕器及配套粘虫板均购自北京中捷四方生物科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 苹果园食心虫种类及其主要种群在田间的消长动态

在每个固定调查点悬挂载有桃小食心虫、梨小食心虫、李小食心虫、苹果蠹蛾和桃蛀螟性诱芯的诱捕器各 10 个，为了排除或减小不同诱捕器间的相互影响，2 个诱捕器间相距 40 m，悬挂高度 1.2～1.5 m。每 10 d 调查 1 次（根据气象数据，如有连续降雨调查可提前 1～2 d 或推后数日），每调查 2 次更换 1 次性诱芯。由于梨小食心虫和李小食心虫在外部形态上不易快速辨别，将每个诱捕器上的粘虫板更换后用自制的单面粘虫板回收设备带回实验室进行鉴定，如因翅面破损或虫体残缺导致其外部形态无法辨别时，利用雄性外生殖器的形态特征进行鉴定，详细记录每次诱捕到的雄虫数量。

1.3.2 梨小食心虫和李小食心虫性诱剂“交互引诱”能力测定

梨小食心虫和李小食心虫性诱剂具有明显的“交互引诱”现象,但 2 种性诱剂对种内和种间雄蛾的引诱能力尚不明确。本试验于 2018 年 6 月 5 日—6 月 20 日对 2 种食心虫性诱剂的“交互引诱”能力进行了测定。具体方法为:选择两种食心虫中度、重度发生的苹果园,将两种性诱剂相间悬挂在果树侧枝上,悬挂高度 1.5 m,每个诱捕器相隔 30 m,每种食心虫性诱捕器各悬挂 20 个,调查期间不喷施化学农药。三角形诱捕器及性诱芯布置完毕后,每 5 d 调查 1 次,共调查 3 次,每次调查结束更换性诱芯和粘虫板,并将更换下的粘虫板用自制的单面粘虫板回收设备带回实验室进行鉴定,详细记录每种性诱剂诱捕到的种内和种间雄蛾的数量。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件进行统计分析,利用 GraphPad Prism 5 软件绘制果树食心虫的田间种群消长动态图。性诱剂对种内雄蛾和种间雄蛾引诱能力的差异显著性利用独立样本 t 测验($\alpha=0.05$)进行检验。

2 结果与分析

2.1 延安地区苹果园果树食心虫种类

从 5 种果树食心虫性诱剂诱捕的结果可以看出,延安地区 4 个调查点食心虫种类主要包括李小食心虫、梨小食心虫和桃小食心虫 3 种,未诱捕到苹果蠹蛾和桃蛀螟(表 1)。4 个调查点中,诱捕获得的李小食心虫雄蛾数量最多,占各个调查点总诱蛾量的 55.22%～63.13%,为苹果园食心虫的优势种群;其次为梨小食心虫,诱蛾量占各个调查点总诱蛾量的 20.02%～33.78%;桃小食心虫种群数量相对较小,诱捕获得的雄蛾数量占各个调查点总诱蛾量的 11.00%～23.08%。从食心虫成虫持续的时间可以看出,延安地区苹果园呈现李小食心虫、梨小食心虫和桃小食心虫混合发生的状况。

表 1　延安地区苹果园食心虫种类调查结果

Table 1　A survey of the species of fruit-borer in apple orchards in Yan'an area

食心虫 Fruit-borer	宝塔区河庄坪镇 Hezhuangping town, Baota district		富县羊泉镇 Yangquan town, Fuxian county		甘泉县下寺湾镇 Xiasiwan town, Ganquan county		安塞县沿河湾镇 Yanhewan town, Ansai county	
	诱蛾量/头 Total number	占诱蛾总量百分比/% Percentage	诱蛾量/头 Total number	占诱蛾总量百分比/% Percentage	诱蛾量/头 Total number	占诱蛾总量百分比/% Percentage	诱蛾量/头 Total number	占诱蛾总量百分比/% Percentage
桃小食心虫 *Carposina sasakii*	2 447	14.48	2 438	23.08	1 296	11.00	2 446	16.85
梨小食心虫 *Grapholita molesta*	4 560	26.99	2 269	21.48	3 981	33.78	2 907	20.02
李小食心虫 *Grapholita funebrana*	9 889	58.53	5 858	55.45	6 507	55.22	9 166	63.13
苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
合计 Total	16 896	100.00	10 565	100.00	11 784	100.00	14 519	100.00

2.2 桃小食心虫田间种群消长动态

从桃小食心虫成虫种群消长动态曲线可以看出(图 1),越冬代成虫在 5 月下旬开始羽化出土,至 7 月初种群数量达到第 1 个高峰期,延安市宝塔区河庄坪镇、富县羊泉镇、甘泉县下寺湾镇和安塞县沿河湾镇 4 个调查点的峰值分别可达 45.1、67.8、31.2 头/诱捕器和 41.3 头/诱捕器,随后田间残存的成虫数量逐渐减少,至 8 月中上旬成虫数量出现第 2 个高峰期,高峰期在 4 个调查点捕获的雄蛾数量分别达 57.9、50.3、24.6 头/诱捕器和 43.1 头/诱捕器;之后成虫数量逐渐降低,至 9 月下旬诱集不到成虫。

2.3 梨小食心虫田间种群消长动态

利用梨小食心虫性诱剂诱捕调查发现,梨小食心虫成虫 1 年有 4 个不明显的发生高峰,依次出现在 4 月下旬、6 月上旬、7 月中旬和 9 月上中旬(图 2)。从不同时间点捕获的雄蛾数量来看,苹果园内第 1 和第 3 个发生高峰期的虫口数量相对较低,第 2 和第 4 个发生高峰期的虫口数量较大,以延安市宝塔区河庄坪镇调查点为例,第 1 至第 4 个成虫发生高峰期的诱蛾量分别可达 19.9、36.0、23.3 头/诱捕器和 46.6 头/诱捕器。4 个调查点的诱蛾量差异较大,依次为宝塔区河庄坪镇>甘泉县下寺湾镇>安塞县沿河湾镇>富县羊泉镇调查点的虫口数量。调查还发现,除梨小食心虫性诱剂能诱集梨小食心虫雄蛾外,李小食心虫性诱剂对梨小食心虫雄蛾也有引诱活性,但其诱蛾量明显低于梨小食心虫性诱剂(图 2)。

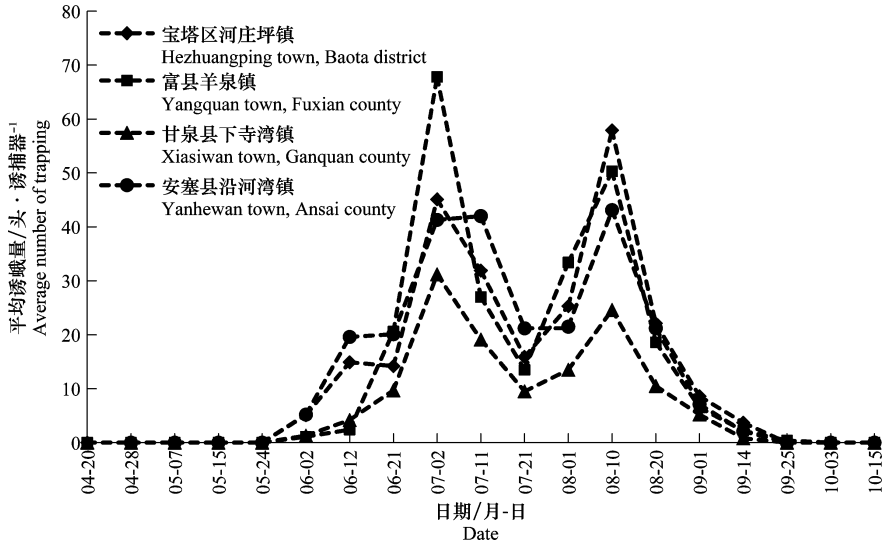
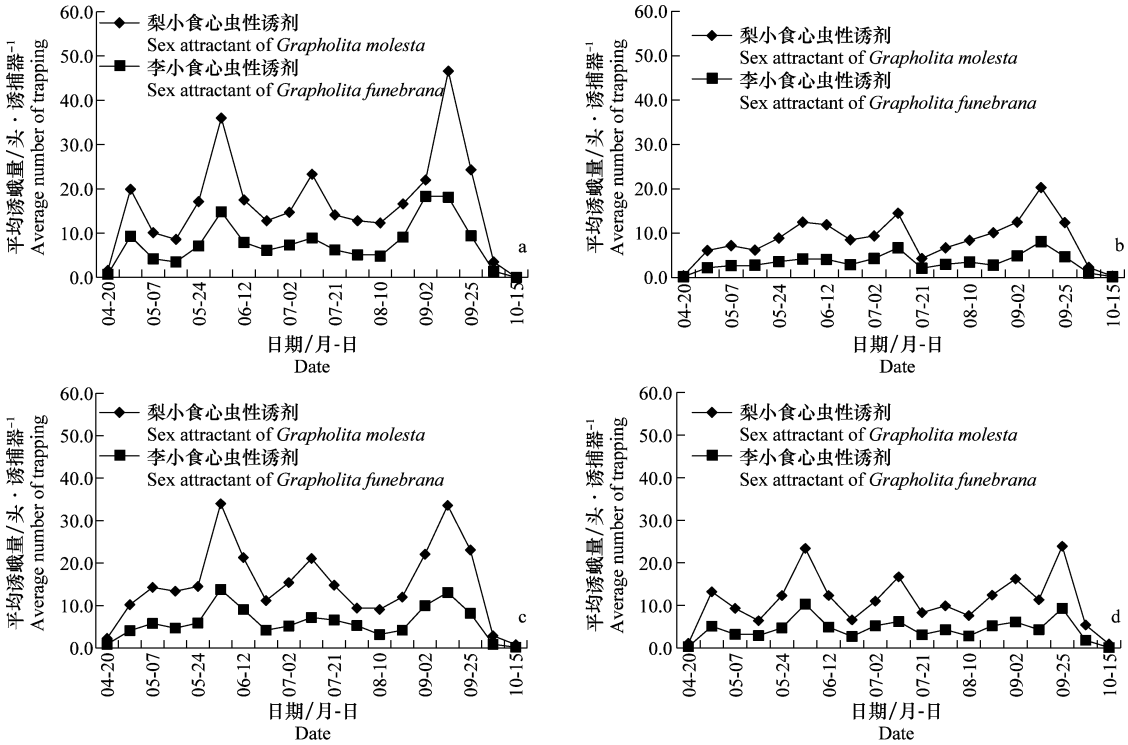


图 1 桃小食心虫在延安地区苹果园的种群消长动态

Fig. 1 Population dynamics of *Carposina sasakii* in apple orchards of Yan'an area



a. 宝塔区河庄坪镇; b. 富县羊泉镇; c. 甘泉县下寺湾镇; d. 安塞县沿河湾镇

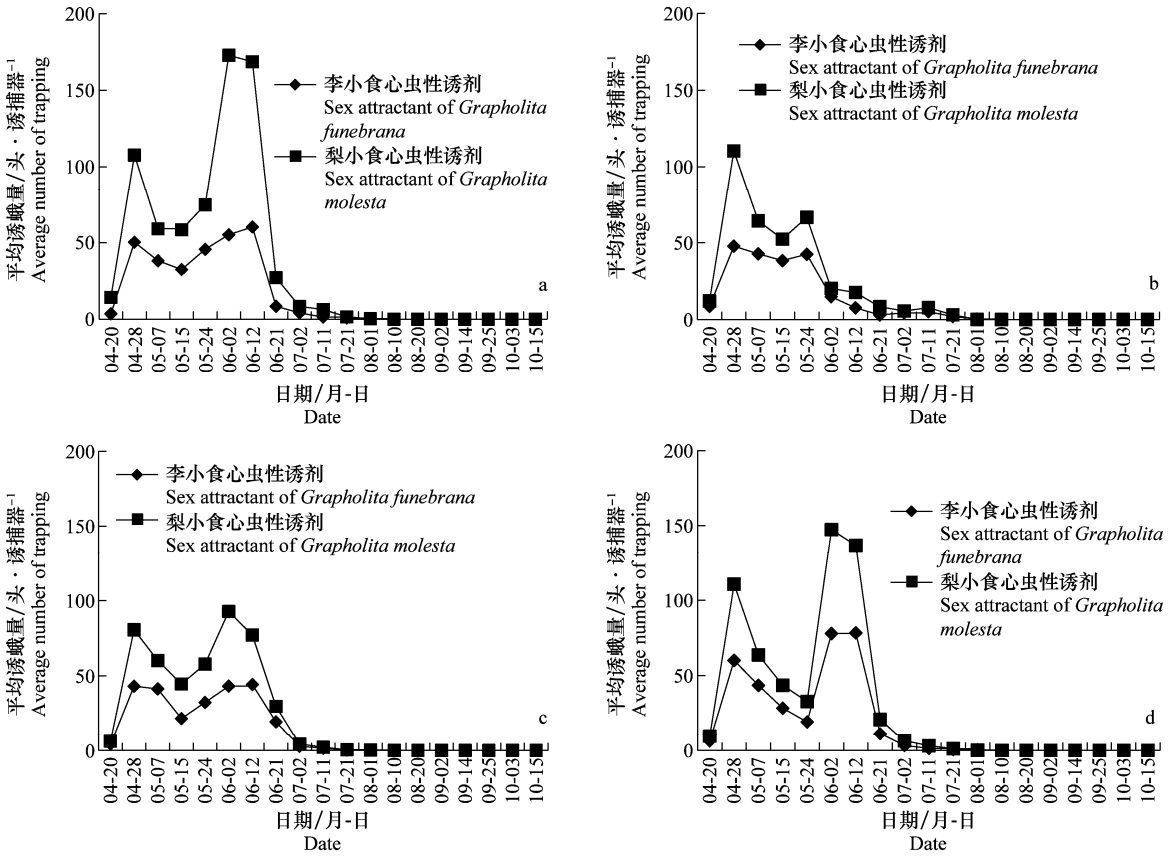
a. Hezhuangping town, Baota district; b. Yangquan town, Fuxian county; c. Xiasiwan town, Ganquan county; d. Yanhewan town, Ansai county

图 2 梨小食心虫在延安地区苹果园的种群消长动态

Fig. 2 Population dynamics of *Grapholita molesta* in apple orchards of Yan'an area

2.4 李小食心虫田间种群消长动态

利用性诱剂诱捕监测李小食心虫成虫种群在田间的消长动态发现,除富县羊泉镇调查点外,李小食心虫成虫在其他 3 个调查点均具有 2 个明显的发生高峰,越冬代成虫于 4 月下旬开始羽化,至 4 月底 5 月初达到羽化盛期(图 3a、3c、3d);第 1 代成虫于 6 月初至上中旬达到羽化高峰,之后田间种群数量逐渐降低,至 7 月底诱集不到雄蛾。与李小食心虫性诱剂的诱蛾量相比,此次所用的梨小食心虫性诱芯诱集李小食心虫雄蛾的能力明显强于李小食心虫性诱剂(图 3),两种食心虫性诱剂的李小食心虫田间种群消长动态曲线的规律极为相似,表明利用两种



a. 宝塔区河庄坪镇; b. 富县羊泉镇; c. 甘泉县下寺湾镇; d. 安塞县沿河湾镇
a. Hezhuangping town, Baota district; b. Yangquan town, Fuxian county; c. Xiasiwan town, Ganquan county; d. Yanhewan town, Ansai county

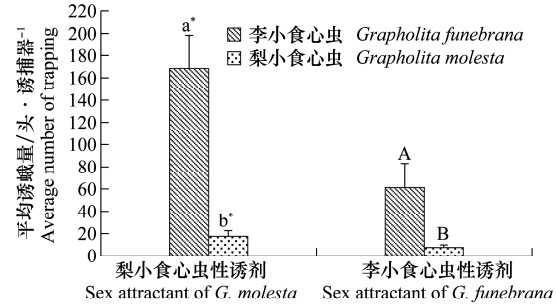
图 3　李小食心虫在延安地区苹果园的种群消长动态

Fig. 3　Population dynamics of *Grapholita funebrana* in apple orchards of Yan'an area

食心虫的性诱剂均能反映李小食心虫在田间的种群消长规律。

2.5　梨小食心虫和李小食心虫性诱剂交互引诱能力测定

"交互引诱"试验结果表明,梨小食心虫性诱剂对梨小食心虫和李小食心虫雄蛾的引诱能力均显著高于李小食心虫性诱剂($P<0.05$),梨小食心虫性诱剂诱捕获得的梨小食心虫和李小食心虫的雄蛾量分别是李小食心虫性诱剂诱捕量的 2.75 倍和 2.30 倍(图 4)。李小食心虫性诱剂虽然能够诱捕以上两种食心虫,但引诱活性显著低于梨小食心虫性诱剂。另外,两种单一的食心虫性诱剂对李小食心虫雄蛾的诱捕量均显著高于梨小食心虫数量($P<0.05$)。因此,两种食心虫性诱剂的"交互引诱"能力具有不对称性,本试验所使用的梨小食心虫性诱剂(中捷四方)能够高效地用于监测、诱集李小食心虫雄蛾,而李小食心虫性诱剂监测、诱集梨小食心虫雄蛾的能力较差。



图中数据为平均数±标准误。柱上不同小写字母表示梨小食心虫性诱剂对两种食心虫雄蛾诱捕量差异显著(独立样本t检验, $P<0.05$), 不同大写字母表示李小食心虫性诱剂对两种食心虫雄蛾诱捕量差异显著(独立样本t检验, $P<0.05$)。*表示对同种食心虫, 梨小食心虫性诱剂的诱捕量显著高于李小食心虫性诱剂的诱捕量(独立样本t检验, $P<0.05$)
Data are mean±SE. The different lowercase letters on the bars indicate significant difference between the trapping amount of the two species attracted by *G. molesta* sex lure (independent- sample t-test, $P<0.05$), while different uppercase letters on the bars indicate significant difference between the trapping amount by *G. funebrana* sex lure (independent-sample t-test, $P<0.05$). * indicated that trapping amount of each kind of male moths by *G. molesta* sex lure was significantly higher than that by *G. funebrana* sex lure (independent-sample t test, $P<0.05$)

图 4　梨小食心虫和李小食心虫性诱剂的交互引诱能力

Fig. 4　Interactive attraction ability of pheromone lures of *Grapholita molesta* and *G. funebrana*

3 讨论

农林业害虫在田间的种群消长动态通常受气候条件、地理位置、寄主植物、田间管理措施等诸多因素的影响。此次调查结果表明，延安地区苹果园桃小食心虫成虫始见于5月下旬，终见于9月下旬，与陕西礼泉县苹果园、河北沧州枣园的越冬代桃小食心虫的始发期和终见期基本一致[15-17]，而与山东泰安(6月上中旬开始出现，9月中旬左右结束)[18]、河北保定(始见于6月中旬，终见于9月中旬)[19]地区苹果园桃小食心虫成虫在田间的始发期和终见期存在较大差异，这可能与调查年份当地的气温、降雨等因素有关。前人研究证实，桃小食心虫越冬代成虫的出土时间与温度紧密相关，出土高峰期主要决定于降雨[20-21]，出土高峰往往随降雨出现若干次[22]。桃小食心虫越冬代成虫的羽化极不整齐，本次调查发现自5月下旬开始诱捕到成虫，之后成虫陆续羽化出土，但直至7月初越冬代成虫种群数量才达到峰值，8月中旬出现第2个高峰，之后种群数量逐渐降低直至诱捕不到。根据陈丽慧等[23]在陕西礼泉县苹果园连续13年(2002年－2014年)的调查结果，发现在8月下旬或9月上旬成虫数量有1个高峰值，表明陕西礼泉等关中地区桃小食心虫年可以发生3代，而延安地区秋季较为冷凉，且降温较早，桃小食心虫主要以年发生2代为主，会不会局部发生3代尚无准确的数据支撑，有待进一步调查研究。

李小食心虫寄主有李、杏、樱桃、桃、郁李等多种植物，但对李、杏的为害最重[24-25]。此次调查发现在延安苹果产区李小食心虫的种群数量最大，远远高于梨小食心虫和桃小食心虫的数量，成为苹果园食心虫的优势种群，表明随着果树种植结构的调整及果实套袋等技术的应用，苹果园食心虫的优势类群已发生明显变化。相对于桃小食心虫和梨小食心虫，李小食心虫越冬代成虫羽化出土较为整齐，第1代成虫发生的高峰期较为明显。李小食心虫虽然在苹果园发生为害，但其种群消长规律与李、杏果实的生长、成熟时期相吻合，即4月中下旬越冬代成虫羽化出土进行交配产卵，第1代老熟幼虫在5月下旬开始脱果化蛹，至6月初第1代成虫达到羽化盛期，至6月下旬第2代老熟幼虫结茧滞育至翌年春季再开始循环为害。因目前使用的商品化的李小食心虫性诱剂能够诱集李小食心虫和梨小食心虫雄蛾[26]，如果未掌握区别两种食心虫的特征，诱集至粘虫板上成虫从外部形态上较难区别。因此，在利用李小食心虫性诱剂监测、诱集时，往往将梨小食心虫误认为李小食心虫，可能是导致李小食心虫的诱捕结果出现较大差异的原因[3-4,27]。

基于梨小食心虫和李小食心虫性诱剂诱捕监测的成虫种群消长动态在不同调查点的趋势基本一致，但诱捕到的两种食心虫雄蛾数量差异较大。两种食心虫在富县羊泉镇的种群数量相对偏低，这与该种植区的管理措施有关。富县羊泉镇调查点属于塬上平地苹果，苹果种植面积大且种植结构单一，虽然在该调查点的施肥、施药次数及使用量与其他3个调查点相同，但该种植区对病虫害的治理更加严格，调查点外围果园害虫虫口数量的下降打破了食心虫迁入、迁出调查点果园的动态平衡，推测是导致该调查点两种食心虫的种群数量明显低于其他3个调查点的主要原因。由于此次试验所使用的梨小食心虫性诱芯对梨小食心虫和李小食心虫雄蛾的引诱能力均强于李小食心虫性诱芯，导致使用两种性诱芯引诱到同一种食心虫的种群消长动态差异明显，梨小食心虫性诱剂对李小食心虫雄蛾的引诱能力高于李小食心虫性诱剂，推测与梨小食心虫性诱剂中添加性信息增效剂有关，如添加苹果蠹蛾主要性信息素 *E*8，*E*10-12：OH[28]的梨小食心虫性诱剂能够显著增强对雄蛾的引诱能力，梨小食心虫增效性诱芯可能提高了其对李小食心虫雄蛾的引诱能力。

梨小食心虫和李小食心虫属同域近缘物种，两种食心虫的性诱剂存在明显的“交互引诱”现象[29-30]，表明两种食心虫均能够感受、识别种间性诱剂释放的性信息素。昆虫特别是雌性昆虫释放的性信息素具有种的特异性，主要通过性信息素组分比例的不同或次要组分的差异来确保性信息素种的特异性[31-32]，然而部分近缘物种之间由于共享相同的主要性信息素，且雄蛾对不同组分比例混合制成的性诱剂的感受具有一定的适应范围，因而雄虫往往对近缘物种昆虫的性诱剂表现出较高的活性，如茶小卷叶蛾 *Adoxophyes honmai*、苹小卷叶蛾 *Adoxophyes orana* 和茶姬卷叶蛾 *Adoxophyes* sp. 的性诱剂之间[33]、二化螟 *Chilo suppressalis* 和黏虫 *Mythimna separata* 的性诱剂之间[34]、亮悍蚁 *Polyergus lucidus* 和亚马逊蚁 *Polyergus breviceps*[35]的性诱剂之间存在“交互引诱”。梨小食心虫和李小食

心虫雌虫释放的性信息素分别以(*Z*8-12∶OAc)∶(*E*8-12∶OAc)∶(*Z*8-12∶OH)∶(12∶OH)=100∶7∶30∶6和(*Z*8-12∶OAc)∶(*E*8-12∶OAc)∶(*Z*8-12∶OH)∶(*Z*8-14∶OAc)∶(*Z*10-14∶OAc)=100∶1∶2∶30∶5的比例(质量比)组成[36-37],而两种食心虫的性诱剂分别由(*Z*8-12∶OAc)∶(*E*8-12∶OAc)∶(*Z*8-12∶OH)=100∶6∶10 和(*Z*8-12∶OAc)∶(*E*8-12∶OAc)=100∶4(质量比)的比例组成(每个性诱芯中性信息素载量为 0.40～0.50 mg)[38-39],梨小食心虫性诱剂中未添加次要组分 12∶OH,李小食心虫性诱剂中未添加次要组分 *Z*8-12∶OH、*Z*8-14∶OAc、*Z*10-14∶OAc。导致梨小食心虫和李小食心虫性诱剂具有"交互引诱"能力可能有两方面原因:一是两种食心虫性诱剂的主要组分 *Z*8-12∶OAc 和 *E*8-12∶OAc 的含量较为接近,两种食心虫的雄虫能够克服主要信息素比例的差异范围进而感知种间性诱剂;二是雌虫的次要性信息素在维持种特异性方面起着重要作用,但在两种食心虫性诱剂中并未添加或考虑次要性信息素的含量,致使性诱剂的专性引诱能力较差。在梨小食心虫和李小食心虫性诱剂"交互引诱"能力检测中发现,两种食心虫的"交互引诱"能力具有不对称性,即梨小食心虫性诱剂对李小食心虫雄蛾的引诱能力强于李小食心虫性诱剂对梨小食心虫的引诱能力,造成这种现象的原因可能有:一是李小食心虫性诱剂对种内雄蛾的引诱能力不强,制备性诱芯的性信息素配方有待进一步优化;二是此次试验所使用的梨小食心虫性诱剂其组成成分不明确,是否添加了寄主植物挥发物、性信息素类似物等增效组分后在提高了对梨小食心虫雄蛾的引诱能力的同时亦增强了对李小食心虫雄虫的引诱能力,从而造成梨小食心虫性诱剂对李小食心虫雄蛾的引诱能力强于自身性诱剂的现象,这种推测有待进一步研究证实。

参考文献

[1] 杨宗琦. 北方果树食心虫[J]. 农业科学通讯, 1955(5): 291-293.

[2] 徐晓厚, 邹丹, 曲向新. 落叶果树 8 种食心虫幼虫的鉴别方法[J]. 植物医生, 2012, 25(4): 13-14.

[3] 蒋玉宝, 张素梅, 祁光增, 等. 陇东苹果主要食心虫和卷叶蛾成虫发生动态监测[J]. 甘肃农业科技, 2014(2): 30-32.

[4] 唐永清, 王佩玲, 王少山. 伊犁河谷果树食心虫发生种类及消长动态初步研究[J]. 黑龙江农业科学, 2016(5): 73-76.

[5] ZHENG Yan, WU Rongxiang, DORN S, et al. Diversity of tortricid moths in apple orchards: evidence for a cryptic species of *Grapholita* (Lepidoptera: Tortricidae) from China [J]. Bulletin of Entomological Research, 2017, 107(2): 268-280.

[6] 罗进仓, 周昭旭, 刘月英, 等. 甘肃苹果蠹蛾的发生现状与研究进展[J]. 生物安全学报, 2015, 24(4): 281-286.

[7] 徐婧, 姜红霞, 阿丽亚, 等. 甘肃、新疆、内蒙苹果蠹蛾成虫消长规律[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(1): 89-95.

[8] 王红梅. 中宁县苹果蠹蛾的发生情况及防治对策[J]. 内蒙古农业科技, 2014(2): 70-71.

[9] 周进华, 林明极. 东宁苹果蠹蛾发生规律及防治技术[J]. 中国林副特产, 2014(2): 63-64.

[10] 房阳, 蔡明, 可欣, 等. 苹果蠹蛾在辽宁省彰武县梨树上的发生规律[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 724-730.

[11] 徐婧, 刘伟, 刘慧, 等. 苹果蠹蛾在中国的扩散与危害[J]. 生物安全学报, 2015, 24(4): 327-336.

[12] 于昕, 王玉晗, 李红卫, 等. 苹果蠹蛾的发生现状、监测技术及防治方法研究进展[J]. 植物检疫, 2020, 34(1): 1-6.

[13] 路敏, 郭亚飞, 白松. 陕西省苹果产品出口竞争力评价[J]. 农业工程, 2019, 9(12): 127-131.

[14] 赵会芳, 刘双安. 延安苹果产业转型升级的几点思考[J]. 山西果树, 2019(2): 25-26.

[15] 田宝良, 马春森, 孔德仓, 等. 不同果园中主要食心虫种群监测与防控技术[J]. 植物保护学报, 2012, 39(1): 7-12.

[16] 陈川, 安克江, 杨美霞, 等. 苹果桃小食心虫发生规律研究[J]. 农学学报, 2015, 5(11): 36-39.

[17] 王峰, 谢超杰, 千小绵. 渭北苹果园主要食心虫种类及防治技术[J]. 西北园艺(果树), 2018(6): 43-44.

[18] 李爱华, 张勇, 张辉, 等. 枣园桃小食心虫的发生动态及生防技术研究[J]. 中国果树, 2012(2): 53-56.

[19] 李进. 保定地区苹果主要害虫发生规律及预测预报初步研究[D]. 保定:河北农业大学, 2012.

[20] 仇贵生, 张怀江, 闫文涛, 等. 桃小食心虫发生规律新动态的初步探讨[J]. 山西农业科学, 2010, 38(7): 94-96.

[21] 李捷, 薛艳花, 王怡, 等. 钙果园桃小食心虫田间消长动态[J]. 山西农业科学, 2015, 43(10): 1308-1310.

[22] 仵均祥, 许向利, 成卫宁, 等. "心病难医——果树食心虫发生与防治"视频公开课研究与实践[J]. 教育教学论坛, 2016(17): 144-145.

[23] 陈丽慧, 谭树乾, 刘彦飞, 等. 桃小食心虫成虫种群动态监测与防治指标[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 716-723.

[24] 吴维钧. 两种果树害虫—旋纹潜叶蛾及李小食心虫[J]. 昆虫学报, 1961, 10(S1): 395-400.

[25] 康芝仙, 胡奇, 吴寿兴, 等. 李小食心虫发生规律及药剂防治的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1985, 7(2): 15-22.

[26] TABILIO M R, SCIARRETTA A, PROSPERO P, et al. Observations on the selectivity of sex pheromone traps for *Cydia funebrana* and *Cydia molesta* monitoring [J]. Rivista Di Frutticoltura E Di Ortofloricoltura, 2001, 63(1): 71-74.

(下转 238 页)

的影响[J]. 新疆农业科学，2010，47(9)：1897－1901.
[7] SHANNON C E，WEAVER W. The mathematical theory of information [J]. Mathematical Gazette，1949，97(333)：170－180.
[8] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. Nature，1949，163(4148)：688.
[9] MARGALEF D R. Information theory in ecology [J]. Society for General Systems Research，1958，3：36－71.
[10] 顾伟，马玲，丁新华，等. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性[J]. 应用生态学报，2011，22(9)：2410－2412.
[11] 马玲，顾伟，丁新华，等. 扎龙湿地昆虫群落结构及动态[J]. 生态学报，2011，31(5)：1371－1377.
[12] 麻应太，李春宁，崔俊，等. 秦岭牛背梁自然保护区地面昆虫的多样性[J]. 西北林学院学报，2013，28(4)：122－126.
[13] HUMMEL J D，DOSDALL L M，CLAYTON G W，et al. Ground beetle (Coleoptera：Carabidae) diversity，activity density，and community structure in a diversified agroecosystem [J]. Environmental Entomology，2012，41(1)：72－80.
[14] 师光禄，刘素琪，赵莉蔺，等. 间种牧草对枣园捕食性天敌与害虫群落动态的影响[J]. 生态学报，2006，26(5)：1422－1430.
[15] 师光禄，刘素琪，曹挥，等. 枣园生态系统中害虫与天敌群落演替规律的研究[J]. 应用生态学报，2005，16(11)：126－130.
[16] 师光禄，刘素琪，赵莉蔺，等. 间种扁茎黄芪牧草枣园害虫天敌功能团的组成与时空动态[J]. 应用生态学报，2006，17(4)：678－684.
[17] 魏巍，孔云，张玉萍，等. 梨园芳香植物间作区中国梨木虱与其天敌类群的相互作用[J]. 生态学报，2010，30(8)：2063－2074.
[18] RISCH S J. Intercropping as cultural pest control：Prospects and limitations [J]. Environmental Management，1983，7(1)：9－14.
[19] AKBULUT S，KETEN A，STAMPS W T. Effect of alley cropping on crops and arthropod diversity in Duzce，Turkey [J]. Journal of Agronomy Crop Science，2003，189(4)：261－269.
[20] 戈峰，丁岩钦. 多样化的棉田生态系统控害保益功能特征研究[J]. 应用生态学报，1997，8(3)：295－298.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 225 页）

[27] 杨华，张玉君，陈杰. 李杏混栽园食心虫种类及其种群动态调查[J]. 北方果树，2019(1)：9－12.
[28] AMMAGARAHALLI B，CHIANELLA L，GOMES P，et al. Role of plant volatiles and hetero-specific pheromone components in the wind tunnel response of male *Grapholita molesta* (Lepidoptera：Tortricidae) to modified sex pheromone blends [J]. Bulletin of Entomological Research，2017，107(5)：573－582.
[29] 康芝仙，张凤勇，孙奇，等. 梨小性诱剂对李小食心虫的活性及其在测报和防治上的应用[J]. 昆虫知识，1989，26(3)：142－145.
[30] CHEN Maohua，DORN S. Reliable and efficient discrimination of four internal fruit-feeding *Cydia* and *Grapholita* species (Lepidoptera：Tortricidae) by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism [J]. Journal of Economic Entomology，2009，102(6)：2209－2216.
[31] LASSANCE J M，GROOT A T，LIÉNARD M A，et al. Allelic variation in a fatty-acyl reductase gene causes divergence in moth sex pheromones [J]. Nature，2010，466(7305)：486－489.
[32] YEW J Y，CHUNG H. Insect pheromones：An overview of function，form，and discovery [J]. Progress in Lipid Research，2015，59：88－105.
[33] YANG C Y，HAN K S，BOO K S. Sex pheromones and reproductive isolation of three species in genus *Adoxophyes* [J]. Journal of Chemical Ecology，2009，35(3)：342－348.
[34] CHEN Qinghua，ZHU Feng，TIAN Zhihua，et al. Minor components play an important role in interspecific recognition of insects：A basis to pheromone based electronic monitoring tools for rice pests [J]. Insects，2018，9(4)：192.
[35] GREENBERG L，JOHNSON C A，TRAGER J C，et al. Sex attractant pheromones of virgin queens of sympatric slave-making ant species in the genus *Polyergus*，and their possible roles in reproductive isolation [J]. Journal of Chemical Ecology，2018，44(6)：547－555.
[36] CARDÉ A M，BAKER T C，CARDÉ R T. Identification of a 4-component sex pheromone of the female oriental fruit moth，*Grapholitha molesta* (Lepidoptera：Tortricidae) [J]. Journal of Chemical Ecology，1979，5(3)：423－427.
[37] JUNG C R，KIM Y. Comparative transcriptome analysis of sex pheromone glands of two sympatric lepidopteran congener species [J]. Genomics，2014，103(4)：308－315.
[38] CARDÉ R T，BAKER T C，CASTROVILLO P J. Disruption of sexual communication in *Laspeyresia pomonella* (codling moth)，*Grapholitha molesta* (oriental fruit moth) and *G. Prunivora*1 (lesser appleworm) with hollow fiber attractant sources [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata，1977，22(3)：280－288.
[39] NASTAS T，RAILEANU N，CHEPTINARI V，et al. Methodological and technological methods for application of sexual pheromones against *Grapholitha funebrana* Tr [J]. Scientific Studies & Research，2014，23(2)：12－19.

（责任编辑：杨明丽）