

柑橘大实蝇成虫最佳诱捕时间和诱捕地点

梁凌云 温 强 王珊珊 程晓琴* 张宏宇*

(华中农业大学植物科学技术学院, 中澳园艺和城市有害生物联合研究中心,
果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室, 湖北洪山实验室, 武汉 430070)

摘要: 为有效诱捕柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 成虫, 首先调查 5 个不同橘园中柑橘大实蝇成虫发生量和落果数量, 计算落果率, 对诱捕时间和诱捕成虫百分比进行 Logistic 方程拟合分析, 然后调查全田、橘园、交界带、杂树林、橘园中心 5 个生境下柑橘大实蝇觅食高峰期成虫发生量, 并对各生境下柑橘大实蝇成虫发生量和各橘园中落果率进行相关性分析及回归分析。结果表明, 觅食高峰期柑橘大实蝇的最佳诱捕时间为 5 月 31 日—6 月 27 日。除杂树林外, 觅食高峰期全田、橘园、交界带和橘园中心柑橘大实蝇成虫发生量和落果率之间均呈显著正相关。通过比较 5 个生境拟合回归方程的判定系数和均方根误差确定在交界带生境中柑橘大实蝇成虫发生量与落果率的二次三项式模型拟合效果最好, 因此, 交界带为柑橘大实蝇成虫的最佳诱捕地点。

关键词: 柑橘大实蝇; 成虫发生量; 落果率; 诱捕时间; 诱捕地点

Optimal time and location for trapping adult Chinese citrus fruit fly *Bactrocera minax*

Liang Lingyun Wen Qiang Wang Shanshan Cheng Xiaoqin* Zhang Hongyu*

(Hubei Hongshan Laboratory, National Key Laboratory for Germplasm Innovation and Utilization for Fruit and Vegetable Horticultural Crops, China-Australia Joint Centre for Horticultural and Urban Pests, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei Province, China)

Abstract: In order to effectively trap Chinese citrus fruit fly *Bactrocera minax* adults, the occurrence of adults and the number of fallen fruits were investigated in five different citrus orchards; the fruit-dropping rate was calculated, and the trapping time and trapping percentage of adults were fitted using the logistic equation. The occurrence of *B. minax* adults was next investigated during the peak foraging period in the entire field, citrus orchards, junction zones, hybrid woods and the center of citrus orchards, and correlation analysis and regression analysis were carried out between the occurrence of adults and fruit-dropping rate in the five habitats. The results showed that the optimal time for trapping *B. minax* during the peak foraging period was from May 31 to June 27. In addition, except in the hybrid woods, there was a significant positive correlation between the occurrence of adults and the fruit-dropping rate in the entire field, citrus orchards, junction zones and the center of citrus orchards. However, by comparing the coefficient of determination and root mean square error of regression equations in five different habitats, the quadratic trinomial model of adult occurrence and fruit-dropping rate had the best fit in junction zones, indicating that it was the optimal location for trapping *B. minax* adults during the peak foraging period.

Key words: *Bactrocera minax*; adult occurrence; fruit-dropping rate; trapping time; trapping location

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC2600400), 云南省科技厅重大科技专项(202102AE090054), 国家现代农业(柑橘)产业技术体系(CARS-26), 湖北洪山实验室资助

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: chengxq2018@163.com, hongyu.zhang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2021-05-31

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 属双翅目实蝇科,是我国柑橘类水果上的重要害虫,常对柑橘造成毁灭性的为害(汪兴鉴和罗禄怡,1995),且为害程度逐年加剧。在我国柑橘大实蝇1年发生1代,成虫活动期和产卵期均较长,分别为30~90 d和30~60 d左右,成虫将卵产在果实内,卵发育至幼虫后在果实内潜食,成熟的幼虫从悬挂的果实内掉落或从掉落的果实中爬出进入土壤中化蛹、越冬。由于柑橘大实蝇卵、幼虫和蛹的活动场所较隐蔽,不利于防治,因此主要对柑橘大实蝇成虫进行防控(汪兴鉴和罗禄怡,1995)。

目前,常采用90%敌百虫晶体或可溶性粉剂、80%敌敌畏乳油、75%灭蝇胺可湿性粉剂和0.02%猎蝇饵剂等药剂对柑橘大实蝇成虫进行化学防治,如5%糖醋液分别与这些化学药剂混配后喷施到树冠可有效防治柑橘大实蝇成虫(张小亚等,2007;吴声海等,2008),防治柑橘大实蝇成虫的化学药剂仅局限于以上几种农药,并且化学药剂的长期施用不仅使柑橘大实蝇产生抗药性,而且农药残留还影响了果实品质。幼虫期-蛹期柑橘大实蝇的寄生性天敌有大实蝇全裂茧蜂 *Diachasmimorpha feijeni*,但仅限于其生物学特性的基础研究(张桂健等,2019),与实际应用还有较远的距离。因此,对柑橘大实蝇成虫的防治仍以物理防治为主。物理防治主要包括悬挂诱捕器(Drew et al., 2006;张宏宇和王珊珊,2016;梁家燕等,2017)、释放性信息素(张宏宇,2015)、植物源引诱剂(Liu & Zhou, 2016;龚碧涯等,2019)和不育雄虫(黄聪等,2013;2014)等,而这些措施主要针对的是交配和产卵期的柑橘大实蝇成虫,但在其交配和产卵前对其成虫诱杀对于该虫的防控更重要。柑橘大实蝇成虫在羽化初期先飞到有食物和水源的场所觅食补充营养,性成熟后返回橘园交配产卵,进而对柑橘进行为害,因此在羽化觅食期对柑橘大实蝇成虫进行诱杀能获得较好的防控效果(李杖黎等,2012a;Wang et al., 2016;2018),但是羽化觅食期柑橘大实蝇在果园外不规则的生活和取食习性,降低了其防控效果(马海泉等,2019)。因此了解柑橘大实蝇成虫时空活动规律和为害模式对于精准诱杀柑橘大实蝇成虫具有重要意义。研究表明通过掌握害虫种群的田间时空分布格局,提前在田间边界处设置诱捕带等综合治理措施可有效降低麦茎蜂 *Cephus cinctus* (Sing, 2002)、日本弧丽金龟甲 *Popillia japonica* (Sara et al., 2013)和马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (李晶等,2015)等害虫种群暴发。

Wang et al. (2016)指出羽化早期及高峰期柑橘大实蝇在小规模橘园中的空间分布具有明显的边缘聚集效应,且果园和树林之间的边缘区域是成虫出现概率最高的区域(李杖黎等,2012b),但关于觅食期柑橘大实蝇在橘园内的分布以及为害情况的研究较少。

为确定柑橘大实蝇成虫的最佳诱捕时间和最佳诱捕地点,本研究首先调查5个橘园柑橘大实蝇成虫发生量并计算每次诱捕成虫百分比,然后对每次诱捕时间和诱捕成虫百分比进行Logistic方程拟合,利用拟合的方程预测柑橘大实蝇成虫最佳诱捕时间;同时分别调查5个橘园的橘园、橘园中心、交界带、杂树林和全田5个不同生境下觅食高峰期柑橘大实蝇成虫实际发生量与落果率,并对其进行拟合,利用拟合的曲线预测落果率,进而预测柑橘大实蝇为害最严重的生境,并将该生境作为诱捕觅食高峰期柑橘大实蝇的最佳地点,以期对柑橘大实蝇防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:橘园主栽品种为尾张,部分橘园混栽早熟品系龟井。杂树林主要种植马尾松、桃树、栓皮栎、麻栎、栎树和枣树等,林间灌木杂草主要为蔷薇科、菊科和禾本科等杂草。间隔区农作物主要为水稻、黄瓜和小白菜等。

仪器:直径70 mm的黄色球型诱捕器,浙江绿盛工贸有限公司。

1.2 方法

1.2.1 柑橘大实蝇成虫诱集试验及落果数量调查

于2013年5月5日至10月10日在湖北省丹江口市六里坪镇孙家湾村进行试验,以5个互不相邻的橘园作为试验地,5个橘园的间距30~50 m,橘园1~橘园5的面积分别为491.35、802.53、1 235.36、1 005.84和910.30 m²,海拔分别为156~165、158~192、163~193、167~282和179~187 m。橘园1、橘园3、橘园4和橘园5全部种植尾张,橘园2中2/3面积种植尾张,其余面积种植龟井,5个橘园橘树行间距均为5 m左右,分别种植35、26、35、28和46棵橘树,5个橘园柑橘大实蝇为害严重,试验期间不施肥不打药,橘园无灌溉,依靠自然雨水补水。由于柑橘大实蝇成虫喜欢在背阴低位枝上活动,因此将杂树林分别设置在橘园1~橘园5的东西侧、东南侧、南侧、西南侧和西侧,橘园与杂树林的交界带处有农作物、池塘和公路。根据丹江口市柑橘研究所提供的2013年柑橘

大实蝇预埋蛹的出土时间(4月30日),于5月初开始在试验田内设置诱捕点。在每个橘园中,全田生境(即橘园生境和杂树林生境)设置8个诱捕点,其中橘园生境设置5个诱捕点,杂树林生境设置3个诱捕点,橘园中心生境设置3个诱捕点,交界带生境(即橘园内10 m和杂树林内10 m)设置3个诱捕点,橘园生境中的5个诱捕点设在园内不同方位,每个诱捕点之间间隔1~3棵橘树,约5~15 m,杂树林生境中的3个诱捕点设在杂树林中距橘园边界3~5 m处,每个诱捕点相隔10~15 m。

每个诱捕点悬挂1个诱捕器,距地面高度1 m左右,饵料为糖醋液,糖醋液中红糖、醋、酒和水的体积比为3:1:1:100(兰杰等,2009)。自设置诱捕点开始,每3~4 d统计1次诱捕虫量,统计次数不少于20次,每7 d更换1次饵料,直至连续3次观测不到成虫为止,计算每个诱捕点每次诱捕柑橘大实蝇成虫百分比。每个诱捕点每次诱捕柑橘大实蝇成虫百分比=每个诱捕点诱捕虫量/40个诱捕点诱捕总虫量×100%,40个诱捕点诱捕成虫百分比之和即为累计诱捕成虫百分比。利用Logistic方程对柑橘大实蝇诱捕时间和每次累计诱捕成虫百分比进行拟合,成虫初见日为5月20日,此时令诱捕时间 $t=1$,根据张孝羲等(2001)方法确定柑橘大实蝇出土早高峰期、高峰期和晚高峰期,即累计诱捕成虫百分比分别为16%、50%和84%时为柑橘大实蝇出土早高峰期、高峰期和晚高峰期。基于Logistic方程计算柑橘大实蝇出土早高峰期、高峰期和晚高峰期的具体日期,将柑橘大实蝇成虫出土的早高峰期至晚高峰期作为其觅食高峰期。

2013年8月16日至10月10日,对橘园内落果数量进行调查。根据橘园内果树棵数及挂果量,每个橘园随机选择5~10棵橘树,每棵树上随机标记10个或20个橘果,共标记100个果实。自橘园有落果开始,每周观察1次标记橘果的落果情况并记录,将有产卵痕或幼虫的落果记为虫害落果,如果标记橘果有落果,则进行补充,保证每个橘园有100个标记橘果,调查持续到果实成熟,共调查7次,计算落果率。落果率=橘园内7次调查累计虫害落果数/橘园内总标记橘果数×100%。

1.2.2 不同生境下落果率最优预测模型的筛选

在模型拟合之前,对不同生境下觅食高峰期柑橘大实蝇成虫实际发生量 x_i ($i=1,2,3,4,5$,分别代表全田、橘园、交界带、杂树林和橘园中心5个生境)和5个橘园落果率 y 进行相关性分析;对具有显著相

关的生境内成虫实际发生量 x_i 和落果率 y 之间进行回归分析,建立不同的曲线模型,并对其进行 F 检验,利用判定系数 R^2 及均方根误差 E 对所建立的曲线模型进行拟合优度检验及 F 检验, F 值越大说明建立的曲线效果越显著。根据 $R^2 \geq 1$ 、 $E \leq 1$ 以及 F 值筛选最优落果率预测模型,根据最优落果率模型确定柑橘大实蝇成虫的最佳诱捕地点。

1.3 数据分析

采用SPSS 21.0软件的单因素方差分析法进行相关性分析及回归分析,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 柑橘大实蝇成虫觅食高峰期的预测

柑橘大实蝇累计诱捕成虫百分比 s 和诱集时间 t 的Logistic方程为 $s=100/(1+24.720e^{-0.124t})$ ($R^2=1.000$,图1)。根据方程计算柑橘大实蝇出土的早高峰期、高峰期和晚高峰期分别为5月31日、6月14日和6月27日,即柑橘大实蝇成虫觅食高峰期为5月31日—6月27日,在此期间对柑橘大实蝇成虫进行诱捕能取得较好的效果。

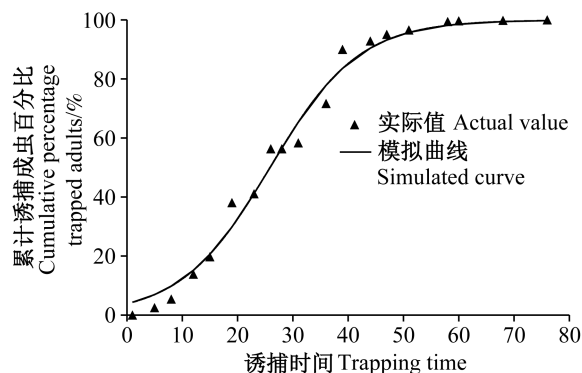


图1 柑橘大实蝇成虫诱集动态

Fig. 1 Dynamics of *Bactrocera minax* adults captured by traps

2.2 各橘园落果率

依据5个橘园的落果数($F_{4,34}=0.663$, $P=0.622 > 0.050$),计算橘园1~橘园5的落果率分别为27.05%、33.33%、49.68%、41.43%和34.11%(图2)。

2.3 柑橘大实蝇成虫最佳诱捕地点

觅食高峰期全田中柑橘大实蝇成虫发生量 x_1 和各橘园落果率 y 之间显著相关($P=0.016 < 0.050$, $r=0.944 > r_{(0.05,3)}=0.878$, $t=8.592 > t_{(0.05,3)}=3.182$),其线性模型为 $y=0.791x_1+25.189$ ($R^2=0.891$, $E=2.559$, $F_{(1,3)}=24.604 > F_{(0.05,3)}=10.100$),幂模型为 $y=19.428x_1^{0.254}$ ($R^2=0.853$, $E=3.554$, $F_{(1,3)}=17.414 > F_{(0.05,3)}=10.100$),二次三

项式为 $y=0.024x_1^2+0.048x_1+29.017$ ($R^2=0.916$, $E=2.245$, $F_{(2,2)}=10.953 < F_{(0.05,2)}=19.000$, 图 3-A)。通过比较 R^2 、 E 及 F 值确定全田生境下线性模型为落果率最优预测模型。

觅食高峰期橘园中柑橘大实蝇成虫发生量 x_2 和各橘园落果率 y 之间显著相关 ($P=0.002 < 0.050$, $r=0.986 > r_{(0.05,3)}=0.878$, $t=10.132 > t_{(0.05,3)}=3.182$), 其线性模型为 $y=1.077x_2+23.423$ ($R^2=0.972$, $E=1.308$, $F_{(1,3)}=102.578 > F_{(0.05,3)}=10.100$), 幂模型为 $y=19.565x_2^{0.266}$ ($R^2=0.890$, $E=14.761$, $F_{(1,3)}=24.368 > F_{(0.05,3)}=10.100$), 二次三项式模型为 $y=0.019x_2^2+0.578x_2+25.757$ ($R^2=0.983$, $E=1.010$, $F_{(2,2)}=58.107 > F_{(0.05,2)}=19.000$, 图 3-B)。通过比较 R^2 、 E 及 F 值确定橘园生境下二次三项式模型为落果率最优预测模型。

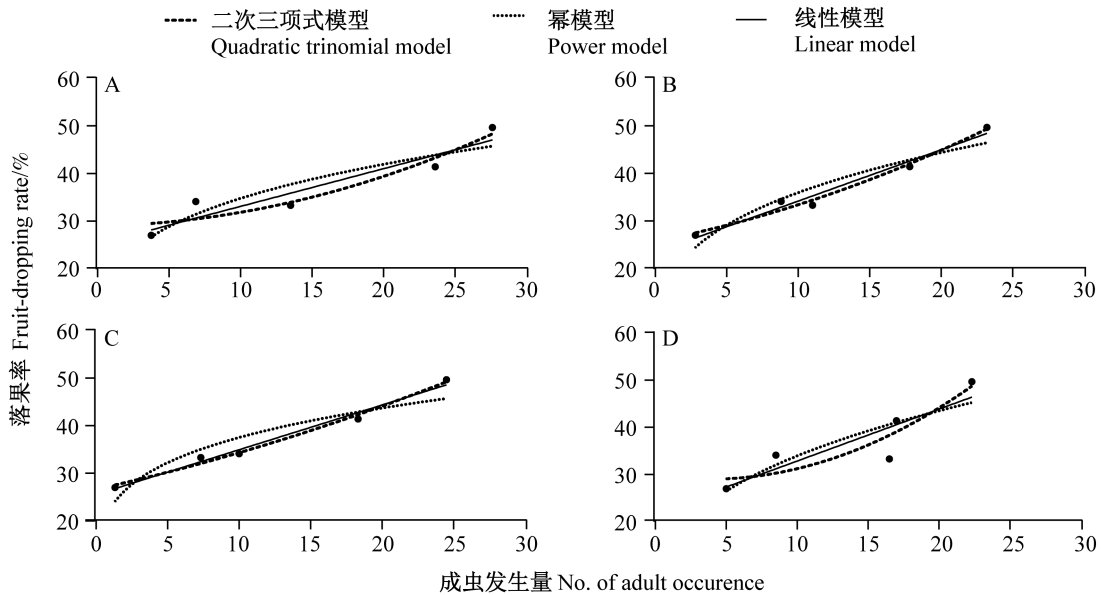


图3 觅食高峰期全田(A)、橘园(B)、交界带(C)和橘园中心(D)生境下柑橘大实蝇成虫发生量和落果率的回归分析
Fig. 3 Regression analysis between adult occurrence and fruit-dropping rate in the entire field (A), citrus orchards (B), junction zones (C) and the center of citrus orchards (D) during the peak foraging period of *Bactrocera minax*

觅食高峰期交界带中柑橘大实蝇成虫发生量 x_3 和各橘园落果率 y 之间极显著相关 ($P < 0.001$, $r=0.992 > r_{(0.05,3)}=0.878$, $t=24.035 > t_{(0.05,3)}=3.182$), 其线性模型为 $y=0.940x_3+25.555$ ($R^2=0.985$, $E=0.960$, $F_{(1,3)}=193.041 > F_{(0.05,3)}=10.100$), 幂模型为 $y=24.254x_3^{0.189}$ ($R^2=0.863$, $E=2.875$, $F_{(1,3)}=19.752 > F_{(0.05,3)}=10.100$), 二次三项式模型为 $y=0.011x_3^2+0.663x_3+26.668$ ($R^2=0.990$, $E=0.766$, $F_{(2,2)}=101.626 > F_{(0.05,2)}=19.000$, 图 3-C)。通过比较 R^2 、 E 及 F 值确定交界带生境下二次三项式模型为落果率最优预测模型。

觅食高峰期杂树林中柑橘大实蝇成虫发生量 x_4 和各橘园落果率 y 之间无显著相关性 ($P=0.052 >$

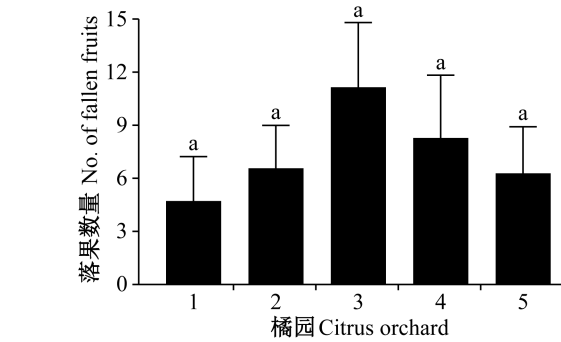


图2 5个橘园的虫害落果数量

Fig. 2 Numbers of fallen fruits in five citrus orchards
图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$).

0.050 , $r=0.875 < r_{(0.05,3)}=0.878$, $t=0.178 < t_{(0.05,3)}=3.182$)。

觅食高峰期橘园中心柑橘大实蝇成虫发生量 x_5 和各橘园落果率 y 之间显著相关 ($P=0.045 < 0.050$, $r=0.887 > r_{(0.05,3)}=0.878$, $t=3.320 > t_{(0.05,3)}=3.182$), 线性模型为 $y=1.100x_5+21.874$ ($R^2=0.786$, $E=3.590$, $F_{(1,3)}=11.025 > F_{(0.05,3)}=10.100$), 幂模型为 $y=15.928x_5^{0.330}$ ($R^2=0.761$, $E=3.971$, $F_{(1,3)}=9.568 < F_{(0.05,3)}=10.100$), 二次三项式模型为 $y=0.057x_5^2-0.430x_5+29.839$ ($R^2=0.834$, $E=3.161$, $F_{(2,2)}=5.030 < F_{(0.05,2)}=19.000$, 图 3-D)。通过比较 R^2 、 E 及 F 值确定橘园中心生境下线性模型为落果率最优预测模型。

综上所述,交界带生境下最优落果率预测模型——

二次三项式模型的 R^2 最大且接近1, E 最小且小于1, F 值最大,因此交界带生境为觅食高峰期柑橘大实蝇的最佳诱捕地点。

3 讨论

在湖北省柑橘大实蝇成虫羽化时间为每年5月中旬—5月下旬,觅食高峰期为5月下旬—6月中下旬(刘刚等,2014;罗杰等,2015;李再园等,2018)。在不丹柑橘大实蝇羽化时间基本都在4月下旬—5月下旬,100%的雌成虫在6月下旬达到性成熟,产卵期在6月中旬—7月下旬(Dorji et al., 2006)。本研究通过所建立的Logistic模型得出柑橘大实蝇觅食高峰期为5月31日—6月27日,与上述研究结果一致,表明Logistic模型可用于评估柑橘大实蝇的发生时间和诱杀适期。

张岳等(2019)利用DNA条形码技术将湖南省22个采样地点中21个点采集的595头幼虫均鉴定为橘大实蝇。崔中翌等(2020)通过DNA条形码技术对我国不同省份和地区橘果内果实蝇种群进行鉴定,结果显示被为害的单个柑橘果实内一般只有1种实蝇,极个别柑橘果实同时被2种实蝇为害,且在为害柑橘的实蝇种类中,以柑橘大实蝇的个体数量最多,所占比例达90.70%。本研究根据落果上的产卵痕迹和果肉内有实蝇幼虫来判断落果由柑橘大实蝇为害造成的,这种方法虽然没有DNA条形码技术鉴定准确,但与实际鉴定结果差异甚小。

Gui et al. (2011)和Wang et al. (2018)研究表明觅食期柑橘大实蝇成虫会在蚜、虱、蝉和蚱等害虫为害的作物及离果园较近的沟渠、池塘等场所觅食以补充营养,而且果园和树林之间的边缘区域是觅食期柑橘大实蝇成虫出现概率最高的区域(Wang et al., 2016)。同样,其他害虫如卖茎蜂*Cephus cinctus*为害也具有明显的边缘效应,即田间边缘发生虫害的比例高于田间中心方向(Runyon, 2001; Sing, 2002)。因此,在柑橘大实蝇性成熟交配产卵前,果园外周边环境应作为主要防治对象区,加强监管。由于杂树林和橘园之间的交界区有丰富的营养源,在营养充足的情况下,为节省体内营养消耗柑橘大实蝇不会选择飞向橘园附近的杂树林中,这可能是杂树林成虫发生量与落果率之间无相关性的主要原因。

柑橘大实蝇1年只发生1代,且柑橘大实蝇的发生与气候环境等密切相关,下一步应通过增加果园数量提高试验数据的准确性,或通过在其他地区或年份对觅食高峰期交界带中基于柑橘大实蝇成虫发

生量构建的落果率预测模型效果进行评估。

参考文献 (References)

- Cui ZY, Zhou Q, Liu YP, Si PF, Wang Y. 2020. Molecular identification of citrus fruit flies and genetic diversity analysis of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) populations in China based on mtDNA *COI* gene sequences full text replacement. *Acta Entomologica Sinica*, 63(1): 85–96 (in Chinese) [崔中翌, 周琼, 刘一鹏, 司马法, 汪洋. 2020. 基于mtDNA *COI*基因序列的中国柑橘果实蝇的分子鉴定及柑橘大实蝇种群的遗传多样性分析. *昆虫学报*, 63(1): 85–96]
- Dorji C, Clarke AR, Drew RA, Fletcher BS, Loday P, Mahat K, Raghu S, Romig MC. 2006. Seasonal phenology of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in western Bhutan. *Bulletin of Entomological Research*, 96(5): 531–538
- Drew RAI, Dorji C, Romig MC, Loday P. 2006. Attractiveness of various combinations of colors and shapes to females and males of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in a commercial mandarin grove in Bhutan. *Journal of Economic Entomology*, 99(5): 1651–1656
- Gong BY, Liu H, Xiao FL, Xiang M, Liu J, Yang SZ, Li XX, Duan KP, Xiong XF. 2019. The effects of different sticky glues, food lures and hanging positions, on the effectiveness of sticky spheres for trapping adult *Bactrocera (Tetradacus) minax* (Enderlein). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 840–845 (in Chinese) [龚碧涯, 刘慧, 肖伏莲, 向敏, 刘娟, 杨水芝, 李先信, 段科平, 熊先福. 2019. 粘虫胶、食物诱芯和悬挂位置对诱杀球诱杀柑橘大实蝇的影响. *应用昆虫学报*, 56(4): 840–845]
- Gui LY, Huang XQ, Li CR, Boiteau G. 2011. Validation of harmonic radar tags to study movement of Chinese citrus fly. *The Canadian Entomologist*, 143(4): 415–422
- Huang C, Wang FL, Li CR, Zhang GF. 2013. Effect of sterile dose $^{60}\text{Co-}\gamma$ ray radiation on the activity of adult citrus fruit fly (*Bactrocera dorsalis*). *South China Fruits*, 42(5): 68–69, 74 (in Chinese) [黄聪, 王福莲, 李传仁, 张桂芬. 2013. 不育剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐射对柑桔大实蝇成虫活动能力的影响. *中国南方果树*, 42(5): 68–69, 74]
- Huang C, Wang FL, Zhang GF, Li CR, Li YJ. 2014. Effects of gamma radiation with sterile dose on survival of *Bactrocera minax* (Enderlein) adult during pre-mating period. *Journal of Environmental Entomology*, 36(2): 213–218 (in Chinese) [黄聪, 王福莲, 张桂芬, 李传仁, 李咏军. 2014. 不育剂量 γ 射线辐射对柑橘大实蝇交配前期存活的影响. *环境昆虫学报*, 36(2): 213–218]
- Lan J, Wan BR, Li KS, Liao GX, Li CR. 2009. The attraction effect of fruitfly food lure to Chinese citrus fly. *Plant Quarantine*, 23(2): 9–11 (in Chinese) [兰杰, 万宝荣, 黎孔森, 廖贵新, 李传仁. 2009. 大实蝇食物诱剂对柑橘大实蝇的诱杀作用. *植物检疫*, 23(2): 9–11]
- Li J, Tuerxun A, Ding XH, He J, Wang DY, Guo WC, Li C. 2015. Study on spatial distribution and dynamic of *Leptinotarsa decemlineata* based on geostatistic in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 52(12): 2250–2258 (in Chinese) [李晶, 吐尔逊·

- 阿合买提, 丁新华, 何江, 王登元, 郭文超, 李超. 2015. 马铃薯甲虫时空分布格局研究. 新疆农业科学, 52(12): 2250-2258]
- Li ZL, Guo YC, Zheng WW, Yuan JS, Qi XH, Zhang HY. 2012a. Control efficiency based on trapping points distribution of *Bactrocera (Tetradacus) minax* (Enderlein). Journal of Huazhong Agricultural University, 31(6): 710-712 (in Chinese) [李杖黎, 郭元成, 郑薇薇, 袁建设, 齐小慧, 张宏宇. 2012a. 诱杀点分布对柑橘大实蝇诱杀效果的影响. 华中农业大学学报, 31(6): 710-712]
- Li ZL, Li T, Shi ZH, Chen Z, Zhang HY. 2012b. Spatial and temporal distribution and oviposition behaviour of adult *Bactrocera (Tetradacus) minax* (Enderlein). Journal of Huazhong Agricultural University, 31(5): 609-612 (in Chinese) [李杖黎, 李涛, 石章红, 陈政, 张宏宇. 2012b. 柑橘大实蝇成虫的时空分布与产卵规律. 华中农业大学学报, 31(5): 609-612]
- Li ZY, Du TH, Chambi C, Huang C, Ma YK, Wang FL, Zhang GF. 2018. Study on the optimal field trapping period of *Bactrocera minax*. Journal of Fruit Science, 35(11): 1406-1412 (in Chinese) [李再园, 杜田华, Chambi C, 黄聪, 马跃坤, 王福莲, 张桂芬. 2018. 柑橘大实蝇成虫田间诱杀适期探究. 果树学报, 35(11): 1406-1412]
- Liang JY, He HX, Luo QL, Pan XL, He ZX. 2017. Comparison of trapping and killing effects of different traps on adults of *Bactrocera dorsalis*. China Agricultural Technology Extension, 33(6): 54-55 (in Chinese) [梁家燕, 贺海雄, 罗全丽, 潘晓莲, 何忠雪. 2017. 不同诱捕器对柑橘大实蝇成虫的诱杀效果比较. 中国农技推广, 33(6): 54-55]
- Liu G, Gao X, Zhang Y, Wang QW, Zhang JC, Zhang K, Li L, Huang BQ. 2014. Occurrence regularity and integrated control techniques of *Bactrocera dorsalis* in Hanzhong. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 60(6): 112-113 (in Chinese) [刘刚, 高霞, 张勇, 王清文, 张吉昌, 张康, 李乐, 黄保全. 2014. 柑桔大实蝇在汉中的发生规律与综合防控技术. 陕西农业科学, 60(6): 112-113]
- Liu L, Zhou Q. 2016. Olfactory response of female *Bactrocera minax* to chemical components of the preference host citrus volatile oils. Journal of Asia-Pacific Entomology, 19(3): 637-642
- Luo J, Gui LY, Wang FL. 2015. Daily rhythm of flight takeoff by early emerged adult Chinese citrus fly and their landing locations. Journal of Environmental Entomology, 37(1): 36-43 (in Chinese) [罗杰, 桂连友, 王福莲. 2015. 初羽化的柑橘大实蝇成虫起飞日节律和降落位置. 环境昆虫学报, 37(1): 36-43]
- Ma HQ, Liang LY, Cheng XQ, Wang SS, Zhang HY. 2019. Modelling the relationship between adult *Bactrocera minax* numbers and ratio of oviposition scars during the peak foraging period. Chinese Journal of Applied Entomology, 56(3): 479-484 (in Chinese) [马海泉, 梁凌云, 程晓琴, 王珊珊, 张宏宇. 2019. 柑橘大实蝇觅食高峰期成虫量与产卵痕率的关系模型研究. 应用昆虫学报, 56(3): 479-484]
- Runyon JB. 2001. Wheat stem sawfly parasitism in varying field sizes and tillage systems in dryland wheat in Montana. Master thesis. Bozeman: Montana State University
- Sara SA, McCallen EB, Switzer PV. 2013. The spatial distribution of the Japanese beetle, *Popillia japonica*, in soybean fields. Journal of Insect Science, 13(1): 36
- Sing SE. 2002. Spatial and biotic interactions of the wheat stem sawfly with wild oat and Montana dryland spring wheat. PhD thesis. Bozeman: Montana State University
- Wang FL, Chambi C, Li ZY, Huang C, Ma YK, Li CR, Tian XH, Sangjia F, Ntambo MS, Kankonda OM, et al. 2018. Influence of supplemental protein on the life expectancy and reproduction of the Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera minax* (Enderlein) (*Tetradacus minax*) (Diptera: Tephritidae). Journal of Insect Science, 18(2): 25
- Wang SQ, Zhang HY, Li ZL. 2016. Small-scale spatio-temporal distribution of *Bactrocera minax* (Enderlein) (Diptera: Tephritidae) using probability Kriging. Neotropical Entomology, 45(5): 453-462
- Wang XJ, Luo LY. 1995. Research progress of *Bactrocera dorsalis*. Entomological Knowledge, 32(5): 310-315 (in Chinese) [汪兴鉴, 罗禄怡. 1995. 桔大实蝇的研究进展. 昆虫知识, 32(5): 310-315]
- Wu SH, Zhang ZL, Liang DG. 2008. Causes and control countermeasures of citrus fruit fly in Huitong County. South China Fruits, 37(4): 24-26 (in Chinese) [吴声海, 张自林, 梁德贵. 2008. 会同县柑桔大实蝇发生的原因及防控对策探讨. 中国南方果树, 37(4): 24-26]
- Zhang GJ, Chen ZZ, Jiang N, Niu CY. 2019. Morphological and molecular identification and biological characterization of parasitoid of *Bactrocera minax*. Journal of Huazhong Agricultural University, 38(6): 98-103 (in Chinese) [张桂健, 陈振中, 江楠, 牛长纓. 2019. 1种柑橘大实蝇寄生蜂鉴定及生物学研究. 华中农业大学学报, 38(6): 98-103]
- Zhang HY. 2015. A sex pheromone for *Bactrocera minax*: CN 105145557B. 2017-10-17 (in Chinese) [张宏宇. 2015. 一种柑橘大实蝇性信息素: CN 105145557B. 2017-10-17]
- Zhang HY, Wang SS. 2016. A device for trap-and-kill fruit fly pests: CN 205511778 U. 2016-08-31 (in Chinese) [张宏宇, 王珊珊. 2016. 一种实蝇类害虫诱杀装置: CN 205511778 U. 2016-08-31]
- Zhang XX, Qu BP, Mao JY, Zhang GA, Xiu XD. 2001. Insect ecology and forecast. 3rd edition. Beijing: China Agriculture Press, pp. 199-248 (in Chinese) [张孝羲, 翟保平, 牟吉元, 张国安, 刘向东. 2001. 昆虫生态及预测预报. 第3版. 北京: 中国农业科学出版社, pp. 199-248]
- Zhang XY, Zhang CY, Han QH, Lei CL. 2007. Study on bait trapping methods for controlling *Bactrocera minax* and preliminary evaluation on their controlling effects. China Plant Protection, 27(1): 5-8 (in Chinese) [张小亚, 张长禹, 韩庆海, 雷朝亮. 2007. 柑橘大实蝇诱杀方法研究及防治效果初步评估. 中国植保导刊, 27(1): 5-8]
- Zhang Y, Zhang JF, Qin YJ, Zeng YY, Li ZH. 2019. Molecular identification of the fruit fly larvae in major citrus production areas in Hunan Province based on DNA barcoding. Journal of Plant Protection, 46(1): 71-81 (in Chinese) [张岳, 张佳峰, 秦誉嘉, 曾译影, 李志红. 2019. 基于DNA条形码技术的湖南省柑橘主产区实蝇幼虫分子鉴定. 植物保护学报, 46(1): 71-81]

(责任编辑:张俊芳)