

# 枣飞象生物学特性及其综合治理

阎雄飞<sup>1,2\*</sup>, 刘青钊<sup>1</sup>, 李刚<sup>1,2</sup>, 刘永华<sup>1,2</sup>, 张鹏<sup>1</sup>

(1.榆林学院生命科学院, 陕西榆林 719000; 2.榆林学院榆林道地秦药研究院, 陕西榆林, 719000)

**摘要:** 枣飞象 *Pachyrhinus yasumatsui* 隶属鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae 是我国枣树重要的食芽害虫。该象甲主要以成虫取食枣芽、嫩叶为害, 当种群爆发时, 将新萌发枣芽啃食干净, 出现枣股光秃和抽干的现象, 迫使枣树消耗大量养分再次萌芽, 仅能结少量苦涩枣果, 严重影响红枣产量和品质, 给红枣产区造成巨大经济损失。为了科学有效管理控制枣飞象, 我国科技工作者在该象甲形态学特征、分布与为害、个体发育与生活史、种群空间分布与遗传多样性、触角感器与嗅觉机制、综合防治技术等方面取得了一定进展。目前枣飞象在我国北方所有枣区均有分布, 为害具有聚集性和暴发性, 防治难度较大。枣飞象的早期防控有深翻枣园、适时灌水、铺设地膜等农业防治措施, 树干上涂粘虫胶是控制枣飞象的主要物理控制技术, 但化学防治仍然是压低枣飞象虫口密度的最重要和有效的防治方式。目前基于枣树挥发物主导的枣飞象寄主定向化学通讯机制引起人们重视和关注, 部分具有生物活性的信息物质和嗅觉分子机制已经被解析, 为发展植物源引诱剂为主的生物防治技术提供了依据。本文在系统综述现阶段枣飞象相关研究工作基础上, 展望该象甲需重点开展的研究方向, 旨在为枣飞象绿色防控与科学治理提供参考依据。

**关键词:** 枣飞象; 枣树; 生物学特性; 综合治理

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A

## Biology and integrated management of *Pachyrhinus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae)

YAN Xiong-Fei<sup>1,2\*</sup>, LIU Qing-Zhao<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1,2</sup>, LIU Yong-Hua<sup>1,2</sup>, ZHANG Peng<sup>1</sup> (1.College of Life and Science, Yulin University, Yulin 719000, Shaanxi Province, China; 2.Yulin Research Institute of Genuine Herbs of Qin Medicine, Yulin University, Yulin 719000, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** *Pachyrhinus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) is an important bud-eating pest of jujube in China. The weevil mainly feeds on jujube buds and young leaves. When the population breaks out, the newly germinated jujube buds are eaten clean, and the jujube stocks are bare and the jujube branches are dried. The feeding of *P. yasumatsui* forced the tree to consume a large amount of nutrients to sprout again, and only a small amount of bitter jujube fruit could be

基金项目: 国家自然科学基金 (321660380, 31760211); 榆林学院榆林道地秦药研究院开放课题项目 (YLDQ-2024-08)

\*作者简介: 阎雄飞, 男, 1975年生, 博士, 教授, 主要研究方向为林木害虫化学生态学, E-mail: yxfei1220@126.com

收稿日期 Received: 2024-08-01; 修回日期 Revision received: 2024-10-08; 接受日期 Accepted: 2024-10-09

produced, which seriously reduced the yield and quality of jujube fruit, and caused huge economic losses to the jujube area. In order to effectively control the damage caused by *P. yasumatsui*, scientists have made many advances in the morphological feature, distribution and damage, the growth of the individual and life history, spacial distribution and genetic diversity, antennal sensilla and olfactory mechanism, and integrated control techniques. *P. yasumatsui* has found in all jujube regions of northern China. It has a relatively wide range of host plants for feeding. The damage caused by *P. yasumatsui* has characteristics of aggregation and outbreak, making prevention and control quite challenging. The early prevention and control of *P. yasumatsui* mainly focused on agricultural prevention and control measures such as deep ploughing jujube orchards, timely irrigation, and paving plastic film. Sticking insect glue on the trunk was the main physical control measure to control *P. yasumatsui*, but chemical control is still the most important and effective prevention and control method to reduce the density of weevils. In recent years, the host-directed chemical communication mechanism of *P. yasumatsui*, which is dominated by the volatiles of the jujube, has attracted attention and concern. Some biologically active information substances and olfactory molecular mechanisms have been analyzed, which provides a basis for the development of biological control technology for *P. yasumatsui* based on plant-derived attractants. This article reviews the current research on *P. yasumatsui* and anticipates future development trends from the perspective of the development of environmentally-friendly control methods. It aims to provide reference materials and theoretical basis for the green management and scientific management of *P. yasumatsui*.

**Key words:** *Pachyrhinus yasumatsui*; *Zizyphus jujuba*; biological characteristics; integrated management

枣飞象 *Pachyrhinus yasumatsui* (Kono & Morimoto, 1960) 属于鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae, 又名食芽象甲、枣食芽象甲、太谷月象。*Pachyrhinus* 属最初由 Schönherr (1823) 提出, 并指定 *Curculio mustela* Herbst, 1797 为模式种, 因没有包含描述, 该名称被视为裸名 (Nomen nudum)。随后, Schönherr (1826) 将 *C. mustela* 列为其新建立的属 *Scythropus* 的模式种并提供了鉴别特征。O'Brien (1982) 将 *Pachyrhinus* 从“nomen nudum”中恢复, 并将 *Scythropus* 作为 *Pachyrhinus* 的一个次异名, 被归入 *Scythropus* 的物种被移至 *Pachyrhinus*。因此, 枣飞象的有效名应为: *Pachyrhinus yasumatsui* (Kono & Morimoto)。

我国涉及枣飞象的研究文献可以追溯到 1977 年, 最早发现该象甲在枣树上为害, 以成虫取食枣树新萌发的枣芽和枣叶补充营养, 往往将枣芽吃光, 迫使枣树消耗营养二次萌芽, 造成开花和结果推迟, 严重影响红枣产量和品质, 给枣农造成严重的经济损失, 经赵养昌先生鉴定为枣飞象 (高犁牛等, 1977; 师光禄等, 2000)。据报道枣树萌芽期, 每头枣飞象成虫取食枣芽最多达 6.50 个, 最少 4.00 个, 平均为 5.35 个; 枣树展叶期, 每头枣飞象引

起枣叶损失量最多为 99.66 cm<sup>2</sup>，最少为 27.91 cm<sup>2</sup>，平均为 67.28 cm<sup>2</sup>，萌芽期和展叶期，每头成虫一生取食引起的枣叶损失量为 1 041.27 cm<sup>2</sup>，若枣树失叶率达到 75%，枣果产量损失为 74.4%，若枣树失叶率达到 100%，枣果产量损失为 95.0%（付建业，2000）。

鉴于枣飞象对枣树危害的严重性，很多学者对其形态学特征、生物学特性和综合治理等方面开展了研究，然而该虫个体小，为害比较隐蔽，加之获取虫源受季节限制，使得枣飞象研究进展相对缓慢。近年来，枣树害虫在我国北方各大枣区危害呈加重趋势，枣飞象也不例外，例如在陕西省清涧县东部枣飞象危害率达到大约 70%（刘超等，2019；曹海祥等，2014）。由于枣园管理粗放，该象甲在我国陕西、山西等沿黄枣区枣园连年成灾，很多枣园甚至出现枣果绝收现象，枣飞象已成为我国红枣产业当前亟待解决的重要问题（刘超等，2019；张鹏等，2023；石兆良，2024）。基于此，本文对枣飞象进行了系统的综述，以为枣飞象的深入研究和绿色可持续控制，提供参考资料和依据。

## 1 形态学特征

枣飞象有成虫、卵、幼虫和蛹 4 个生活阶段。

雄成虫体长 3.7~4.8 mm，体宽 1.4~1.8 mm；雌成虫体长 4.0~5.6 mm，体宽 1.5~2.1 mm（师光禄等，2000）。体壁黑色，触角、足褐色，密被灰白色和褐色鳞片；头、喙背面及前胸背板的两侧具稀疏的直立、褐色鳞状刚毛。喙短粗，宽略大于长，中沟短；口上片中部凹，略呈“V”形（赵养昌和陈元清，1980）。触角膝状，共 3 节，柄节、梗节和鞭节各 1 节，鞭节分为 7 个亚节；其中梗节最短，鞭节最长，第 1 鞭亚节呈瓶状，第 2 至 6 鞭亚节呈念珠状；第 7 鞭亚节膨大，呈火焰状，明显长于其他鞭亚节（张锋等 2019a；阎雄飞等，2024）。复眼球形，凸出；前胸背板宽大于长，基缘和端缘平直，侧缘凸，最宽处位于中部，密被鳞片，中区鳞片颜色较两侧更深；小盾片小，呈三角状；鞘翅长约为宽的两倍，密被鳞片，中部最宽，两侧于端部 1/3 处开始收窄，端部钝圆，翅上具褐色斑晕沟，刻点沟窄，沟内刻点相互分离，刻点内生刚毛，沟间部较平；足腿节稍膨大，无齿，前足胫节外缘直，端部外缘稍弯，跗节第 3 节深裂呈双叶状，爪合生。枣飞象雌雄成虫形态差别不明显，雄虫肛门小而扁，雌虫肛门大而圆（赵养昌和陈元清，1980）。

卵长椭圆形，长径为 0.5~0.75 mm，短径为 0.25~0.42 mm，表面光滑有光泽，初产为乳白色，渐变为黄色，孵化前变为棕色（师光禄等，2000）。

幼虫为无足型幼虫，老熟幼虫体长 3.9~5.2 mm，头部淡黄褐色、前胸背面淡黄体，胴部乳白色，粗短弯曲，体各节多横皱，体表密被白色刚毛（师光禄等，2000）。

蛹呈纺锤形，长 4.2~5.4 mm，初化为乳白色，颜色逐渐变深，近羽化时红褐色，蛹体具有褐色的刚毛，蛹体背板各节边缘有一圈刺，腹部末端有较粗的尾刺，刺基部白色，端部褐色（师光禄等，2000）。

## 2 分布与为害

### 2.1 分布与寄主

枣飞象最早报道在河南省的濮阳、新郑、郑州和灵宝等地的枣树上取食为害（高犁牛等，1977），20 世纪 80 年代，该象甲在山西吕梁、晋中、陕西延安等地有为害记载（李宽胜和唐国恒，1980；赵养昌和陈元清，1980），接着在江苏丰县的桑树上暴发成灾，当时中文名为桑飞象（李淑琴和张纪林，1984），随后报道枣飞象在甘肃宁县枣园取食为害（贾增波等，1991）。迄今为止，枣飞象在陕西（张锋等，2017；景瑞等，2021）、山西（刘光生，1981；杜仙当，2007；王晶，2016）、河南（李志清等，2006；石兆良，2024）、河北（曹晓壮，2019；张泽勇和闫春，2011）、宁夏（张华普等，2015）、新疆（蒋晓晓，2007）、山东（黎宁等，2011）、甘肃（贾增波等，1991）、江苏（郭飞和王敦崇，2007）、海南（张中润等，2006）、北京（张执中等，1984）、天津（张金海和马金河，2002）、辽宁（白利，2017）等地区均有发生为害报道。

枣飞象主要取食的寄主植物为鼠李科枣树和酸枣 *Z. jujuba* var. *spinosa*，亦有取食其他寄主的报道。例如蔷薇科 Rosaceae 的苹果树 *Malus* spp.、杏树 *Armeniaca* spp. 和木瓜海棠 *Chaenomeles cathayensis* 等（张中润等，2006；张华普等，2015），桑科 Moraceae 的桑树 *Morus* spp.、榆科 Ulmaceae 的榆树 *Ulmus* spp.、豆科 Fabaceae 的刺槐 *Robinia* spp.、胡桃科 Juglandaceae 的核桃 *Juglans* spp.、杨柳科的杨树 *Populus* spp.、玄参科的泡桐 *Paulownia* spp. 等阔叶树木（张华普等，2015；萧刚柔和李镇宇，2021）。在海南有过该象甲取食漆树科 Anacardiaceae 的腰果 *Anacardium occidentale* 的嫩芽或叶片补充营养的报道（张中润等，2006），在河南桐柏山区报道为木瓜海棠萌芽期食芽害虫（段霞，2007）。关于枣飞象的寄主问题尚待商榷，由于有些文献记载的寄主可能仅仅是栖息，并未取食，究竟取食哪些寄主能完成生活史，尚需要进一步证实。

### 2.2 为害特性

枣飞象成虫取食具有暴发性和聚集性，通常聚集于枣股基部取食枣芽补充营养，往往将新萌发枣芽啃食殆尽，出现枣股光秃、抽干发脆的现象，迫使枣树消耗大量营养再次重新萌芽，新萌芽的枣吊节间变短（师光禄等，2000；阎雄飞等，2020a）。待枣树展叶后，

继续危害嫩叶，将嫩叶咬成半圆形或锯齿状缺刻，开花坐果明显延迟，结出口感苦涩的“末茬枣”，甚至完全绝收，造成红枣产量和品质严重下降（师光禄等，2000）。枣飞象在江苏地区的蚕桑园发生严重，桑树新萌发的芽、嫩叶和新梢全部被吃光，迫使桑树重新萌发，蚕桑园春叶产量损失30%~60%（李淑琴和张纪林，1985）。枣飞象为害腰果树的嫩梢和嫩芽，严重时将嫩芽全部吃光，嫩叶吃成半圆形或锯齿状缺刻，最后只剩主脉，腰果生长受阻，开花结果推迟（张中润等，2006）。

### 3 生物学特性

#### 3.1 个体发育和生活史

枣飞象在我国1年发生1代，以幼虫在枣园土壤中越冬，超过70%的幼虫越冬范围为距离树干0~100 cm内（张锋等，2017）。枣飞象生活史如图1所示，在陕北佳县枣区，越冬幼虫3月中旬开始向土壤上方移动，3月下旬做土室化蛹，4月上旬为化蛹盛期，成虫最早见于4月中旬，4月下旬至5月上旬为羽化盛期，5月末为羽化末期（张鹏，2023）。该虫的生活史会随温度不同会产生变化，同一地区温度不同也会发生变化，近年来随着全球温度升高。枣飞象的羽化和当地温度和降雨有密切关系，一般当地温度较高羽化早，温度较低羽化迟，降雨后羽化明显推迟（师光禄等，2000；张锋等，2017）。枣飞象羽化出土后，趴在地面的草丛中，待上午气温升高后，由地面爬上枣树，取食枣芽或嫩叶补充营养，成虫喜欢中午前后活动危害，危害的高峰期为早上11点至下午3点，当一株枣树取食殆尽后，往往在中午飞行迁移到未受害枣树进行危害（师光禄等，2000）。枣飞象成虫补充营养后开始进行交配，雌雄成虫有多次交尾的习性。枣飞象成虫于5月上旬开始产卵，通常将卵产于枣树翘皮、枣股、枝痕裂缝、枣叶等处，产卵时间多为白天，产卵的高峰期为上午10点至下午4点，每只雌虫一生产卵3~6堆，产卵量为40~100多粒，雌成虫寿命33~65 d，雄成虫寿命25~49 d（师光禄等，2000；阎雄飞等，2021）。室内饲养表明，枣树品种对成虫寿命和繁殖有明显影响，取食木枣的雌、雄虫平均寿命最长，分别为36.6 d和32.3 d，取食酸枣雌、雄虫平均寿命最短，分别为29.8 d和25.6 d，取食木枣成虫产卵量显著高于赞皇枣、骏枣、狗头枣和酸枣。（阎雄飞等，2021）。5月中旬卵开始孵化，卵历期为9.5~13.8 d，卵孵化后幼虫很快坠落于地上，然后钻入土壤中，开始取食植物地下组织；8月中旬在土壤中做土室准备越冬，通常在10月下旬幼虫进入越冬状态，会因当地温度变化而不同（师光禄等，2000；张鹏，2023）。

#### 3.2 种群的空间分布

昆虫种群的空间分布是其种群在一定空间内个体扩散分布的形式，是昆虫个体间相互作用及与环境互相适应的结果（丁岩钦，1980）。昆虫种群的分布型用扩散系数、丛生指数、久野指数和聚块性指标等聚集度指标值进行判定，其空间分布型因物种、虫期、虫龄、种群密度和环境条件而异（徐汝梅和成新跃，2005）。目前已经报道了枣飞象越冬幼虫和成虫的空间分布型，枣飞象越冬幼虫在河南西华县枣园土壤中呈聚集型分布，大部分集中于树冠下 1.5 m 范围，深度为 0~10 cm 的土层中（黄维正和李东成，1993），在陕北枣园土壤中的各个样地的扩散系数  $C > 1$ ，丛生指数  $I > 0$ ，负二项分布值  $K > 0$  且  $< 8$ ，久野指数  $C_A > 0$ ，扩散型指数  $P > 1$ ，聚块性指标  $L > 1$ ，也表明该象甲越冬幼虫在土壤中空间分布型为聚集分布（阎雄飞等，2014）。枣飞象成虫在江苏丰县桑树上的空间分布型为奈曼分布（张纪林和李淑琴，1986），在陕北枣树上空间分布型为聚集分布（洪波等，2017；阎雄飞等，2019），该象甲分布的基本成分是个体间相互吸引的个体群，其聚集性随密度的增大而增加，聚集均数  $\lambda > 2$ ，说明该象甲群聚集原因是由于自身的聚集习性和某些环境因素引起（阎雄飞等，2019）。

### 3.3 遗传多样性

枣飞象在我国北方大部分枣区均有成灾报道，发生范围较广，研究其遗传多样性能预测其种群扩散来源和潜在的扩散路径，对该象甲的综合治理具有重要意义。枣飞象线粒体基因组全长为 16 472 碱基，包括 13 个蛋白质编码基因，22 个 tRNA 基因、2 个 rRNA 基因，共 37 个基因和 2 个非编码控制区。13 个蛋白质编码基因的起始密码子为 ATN，其中除了 *cob* 和 *nad1* 基因的完全终止密码子为 TAG 外，其余 11 个基因的完全终止密码子为 TA（A）。22 个 tRNA 基因除 *trnS1* 缺少 DHU 臂，均能形成典型的三叶草结构（张锋等，2019b）。枣飞象属于粗喙象亚科与南美果树象甲 *Naupactus xanthographus* 在系统发育树中聚为同一分支（Zhang *et al.*, 2017；张锋等，2019b）。在枣飞象不同地理种群差异和遗传分化方面，利用微卫星标记技术对山西、陕西、宁夏、河北和河南 5 个省份的 10 个枣飞象地理种群进行了遗传多样性分析，发现山西柳林种群的遗传多样性最高，宁夏同心种群的遗传多样性最低，山西柳林、山西永和、陕西神木、陕西佳县和陕西延川种群为一组，陕西阎良、河南灵宝和宁夏同心种群为一组，河南新郑和河北沧州种群为一组，陕西佳县和神木种群与山西柳林和永和种群为一组，各地理种群之间遗传分化是由地理隔离引起，虽排除了远距离迁飞形成的基因交流，基因交流是影响种群遗传分化重要因子（洪波等，2019）。鉴于此，在将来的研究中仍然需要通过增加枣飞象的采集的地点和使用更多分子标记，以更全面掌握枣飞象种地理种群基因信息，以明确其种群在我国的扩散传播路径。

### 3.4 触角传感器和嗅觉机制

昆虫嗅觉对其寻找寄主、交配、产卵、躲避敌害等重要生命活动中起着重要作用，对其生存和种群繁衍具有重要的意义（闫凤鸣，2011），深入探索枣飞象的嗅觉感受机制，将为发展高效的嗅觉行为绿色技术提供新的思路和参考。触角是昆虫的主要嗅觉器官，表面着生有大量不同类型的嗅觉传感器，主要感受外界的化学气味分子（闫凤鸣，2011）。枣飞象触角具有鳞形感器（*Sensilla squamiformia*, Ss）、毛形感器（*Sensilla trichoid*, St）、刺形感器（*Sensilla chaetica*, Sch）、锥形感器（*Sensilla basiconic*, Sb）、芽孢形感器（*Sensilla gemmiformium*, Sg）等7类13种类型传感器和表皮孔（张锋等，2019a；阎雄飞等，2024），其中毛形感器和锥形感器为典型的嗅觉传感器，雌雄成虫之间触角传感器的类型无差异，传感器数量上雌虫多于雄虫（阎雄飞等，2024）。

枣飞象对化学气味分子的识别和感受离不开相关的气味结合蛋白和化学感受蛋白。枣飞象第一个气味结合蛋白（*Odorant-binding proteins*, OBPs）被报道，其编码基因 *PyasOBP2*，该嗅觉基因在触角中表达量较高，而在其他组织中的表达量很低，同时测定了 *PyasOBP2* 与38种枣树挥发物的结合特性，发现 *PyasOBP2* 有很广泛的结合活性，其中与丁酸乙酯、2-甲基-1-苯基丙烯和D-柠檬烯这3种气味挥发物的结合能力最强（Hong *et al.*, 2022）。随后化学感受蛋白（*Chemosensory proteins*, CSP）编码的 *PyasCSP4* 基因被报道，*PyasCSP4* 在触角和翅中的表达量显著高于头、足、胸和腹的表达量，可以与25种枣树挥发物结合，其中与 $\alpha$ -蒎烯、 $\alpha$ -水芹烯和罗勒烯等的结合能力最强，推测这些物质可能在枣飞象寄主识别和定位的过程中发挥重要作用（洪波等，2022b）。

迄今为止，通过对枣飞象雌雄成虫触角转录组的测序分析，鉴定出113个参与化学感受功能蛋白，包括41个气味受体（*Odorant receptors*, ORs）、28个气味结合蛋白、16个离子型受体（*Ionotropic receptors*, IRs）、15个化学感受蛋白、9个味觉受体和4个感觉神经元膜蛋白（*Sensory neuron membrane protein*, SNMP）。20个 *PyasOBPs* 和13个 *PyasCSPs* 在触角中的表达量显著高于体内，说明它们可能具有嗅觉功能的基因。*PyasOBP6*、*PyasOBP7*、*PyasOBP16*、*PyasOBP21* 和 *PyasCSP4* 在雌虫触角中高度表达，表明它们可能参与了一些雌成虫的交尾、产卵等特异性行为（洪波等，2022a，2022b；Hong *et al.*, 2023）。

## 4 综合防治技术

目前关于枣飞象防治技术主要依靠化学农药防治，也使用粘虫胶等物理防治和深翻枣

园土壤等农业防治措施，生物防治基本还处于小范围试验阶段。近年来，随着人们对鲜食枣、干枣、枣叶茶等农产品质量要求的提高和保护生态环境意识的增强，在枣飞象的防治技术方面，日益重视绿色防控为主的综合防治技术。

#### 4.1 农业防治

农业防治是早期有效防治枣飞象象的最重要措施。(1) 深翻枣园土壤。3月下旬，成虫出土前用犁耕地等工具翻土大约 30 cm，使得越冬幼虫或蛹翻出地面，导致其失水死亡或被鸟类等天敌捕食，从而压低虫口数量。10月下旬至11月上旬，土壤上冻以前，深翻相同深度，土壤的幼虫失水或冷冻致死，降低幼虫越冬数量(师光禄等，2000；张锋等，2016)。(2) 铺设地膜。利用枣飞象越冬幼虫在树干周围聚集越冬的习性，在集约经营的枣园，春季围绕树干铺设直径为 0.8~1.0 m 的塑料地膜，阻隔枣飞象出土后危害，能够减低枣飞象虫口基数。(3) 适时灌水。在陕西和山西的枣园中调查发现，枣飞象幼虫数量山地高于滩地，阳坡高于阴坡，推测造成这种差异的原因为该象甲幼虫喜欢干燥，不耐高湿(张锋等，2017)。利用枣飞象幼虫这种习性结合枣树需水特点，适时灌水导致幼虫溺水死亡，减少枣飞象虫口基数。(4) 避免多寄主阔叶树种混栽。在枣园周围或者附近，尽量避免栽植蔷薇科、榆科、杨柳科、胡桃科等可能为枣飞象提供食料的寄主树木，防止该象甲在提供食物寄主间转移为害，导致防治难度加大(师光禄等，2000)。(5) 选用抗虫树种。有学者报道叶片蜡质层厚、可溶性糖含量低、单宁和总酚含量高的枣树品种属于抗枣飞象品种，相关研究处于试验阶段，至今尚未培育出抗枣飞象的枣树品种(张鹏，2023)。

#### 4.2 物理防治

物理防治是控制枣飞象成虫数量的一种重要措施。利用该虫的假死性、趋色性、上树补充营养等习性进行防治。枣飞象成虫具有假死习性，通常在早晨或傍晚寄主受到震动后，立刻表现为身体蜷缩，从原来的停留处跌落，呈现“死亡”状态。枣农经常枣园铺设塑料布或帆布，振动或晃动枣树，集中人工捕杀或毒杀落地假死成虫。枣飞象羽化出土后往往爬行上树补充营养，将枣树树干中上部用镰刀等工具刮去树皮，在光滑处涂抹粘虫胶、机油或缠绕胶带，对枣飞象有很好的控制效果(郭小军等，2007；李梦钗等，2007；张锋等，2015b)。枣飞象对黄绿颜色具有很强的趋向性。在陕北枣园使用不同颜色带引诱剂的诱捕器诱集该象甲成虫，结果表明：黄绿色诱捕器效果最好，而黄色最差(阎雄飞等，2020b)。采用黄、黑、红、白、黄绿等 6 种颜色粘虫板用来诱捕成虫，也发现黄绿色粘虫板诱集效果最好(景瑞等，2021)。此外，粘虫板的悬挂方位、高度和密度均能影响枣飞象的诱集效果，黄绿色粘虫版悬挂与枣树的正南方距离地面 0.8~1.2 m，每 667 m<sup>2</sup> 设置 20 张的组合可



用于枣飞象成虫的大田监测和控制（景瑞等，2021）。但是在实际的田间操作中，往往存在粘虫板容易被风吹落，整体成本相对较高、容易误杀天敌和传粉昆虫等问题，鉴于此，开发出高效、成本较低、靶标相对专一的诱捕装置仍然是今后研发的方向。

### 4.3 生物防治

生物防治是指利用有益生物、代谢产物和各种生物活性物质控制有害昆虫的一种方法。该方法靶标相对专一，具有引起害虫产生抗药性、再猖獗、对环境和农林作物安全等优点。在山东东明县枣园调查发现，捕食枣飞象的鸟类有：大斑啄木鸟 *Dendrocopos major*、红尾伯劳 *Lanius cristatus*、画眉 *Garrulax canorus*，捕食性昆虫有蠋蝽 *Arma custos*、清雅星布甲 *Calosoma cyanescens*、多疣蝽 *Cazira verrucosa*，寄生性天敌昆虫有：象甲曲姬蜂 *Scambus* sp.，病原微生物有：白僵菌 *Beauveria* spp.和苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*（刘志强等，2005），上述研究停留在调查和室内试验阶段，未进行深入研究。在引诱剂方面，关于枣飞象聚集信息素和性信息素等方面几乎未见报道，仅在其植物源引诱剂即枣树挥发物引诱剂方面开展了大量的研究。枣芽挥发物对该象甲具有明显吸引作用（王晶玲等，2017）。室内研究表明：枣芽挥发出的化合物即罗勒烯、 $\alpha$ -法尼烯、壬醛和棕榈酸甲酯4种化合物对该象甲成虫有明显引诱作用，随后用罗勒烯和 $\alpha$ -法尼烯制成3种植物源引诱剂，进行大田诱集试验，发现罗勒烯与法尼烯体积比为1:1配制的引诱剂对枣飞象的田间诱集效果最好（阎雄飞等2017，2020a，2020b）。因此，枣飞象生物防治的天敌资源开发、病原微生物、性信息素、聚集信息素等方面，仍然是未来研究和取得突破的主要方向。

### 4.4 化学防治

化学防治仍然是防治枣飞象最重要和有效的防治技术，主要原因是枣飞象严重发生时，化学杀虫剂能够迅速减低虫口数量，避免目标寄主植物收到侵害。针对枣飞象的化学防治主要有3种即毒草绳绑树干法、树冠打药法和地面毒土法。

毒草绳绑树干法。用化学杀虫剂例如敌敌畏、氧化乐果等高毒农药浸泡草绳或麻绳，用镰刀等工具刮去树干中上部翘皮，将带药的草绳或麻绳绑在树干光滑处，用塑料布喇叭口朝下，罩住浸药的草绳，以防浸药草绳淋雨失去药效和枣飞象直接上树，间隔大约1周，再次用药剂浸泡上药（李东成等，1984）。毒草绳绑树干法简单有效，浸泡草绳需要高毒触杀农药，且要投入的劳动力较大，目前很少使用。但是在劳动力资源充足，耕作不方便，树型高大的干旱山区枣园，用溴氰菊酯替代高毒农药，也有一定效果，但是用药量需要进一步研究（刘钊，2010）。

地面毒土法。在枣飞象出土的羽化期，用触杀化学药剂和细土按照一定比例混合，撒

于树干 1 m 范围内，或沿树干基部形成药环，宽度 4~5 cm。例如用辛硫磷颗粒或溴氰菊酯粉剂等杀虫剂、按照一定比例配制成毒土，用铁锹散布与寄主树干大约 1 m 范围可有效控制该有害生物（张锋等，2016）。本方法操作方便，比较高效，兼治地下害虫，但容易对土壤造成污染，适用于枣飞象越冬幼虫虫口密度很高的枣园。

树冠打药法。目前用于树冠打药进行防治枣飞象的药剂有苦参碱、阿维菌素、印楝素、高效氯氰菊酯、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、高效氯氟氰菊酯、啉虫脒等（高永强等，2009；唐学亮等，2013；张锋等，2015a；杨斌等 2019），上述杀虫剂对该象甲成虫均有一定田间防治效果，其中阿维菌素和高效氯氰菊酯田间防治效果最好（张锋等，2015a；杨斌等，2019）。树冠打药法是防治枣飞象最常规方法，容易对环境造成污染，适用于成虫羽化高峰期和上树后防治。

目前现有的化学防治方法几乎都使枣飞象产生了不同程度抗性，在今后要减少使用农药、注重轮换使用不同作用机理的杀虫剂、杀虫剂的混配和使用新型农药，以防止枣飞象产生抗性。

## 5 结语和展望

枣飞象作为枣树的重要害虫，每年对我国黄河沿岸陕西和山西红枣产区造成了巨大经济损失，严重影响当地红枣产业的可持续发展。鉴于该虫为害的严重性，引起科技工作者的高度关注，但该象甲生活习性独特、获取虫源受季节限制，加之人工饲养困难等因素影响，造成该象甲研究进展比较缓慢，缺乏绿色精准的防控技术。迫切需要在如下方面开展深入研究：

明确枣飞象生物学特性和重要行为习性是研发绿色防控技术的基础。目前在枣飞象生物学特性和重要行为方面虽取得一定的进展，关于枣飞象卵、幼虫的个体发育、成虫的取食范围、聚集、交配、产卵等行为并不完善，枣飞象天敌资源、病原微生物、性信息素、聚集信息素等方面尚属空白，温湿度等环境因子、杀虫剂对枣飞象种群动态的影响，仍需进一步研究。此外，基于枣树挥发物主导的枣飞象寄主定向化学通讯机制已经取得较大进展，具有生物活性的信息物质和嗅觉分子机制已经被解析，为发展植物源引诱剂为主的生物防治技术提供了依据。

在枣飞象的控制技术方面，我国目前主要依赖化学防治和物理防治，但为了保障红枣产品的安全和我国枣园的可持续发展，我国越来越重视精准的绿色防控技术。在农业防治方面，加强研究枣园翻地、灌溉、覆膜等农业防治措施和虫口密度关系，同时加快抗枣飞

象枣树品种的筛选、鉴定和利用。目前随着枣树基因组资源的解析，枣树的抗虫性基因被挖掘，通过分子生物技术和育种技术相结合，培育出具有抗虫特性的枣树品种，是防治枣飞象最有前景的防治措施。在物理防治方面，升级现有的防治技术。传统粘虫板、粘虫胶和诱捕器对天敌会造成一定的影响，研究出高效、成本低、靶标专一和环境友好的物理防控产品和技术，符合我国对绿色或有机枣果生产的要求。在生物防治方面，筛选和利用高效生防菌和天敌昆虫。例如绿僵菌和白僵菌两种生防菌是针对地下为害昆虫应用有效和最广的昆虫病原菌（严森等，2023），并且有利用白僵菌成功控制带木蠹象甲 *Pissodes castaneus* 成功的报道（Iwona *et al.*, 2016）。由于枣飞象幼虫营地下生活，开展枣飞象田间生防真菌种类和高毒力菌株的筛选和鉴定对枣飞象的防治具有重要意义。利用植物源活性物质、性信息素、聚集信息素等成分研制出引诱剂，对枣飞象的监测和控制具有广阔的应用前景。因此，开展枣飞象生物防治是未来取得突破的重要研究方向。在化学防治方面，研发新型高效的环境友好型农药。目前对枣飞象的抗药机理尚属空白，深入研究该象甲的抗药机理，研发新型高效的环境友好型杀虫剂，有利于在枣飞象种群爆发时有效控制虫口密度，保障红枣的产量和品质。需要说明的是，单一某项防治技术，不能可持续控制枣飞象种群。因此，该象甲的可持续控制需要多种防控技术相结合，因此，构建枣飞象绿色防控技术体系，减少化学农药的使用，才能保障红枣产量和品质，促进枣树产业的安全生产。

#### 参考文献（References）

- Bai L. Pollution-free production technology of “Dapingding” jujube for fresh food in Chaoyang County [J]. *Northern Fruits*, 2017, 6: 24-25. [白利. 朝阳县鲜食‘大平顶’枣无公害生产技术 [J]. 北方果树, 2017, 6: 24-25]
- Cao HX, Gao XM, SONG XB. Investigation on the biological damages jujube in Qingjian county [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29 (6): 141-144. [曹海祥, 高晓媚, 宋晓斌. 清涧县枣树生物灾害调查与分析 [J]. 西北林学院学报, 2014, 29 (6): 141-144]
- Cao XZ. Occurrence and control of *Scythropus yasunatsui* on jujube tree [J]. *Hebei Fruits*, 2019, 1: 57. [曹晓壮. 食芽象甲在枣树上的发生规律与防治方法 [J]. 河北果树, 2019, 1: 57]
- Ding YQ. Population mathematical principles and application of insect ecology [M]. Beijing: Science Press, 1980: 84-124. [丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 84-124]
- Du XD. Biological characteristics and control of *Scythropus yasunatsui* [J]. *Shanxi Fruits*, 2007, 2: 43. [杜仙当. 枣飞象生物学特性及防治 [J]. 山西果树, 2007, 2: 43]
- Duan X. Pest and disease control of papaya in Tongbai mountainous area [J]. *Deciduous Fruit Trees*, 2007, 1: 27-29. [段霞. 桐柏山区木瓜的病虫害及其防治 [J]. 落叶果树, 2007, 1: 27-29]

- Fu JY. Studies on a mathematical model of economic threshold and mating behavior of *Scythreps yasumatsui* Kono et Morimoto (Coleoptera:Curculionidae) [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University Master Thesis, 2000. [付建业. 枣飞象经济阈值模型与交配行为的研究 [D]. 太谷: 山西农业大学硕士学位论文, 2000]
- Gao LN, Wang LX, Yang YQ, *et al.* Preliminary investigation of *Scythropus yasumatsui* [J]. Forest Science and Technology, 1977, 8: 81. [高犁牛, 王来喜, 杨有乾, 等. 枣飞象的初步调查研究 [J]. 林业科技通讯, 1977, 8: 18]
- Guo F, Wang DC. Occurrence and control of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Jiangsu Sericulture*, 2007, 2: 35. [郭飞, 王敦崇. 桑飞象虫的发生与防治 [J]. 江苏蚕业, 2007, 2: 35]
- Guo XJ, Wen XJ, Han HZ, *et al.* Applied technique of the sticky insect glue [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43 (9): 31-37. [郭小军, 温秀军, 韩会智, 等. 粘虫胶的应用技术 [J]. 林业科学, 2007, 43 (9): 31-37]
- Hong B, Chang Q, Zhai YY, *et al.* cDNA cloning, expression and ligand binding properties of the chemosensory protein PyasCSP4 in *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022b, 65 (7): 831-842. [洪波, 常青, 翟颖妍, 等. 枣食芽象甲化学感受蛋白 PyasCSP4 的基因克隆、表达及配体结合特征 [J]. 昆虫学报, 2022a, 65 (7): 831-842]
- Hong B, Chang Q, Zhai YY, *et al.* Cloning and tissue expression profiling of the odorant receptor co-receptor gene in jujube bud weevil *Pachyrhinus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022a, 49 (4): 1143-1152. [洪波, 常青, 翟颖妍, 等. 枣食芽象甲非典型气味受体基因的克隆及组织表达谱分析 [J]. 植物保护学报, 2022b, 49 (4): 1143-1152]
- Hong B, Zhai Y, Yang Y, *et al.* Identification and sex-specific expression of chemosensory genes in the antennal transcriptomes of *Pachyrhinus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Journal Insect Science*, 2023, 23 (2): 1-13.
- Hong B, Zhang F, Chen ZJ, *et al.* Analysis of the genetic diversity of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) populations in China based on microsatellite markers [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019, 62 (3): 381-390. [洪波, 张锋, 陈志杰, 等. 基于微卫星标记的中国枣食芽象甲地理种群遗传多样性分析 [J]. 昆虫学报, 2019, 62 (3): 381-390]
- Hong B, Zhang F, Li YM, *et al.* Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto adults in jujube orchard of Northern Shaanxi [J]. *Plant Protection*, 2017, 43 (6): 113-117, 122. [洪波, 张锋, 李英梅, 等. 食芽象甲成虫在陕北枣园的空间分布格局 [J]. 植物保护, 2017, 43 (6): 113-117, 122]
- Hong Bo, Chang Q, Zhai YY, *et al.* Functional characterization of odorant binding protein PyasOBP2 from the jujube bud weevil, *Pachyrhinus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13: 900752.
- Huang WZ, Li DC. Study on spatial distribution pattern overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1993, 30 (6): 348-350. [黄维正, 李东成. 枣飞象越冬幼虫空间分布格局的研究 [J]. 昆虫知识, 1993, 30 (6): 348-350]
- Iwona S, Elzbieta PN, Robert W, *et al.* The role of fungus *Beauveria bassiana* in reducing the number of *Pissodes castaneus* (Col., Curculionidae) in young forests [J]. *Folia Forestalia Polonica*, 2016, 58 (4): 214-219.
- Jia ZB, Liu QX, Liu HY. Preliminary observation on the life habit of and its control *Scythropus yasumatsui* [J]. *Journal of Gansu Forestry*

- Science and Technology*, 1991, 2: 49-50. [贾增波, 刘启雄, 刘鸿源. 枣芽象甲生活习性初步观察及其防治 [J]. 甘肃林业科技, 1991, 2: 49-50]
- Jiang X X. Study on occurrence regularity and ecological niche of main pests in Akesu jujube [D]. Urumchi: Xinjiang Agricultural University Master Thesis, 2014. [蒋晓晓. 阿克苏枣树主要害虫的发生规律与生态位研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文, 2014]
- Jing R, Yan XF, Zhang P, *et al.* Relative effectiveness of different colored sticky cards and hanging modes for trapping *Scythropus yasumatsui* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2021, 58 (6): 1426-1432. [景瑞, 阎雄飞, 张鹏, 等. 粘虫板颜色和悬挂方式对枣飞象诱集效果的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2021, 58 (6): 1426-1432]
- Kono H, Morimoto K. Curculionidae from Shanshi, North China. (Coleoptera) [J]. *Mushi*, 1960, 34 (2): 71-87.
- Li DC, Du JF, Qin GX, *et al.* Poison grass rope control of *T. Sucra jujuba* and *Scythropus yasumatsui* [J]. *Forest Pest and Disease*, 1984, 4: 22. [李东成, 杜建丰, 秦桂香, 等. 毒草绳防治枣尺蠖和枣飞象 [J]. 森林病虫害通讯, 1984, 4: 22]
- Li KS, Tang GH. Discussion on forest insects regionalization in Shaanxi Province [J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 1980, 1: 37-47, 34. [李宽胜, 唐国恒. 陕西省林区划探讨 [J]. 陕西林业科技, 1980, 1: 37-47, 34]
- Li MC, Hao JW, Wen XJ, *et al.* Experimental study on control of pest of jujube tree with sticky insect glue [J]. *Hebei Forest Technology*, 2007, 6: 4-7. [李梦钗, 郝建伟, 温秀军, 等. 无公害粘虫胶防治枣树害虫试验研究 [J]. 河北林业科技, 2007, 6: 4-7]
- Li N, Gong ZX, Cheng GQ. Investigation and comprehensive control of main pests of jujube tree in Boxing County [J]. *Deciduous Fruit Trees*, 2011, 43 (6): 34-37. [黎宁, 宫朝霞, 程国旗. 博兴县枣树主要害虫调查及综合防治 [J]. 落叶果树, 2011, 43 (6): 34-37]
- Li SQ, Zhang JL. A new pest *Scythropus yasumatsui*, a new pest on *Morus alba* [J]. *Bulletin of Sericulture*, 1984, 3: 44-45. [李淑琴, 张纪林. 桑树新害虫桑飞象 [J]. 蚕桑通报, 1984, 3: 44-45]
- Li SQ, Zhang JL. A preliminary study on the biological characteristics and control of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Acta Sericologica Sinica*, 1985, 3: 134-140, 3-4. [李淑琴, 张纪林. 桑飞象生物学特性及防治的初步研究 [J]. 蚕业科学, 1985, 3: 134-140, 3-4]
- Li ZQ, Guo LM, Chen HJ, *et al.* Occurrence and comprehensive control of main diseases and insect pests of jujube in Northern Henan Province [J]. *China Fruits*, 2006, 3: 45-46, 49. [李志清, 郭利民, 陈汉杰, 等. 豫北地区枣树主要病虫害发生动态及综合防治 [J]. 中国果树, 2006, 3: 45-46, 49]
- Liu C, Tian HG, Yang H. A review of research on jujube pests in northern China [J]. *Journal of Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2019, 60 (7): 27-31+34. [刘超, 田会刚, 杨慧. 中国北方枣树害虫研究综述 [J]. 宁夏农林科技, 2019, 60 (7): 27-31+34]
- Liu GS. The life habit and control of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Shanxi Forest Science and Technology*, 1991, 20 (3): 49 [刘光生. 枣飞象生活习性及其防治 [J]. 山西林业科技, 1991, 20 (3): 49]
- Liu Z. Experimental study on comprehensive control of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Modern Rural Science and Technology*, 2010, 3: 53

- [刘钊. 枣食芽象甲综合防治试验研究 [J]. 现代农村科技, 2010, 3: 53]
- Liu ZQ, Liu ZH, Li DM. Study on biological characteristics and comprehensive control of *Scythropus yasumatsui*. Proceedings of the 4<sup>th</sup> National Symposium on Dried Fruit Production and Scientific Research Progress [C]. Taian: China Agricultural Science and Technology Press, 2005: 303-305. [刘志强, 刘志红, 李冬梅. 枣芽象甲害虫的生物学特性与综合防治研究. 第四届全国干果生产、科研进展研讨会论文集 [C]. 泰安: 中国农业科学技术出版社, 2005: 303-305]
- O'Brien CW, Wibmer GJ. Annotated checklist of the weevils (Curculionidae Sensu Lato) of North America, Central America, and the West Indies (Coleoptera: Curculionidae), Memoirs of the American Entomological Institute Number 34 [M]. Ann Arbor: The American Entomological Institute, 1982: 382.
- Ren DZ, Qi XY. Preliminary study on the control of *Scythropus yasumatsui* in Northern Shaanxi [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 13 (6): 40-41. [任登州, 齐向英. 陕北地区枣食芽象防治初探 [J]. 河北农业科学, 2009, 13 (6): 40-41]
- Schönherr CJ. Curculionidum desposito methodica cum generum characteribus, descriptionibus atque observationibus variis, seu prodromus ad synonymiae insectorum partum IV [M]. apud Fridericum Fleischer., 1826: 338.
- Schönherr CJ. Tabula synoptica familiae Curculionidum [J]. *Isis von Oken*, 1823, 10: 556-573.
- Shi GL, Fan BH, Jia FB, et al. Studies on the occurrence and copulation behavior of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. In: Li DM, eds. Chinese Entomology towards the 21<sup>st</sup> Century-The Chinese Society of Insects in 2000 Academic Essays [C]. Yichang: China Science and Technology Publishing House, 2000: 589-593. [师光禄, 樊宝华, 贾光彪, 等. 枣飞象发生规律及交配行为的研究. 见: 李典谟主编 中国昆虫学会. 走向 21 世纪的中国昆虫学——中国昆虫学会 2000 年学术年会论文集 [C]. 宜昌: 中国科学技术出版社, 2000: 589-593]
- Shi ZL. Occurrence regularity and control measures of main pests in jujube [J]. *Henan Agriculture*, 2024, 13: 44. [石兆良. 枣树主要害虫发生规律及防治措施 [J]. 河南农业, 2024, 13: 44]
- Tang XL, Zhao HZ, Zhang XW. Techniques for the control of *Scythropus yasumatsui* in the Northern Shaanxi [J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2013, 4: 131-132. [唐学亮, 赵宏志, 张学武. 陕北枣树食芽象甲防治技术研究 [J]. 陕西林业科技, 2013, 4: 131-132]
- Wang J. Study on living habits and occurrence rules of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2016, 9: 90, 112. [王晶. 枣树食芽象甲生活习性与发生规律研究 [J]. 防护林科技, 2016, 9: 90, 112]
- Wang JL, Hong B, Chen ZJ, et al. The olfactory response of *Scythropus yasumatsui* to volatiles of different jujube cultivars [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (6): 1273-1280. [王晶玲, 洪波, 陈志杰, 等. 食芽象甲对不同品种枣树植物挥发物的嗅觉反应 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (6): 1273-1280]
- Xiao GR, Li ZY. Forest Entomology in China. 3<sup>rd</sup> ed [M]. Beijing: China Forestry Press, 2020. [萧刚柔, 李镇宇. 中国森林昆虫 (第 3 版) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2020]

- Xu RM, Cheng XY. Insect Population ecology: Basis and Preface [M]. Beijing: Science Press, 2005. [徐汝梅, 成新跃. 昆虫种群生态学—基础与前言 [M]. 北京: 科学出版社, 2005]
- Yan FM. Chemical Ecology (2<sup>nd</sup> Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2011: 44-85. [闫凤鸣主编. 化学生态学(第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 44-85]
- Yan S, Ren XY, Wang DJ, *et al.* The research progress on the effects of entomopathogenic fungi on natural enemies [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (1): 221-230. [严森, 任小云, 王登杰, 等. 昆虫病原真菌在害虫防治中对天敌生物的影响研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (1): 221-230]
- Yan XF, Li G, Liu YH, *et al.* Distribution pattern and sampling technique of overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui* Kono *et* Morimoto [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30 (31): 285-289. [阎雄飞, 李刚, 刘永华, 等. 枣食芽象甲越冬幼虫空间分布型和抽样技术研究 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (31): 285-289]
- Yan XF, Liu YH, Li G, *et al.* EAG and olfactory behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* to seven volatiles from the *Zizyphus jujube* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (4): 621-628. [阎雄飞, 刘永华, 李刚, 等. 枣飞象对枣树七种挥发物EAG和嗅觉行为反应 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (4): 621-628]
- Yan XF, Liu YH, Wang YW, *et al.* EAG and behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) to volatiles from the common jujube (*Zizyphus jujube*) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (8): 981-991. [阎雄飞, 刘永华, 王亚文, 等. 枣飞象对枣树植物挥发物的EAG和行为反应 [J]. 昆虫学报, 2020a, 63 (8): 981-991]
- Yan XF, Pu TX, Li G, *et al.* Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* adults and sampling techniques for this species in the Jujube growing region of Northern Shaanxi [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (3): 585-594. [阎雄飞, 蒲泰勋, 李刚, 等. 枣飞象成虫在陕北枣区的空间分布型及抽样技术 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (3): 585-594]
- Yan XF, Wang YW, Li G, *et al.* Effects of different jujube cultivars on the longevity and reproduction of *Scythropus yasumatsui* adults [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (4): 1055-1060. [阎雄飞, 王亚文, 李刚, 等. 不同品种枣树对枣飞象成虫寿命和繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (4): 1055-1060]
- Yan XF, Wang YW, Li G, *et al.* Trapping efficacy of different attractants and traps on *Scythropus yasumatsui* adults in field [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2020b, 44 (4): 125-130. [阎雄飞, 王亚文, 李刚, 等. 不同配方引诱剂和诱捕器对枣飞象成虫田间诱集效果 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020b, 44 (4): 125-130]
- Yan XF, Yang LJ, Liu YH, *et al.* Ultrastructure of *Pcythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionida) antennal sensilla with scanning electron microscope [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2024, 48 (6): 245-251. [阎雄飞, 杨刘继, 刘永华, 李刚, 等. 枣飞象成虫触角感器的超微结构分析 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48 (6): 245-251]
- Yang B, Zhang N, Yan XF, *et al.* Control efficiency of several pesticides on *Scythropus yasumatsui* Kono *et* Morimoto [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2019, 47 (4): 668-672. [杨斌, 张楠, 阎雄飞, 等. 几种杀虫剂对枣飞象的防治效果 [J]. 山西农业科

- 学, 2019, 47 (4): 668-672]
- Zhang F, Hong B, Chen ZJ, *et al.* The complete mitochondrial genome of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Mitochondrial DNA Part B*, 2017, 2 (2): 718-719.
- Zhang F, Hong B, Li YM, *et al.* Forecast and control of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Northwest Horticulture*, 2016, 5: 32-33. [张锋, 洪波, 李英梅, 等. 枣食芽象甲测报与防治 [J]. 西北园艺 (果树), 2016, 5: 32-33]
- Zhang F, Hong B, Shen J, *et al.* Indoor toxicity tests and field control effects of different insecticides against *Scythropus yasumatsui* [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2015a, 61 (12): 56-58. [张锋, 洪波, 申健, 等. 不同杀虫剂对枣食芽象甲室内毒力和田间防治效果 [J]. 陕西农业科学, 2015a, 61 (12): 56-58]
- Zhang F, Hong B, Wang YZ, *et al.* Observation of antennal ensile from *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) with scanning electron microscope [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019a, 28 (8): 1373-1379. [张锋, 洪波, 王远征, 等. 枣食芽象甲触角感器的扫描电镜观察 [J]. 西北农业学报, 2019a, 28 (8): 1373-1379]
- Zhang F, Hong B, Wang YZ, *et al.* Sequencing and phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019a, 62 (11): 1305-1314. [张锋, 洪波, 王远征, 等. 枣食芽象甲线粒体基因组全序列测定与系统发育分析 [J]. 昆虫学报, 2019b, 62 (11): 1305-1314]
- Zhang F, Hong B, Zhang SL, *et al.* Population dynamics and distribution of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 63 (1): 38-41. [张锋, 洪波, 张淑莲, 等. 枣食芽象甲种群动态及田间分布规律研究 [J]. 陕西农业科学, 2017, 63 (1): 38-41]
- Zhang F, Yang MM, Hong B, *et al.* Evaluation on the effect of sticky tape for the control of insects pest of jujube trees [J]. *Acta Agraria Boreali-Occidentalis Sin.*, 2015b, 24 (4): 96-100. [张锋, 杨苗苗, 洪波, 等. 防控胶带对枣树害虫的防治试验 [J]. 西北农业学报, 2015b, 24 (4): 96-100]
- Zhang HP, Shen RQ, Kang PZ. Occurrence, damage and risk analysis of *Scythropus yasumatsui* in jujube orchard in Ningxia [J]. *China Fruits*, 2015, 2: 381-390. [张华普, 沈瑞清, 康萍芝. 食芽象甲在宁夏枣园的发生危害及风险分析 [J]. 中国果树, 2015, 2: 381-390]
- Zhang JL, Li SQ. Study on the spatial distribution pattern and sampling technology of *Scythropus yasumatsui* [J]. *Acta Sericologica Sinica*, 1986, 12 (2): 69-71. [张纪林, 李淑琴. 桑飞象空间分布型及抽样技术的研究 [J]. 蚕业科学, 1986, 12 (2): 69-71]
- Zhang P, Yang J, Yan XF, *et al.* Olfactory behavioral responses of *Pachyrhinus yasumatsui* to volatiles of different varieties of jujube trees [J]. *Journal of Agriculture*, 2023, 13 (8): 63-68. [张鹏, 杨杰, 阎雄飞, 等. 枣飞象对不同枣树品种挥发物的嗅觉行为反应 [J]. 农学学报, 2023, 13 (8): 63-68]
- Zhang P. Study on the Resistance of Different Jujube Varieties to *Pcythropus yasunatsui* [D]. Yulin: Yulin University Master Thesis, 2023. [张鹏. 不同枣树品种对枣飞象的抗性研究 [D]. 榆林: 榆林学院硕士学位论文, 2023]
- Zhang ZR, Luo YM, Liang LH. Detection of contact toxicity of several chemical pesticides against cashew bud-eating weevil in the



- laboratory [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2006, 25 (5): 14-16. [张中润, 罗永明, 梁李宏. 几种杀虫剂对腰果害虫食芽象甲触杀毒力测定 [J]. 热带农业科学, 2006, 25 (5): 14-16]
- Zhang ZY, Yan CY. The occurrence and control of *Scythropus yasumatsui* in Xianxian, Hebei Province [J]. *Practical Technology Information Fruits*, 2011, 2: 35. [张泽勇, 闫春艳. 枣树食芽象甲在河北献县的发生规律与防治技术 [J]. 果树实用技术与信息, 2011, 2: 35]
- Zhang ZZ, Li HH, Wu ZH, *et al.* Preliminary Study on elm pests in Beijing [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1984, 3 (3): 36-39. [张执中, 李后魂, 吴智慧, 等. 北京市榆树害虫初步研究 [J]. 北京林学院学报, 1984, 3 (3): 36-39]
- Zhang, JH, Ma JH. Comprehensive control calendar of major diseases and pests of *Ziziphus jujuba* in Tianjin area [J]. *Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry*, 2002, 6: 13-15. [张金海, 马金河. 天津地区枣树主要病虫害综合防治历 [J]. 天津农林科技, 2002, 6: 13-15]
- Zhao YC, Chen YQ. Coleopteran, Curculionidae I. Economic Entomology of China Volume. 20 [M]. Beijing: Science Press, 1980: 63. [赵养昌, 陈元清. 中国经济昆虫志, 第二十册: 鞘翅目象虫科I [M]. 北京: 科学出版社, 1980:63.]