生态自控光肩星天牛灾害的研究专栏

生态自控光肩星天牛灾害的研究基础与展望*

李呈澄[1**] 任利利[1] 王立祥[2] 裴佳禾[1] 宗世祥[1] 骆有庆[1***]

（1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室，北京 100083；2. 甘肃农业大学植物保护学院，兰州 730070）

摘 要 光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 是危害多种阔叶树的国际重大蛀干害虫，原产东北亚，现已入侵欧美多个国家，危害严重，控制难度大。在我国，21 世纪初传入甘肃西部、新疆等西北地区。沙枣 *Elaeagnus angustifolia* 是我国西北地区的本土树种，具有对光肩星天牛成虫的高效诱引、对天牛子代卵和初孵幼虫的强力杀灭作用，即光肩星天牛在沙枣上刻槽产卵，受到刺激的沙枣在刻槽处分泌大量树胶并可将 99%以上的天牛卵和初孵幼虫包裹致死。在文献综述的基础上，本文系统梳理了沙枣作为诱杀树生态自控光肩星天牛灾害的相关研究进展：（1）国内外应用诱杀植物生态防控植食性害虫的研究进展；（2）沙枣高效诱杀光肩星天牛的功能描述；（3）将沙枣作为诱杀树生态自控光肩星天牛的研究进展；（4）利用沙枣生态自控光肩星天牛灾害的防控策略、技术路径和应用前景。

关键词 光肩星天牛；诱杀树；沙枣；生态自控；诱杀植物

Research foundations and prospects for ecological self-control of Asian longhorned beetle disasters

LI Cheng-Cheng[1**] REN Li-Li[1] WANG Li-Xiang[2] PEI Jia-He[1] ZONG Shi-Xiang[1] LUO You-Qing[1***]

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Gansu 730070, China)

Abstract *Anoplophora glabripennis*, commonly known as the Asian longhorned beetle, is a highly destructive wood-boring pest that targets a wide range of broad-leaved trees, posing a severe threat to forestry. There are significant challenges to controlling this pest. Native to northeastern Asia, *A. glabripennis* has now spread to multiple countries across Europe and North America. In China, it spread to northwestern regions, such as Gansu and Xinjiang, in the early 21st century. *Elaeagnus angustifolia* (the Russian olive), a native tree species in northwestern China, is highly attractive to adult *A. glabripennis* for oviposition. However, Russian olive trees respond to the oviposition scars created by *A. glabripennis* by secreting copious amounts of gum, thereby encapsulating and killing over 99% of larvae. This paper reviews current research on the use of *E. angustifolia* as a natural trap to control *A. glabripennis*, focusing on the following key areas: (1) Recent progress in the ecological control of herbivorous pests through the use of dead-end trap plants; (2) The efficacy of *E. angustifolia* in attracting and controlling *A. glabripennis*; (3) Progress using *E. angustifolia* as a dead-end trap tree for the ecological self-regulation of *A. glabripennis*; and (4) The strategies, technical pathways, and future prospects of using *E. angustifolia* for the ecological self-regulation of damage caused by *A. glabripennis*.

Key words *Anoplophora glabripennis*; dead-end trap tree; *Elaeagnus angustifolia*; ecological self-control; dead-end trap plant

---

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2022YFD1401000）；国家自然科学基金（32371886）；国家林业和草原局揭榜挂帅项目（202401-10）

**第一作者 First author，E-mail：lcc311@bjfu.edu.cn

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

收稿日期 Received：2024-12-11；接受日期 Accepted：2025-01-03

光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis*，属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae，是全球关注的重大林木蛀干害虫，危害以杨、柳、榆、桦、槭等为主的多类阔叶树。光肩星天牛原产东北亚，随国际贸易传入北美及欧洲多国，包括美国（1996）、奥地利（2001）、法国（2003）、德国（2004）、意大利（2007）、土耳其（2014）、黎巴嫩（2015）、斯洛伐克（2016）、黑山（2017）等，在当地造成了严重危害，被列为国际重大检疫性害虫（Cavey *et al*., 1998; Cocquempot *et al*., 2003; Hérard *et al*., 2006; Haack *et al*., 2010; Sjöman *et al*., 2014）。在国内，光肩星天牛随苗木和木包装的调运不断传播扩散，北达黑龙江省哈尔滨市、西临新疆伊犁市，海拔高及西藏拉萨和日喀则等地（王志刚, 2004; 王艳平, 2006; 苏筱雨等, 2020）。目前，国内以西北地区，特别是三北防护林受光肩星天牛危害最为严重。以往对光肩星天牛灾害的生态调控技术体系中，主要技术为加强检疫、营林技术、物理防治、化学防治、生物防治等传统方法（骆有庆, 2005; 遇文婧和赵红盈, 2016; 陈树萍和刘英姿, 2021; Turgeon *et al*., 2022; Yan *et al*., 2022; Wang *et al*., 2023），在一定程度上存在成本高和持效性有限等问题。

骆有庆和李建光（1999a）提出了在林带中配植嗜食树种合作杨 *Populus simonii*×*Populus pyramidalis* cv、复叶槭 *Acer negundo* 和漳河柳 *Salix matsudana* 等作为诱饵树，明确了诱集距离、诱集效率和管护技术，得到广泛应用和推广。多树种合理配植增强了林分对天牛灾害的整体抗性，利用诱饵树诱集天牛并采取各种简便措施及时杀灭诱饵树所诱集的天牛成虫，持续控制天牛灾害，能够有效保护目标树种。宁夏引黄灌区的农田防护林网，以合作杨作为诱饵树，配植非寄主树种臭椿 *Ailanthus altissima*、刺槐 *Robinia pseudoacacia*、白蜡 *Fraxinus chinensis*，保护目标树种新疆杨 *P. alba* var. *pyramidalis*，以及宁夏新华桥种苗场的试验林，以复叶槭作为诱饵树保护目标树种新疆杨，均取得良好效果（温俊宝等, 2006）。虽然诱饵树的诱集效果显著，但诱饵树一旦缺乏集约管理，即不能及时杀灭所诱集的天牛成虫，其持效功能难以发挥，反而有成为虫源树的风险（黄竞芳和骆有庆, 1991; 骆有庆和李建光, 1999b; 温俊宝等, 1999）。

在农业领域，Shelton 和 Nault（2004）根据本土植物欧洲山芥 *Barbarea vulgaris* 强烈吸引外来害虫小菜蛾 *Plutella xylostella* 成虫产卵并自然毒杀其幼虫的特性，提出了新型害虫防治策略——诱杀植物（Dead-end trap plant）。这种方法利用植物的天然吸引和毒杀特性，为害虫防治提供了一种生态可持续的新思路。诱杀植物是在诱饵植物（Trap cropping/plant）的基础上，将植物对目标害虫的强诱集性和不满足其生存条件的杀灭效果相结合，打造出的“终端”诱捕陷阱（吕建华, 2004）。李丰等（1999）和田润民等（2003, 2009）在椴树科 Tiliaceae、山茱萸科 Cornaceae、蔷薇科 Rosaceae、胡颓子科 Elaeagnaceae 的某些种和个别速生杨树品种上发现针对光肩星天牛的“诱杀”（或称诱控）现象，但对其应用价值的观点或结论很不一致。本文作者团队前期的系统调查研究发现并证实：胡颓子科的沙枣 *Elaeagnus angustifolia* 既可高效吸引光肩星天牛成虫取食 1-3 年生枝皮、叶柄和叶片补充营养，诱集雌成虫在粗大的干枝部啃咬刻槽和产卵，又能在刻槽内大量分泌树胶包裹致死虫卵或初孵幼虫，致使 99%的光肩星天牛不能完成生活史。通过合理配植沙枣和抗性树种，能够实现生态自控光肩星天牛灾害（Li *et al*., 2024; 杨宗基等, 2024）。与诱杀植物原理相似，诱杀树（Dead-end trap tree）既具有诱饵树（Trap tree）的高效诱集作用，又兼顾自然控制目标害虫种群扩张的效果。

由于理想研究模型的稀缺，国内外其他对诱杀树的基础研究与应用基本属空白，“沙枣高效诱杀光肩星天牛”是林业上第一个诱杀树的实例。以诱杀树替代多树种合理配植控制杨树天牛灾害策略中的诱饵树，合理利用沙枣对光肩星天牛成虫的诱集作用和对子代的杀灭作用，可将以往的生态调控转升为生态自控。本文将梳理现有诱杀植物相关研究基础，提出诱杀机制和应用技

术研究的重点内容、主要路径与方法。

1　国内外应用诱杀植物生态防控植食性害虫的研究进展

诱饵植物是指农业生产中，专门种植的用于吸引害虫，防止害虫到达作物或将其集中在田地的某个地方便于集中消灭，保护目标作物免受攻击，以减少经济损失的植物（Hokkanen, 1991）。诱杀植物是一类特殊的诱饵植物，指强烈吸引昆虫但昆虫或其后代无法在其上生存的植物（Shelton and Nault, 2004）。

1.1　诱杀植物在农业害虫防控中的研究

“欧洲山芥-小菜蛾”是开发利用诱杀植物的一组经典成功案例。刘同金等（2015, 2020）将欧洲山芥作为研究硫甙和皂苷生物合成、植物-昆虫协同进化的模式植物，全面总结了其形态及生物学特性、起源演化、生态类型、抗病虫性及相关功能成分、营养条件、抗虫基因定位、环境对抗虫性的影响，以及生产利用方面的研究进展。前人发现，欧洲山芥对于小菜蛾的诱性是挥发性物质起主导作用，而硫甙是吸引小菜蛾的寄主定位信号（Agerbirk *et al.*, 2003; Lu *et al.*, 2004; 吕建华, 2004）；同时证明，欧洲山芥植株体内存在以皂苷为主的抑制小菜蛾幼虫取食的成分（Serizawa *et al.*, 2001）。与此类似，香根草 *Vetiveria zizanioides* 作为水稻螟虫（二化螟 *Chilo suppressalis* 和大螟 *Sesamia inferens*）的诱杀植物，能够有效诱集雌成虫在其上产卵，孵化出的幼虫在香根草上不能完成生活史（陈先茂等, 2007; 鲁艳辉等, 2017）。通过抑制幼虫生长发挥诱杀作用的实例还包括毛果茄 *Solanum viarum* 对棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Gyawali *et al.*, 2021），荸荠 *Heleocharis dulcis* 对稻白螟 *Scirpophaga innotata*（Rajesh *et al.*, 2021）等。烟草 *Nicotiana tabacum* 通过毒死被吸引来补充营养的柑桔木虱 *Diaphorina citri*（黄龙病传播媒介）成虫来发挥诱杀作用（Zheng *et al.*, 2023）。

诱杀植物是农业害虫防治中机制研究的热点与应用推广的重点，具有高效、生态自控、减少农残和环境污染、保护食品安全等先进性。例如，香根草作为诱杀植物在稻田中的应用，不仅能够减少稻螟数量，无农药残留与环境污染，还可以增加天敌的多样性和丰度，为水稻生产提供更好的环境条件（Lu *et al.*, 2019）。

1.2　植物杀卵是植物防御的前沿

以往诱杀植物机制研究主要集中在植食性昆虫的取食阶段，植物防御植食性昆虫卵的反应并没有得到充分的注意和研究。目前已发现 30 种植物中有不同类型的对虫卵的防御作用（Fatouros *et al.*, 2016）。植物能感知到植食性昆虫卵的存在（Hilker and Fatouros, 2016），并通过产生杀卵物质（Seino *et al.*, 1996）、形成瘿瘤（Petzold- Maxwell *et al.*, 2011）或直接导致卵坏死（Fatouros *et al.*, 2014）等生理反应进行防御。及时杀灭虫卵可最大限度减轻对植物的危害，因此，杀死植食性昆虫的卵是植物抗虫免疫防御策略的第一道防线，也是植物与植食性昆虫进化竞赛的前沿。

1.3　植物与昆虫的“防御-反防御”规律的研究

诱杀植物是对植物与昆虫“防御-反防御”规律的高效利用，其机理在很多农业植物中有深入研究。植物为了躲避和抵御植食性昆虫造成的伤害，进化形成了一套高效的抗虫免疫防御策略（Schuman and Baldwin, 2016）；而植食性害虫为了从植物汲取营养维持生存和繁衍，则进化出一系列的反防御手段去操控寄主植物的免疫防卫反应（Stuart, 2015）。植物应对植食性昆虫的第一道防线是细胞膜表面的模式识别受体（Pattern recognition receptors, PRRs），通过识别昆虫取食时释放的损伤相关分子模式（Damage associated molecular patterns, DAMPs）、植食性昆虫相关分子模式（Herbivore associated molecular patterns, HAMPs）及激发子（Elicitors）而激活植物防御信号通路和一系列的免疫防御反应，即植食性昆虫相关分子模式触发的免疫（HAMP-triggered immunity, HTI）（Felton and Tumlinson, 2008; Erb *et al.*, 2012; Aljbory and Chen, 2018; De Bobadilla *et al.*, 2022;

Meena *et al.*, 2022）。一些植食性昆虫种群可以通过释放特异性效应子（Effectors）抑制植物产生的 HTI，从而在植物上正常生长与繁衍（Musser *et al.*, 2002; 禹海鑫等, 2015）。

在此基础上，寄主植物进一步升级出对昆虫的反防御策略，启动防御昆虫的第二道防线，进化出特异性的抗性 R 蛋白去识别植物细胞内的昆虫无毒效应子（Avirulence effectors, Av effectors），由此引发效应子诱导的免疫反应（Effector-triggered immunity, ETI）（Hogenhout and Bos, 2011）。植食性昆虫又进化出多种方式去逃避 R 蛋白的识别或者抑制 ETI。植物和植食性昆虫的互作过程是一场竞赛，对立的两者采用各种策略试图压制对方而有利于自己，这场“防御-反防御”竞赛与病原菌和植物互作的经典模型——之字形模型（Zig-zag model）相类似（Wang *et al.*, 2019）。

上述研究均以农作物及其植食性害虫为研究对象，国内外林业领域暂未见相关诱杀植物的系统研究和推广应用的范例，更无相关机制的系统研究。

2 沙枣诱杀光肩星天牛现象的前期研究

近 30 多年来，随着人为传播，光肩星天牛已入侵我国西北纵深地区，如新疆和甘肃河西走廊等地区，在这些地区，光肩星天牛是典型的入侵害虫，而沙枣是本土树种。

2.1 沙枣诱引光肩星天牛成虫取食和产卵

李建光（2001）和乔海莉等（2007）研究表明，沙枣与光肩星天牛诱饵树旱柳 *S. matsudana* 相似，具有诱集天牛成虫取食和产卵的能力。光肩星天牛成虫通过视觉和嗅觉等器官完成寄主的选择与定向，而对寄主的识别过程涉及到触觉、味觉和嗅觉的综合作用，以明确是否合适补充营养和刻槽产卵。树皮及木材结构理化性质对天牛的刻槽产卵行为有直接的影响（刘晶岚等, 1999; 李建光, 2001; 冀静, 2003）。

2.2 沙枣高效杀灭光肩星天牛的卵和初孵幼虫

沙枣诱集光肩星天牛成虫补充营养和刻槽产卵，但其上几乎未发现有光肩星天牛的羽化孔（冀静, 2003; 乔海莉等, 2007; 阎雄飞等, 2008; 田润民等, 2009）。本文作者近年在甘肃嘉峪关林间调查显示，在沙枣与抗性树种新疆杨、河北杨 *P.* × *hopeiensis* 等树种混植时，对光肩星天牛具有显著的控害效果。光肩星天牛刻槽后，沙枣在刻槽处很快分泌大量树胶，填充于刻槽内，包覆并杀灭虫卵；极个别卵孵化后，初孵幼虫也很快被树胶粘黏致死（图 1：A-E）（Li *et al.*, 2024; 杨宗基等, 2024）。

2.3 沙枣诱杀光肩星天牛功能基于两者的非协同互作关系

沙枣诱集光肩星天牛成虫至沙枣，取食小枝嫩皮和叶柄进行营养补充，然后下移至较为粗大的沙枣枝干上刻槽和产卵。最后，沙枣在光肩星天牛刻槽内泌胶包覆并杀灭光肩星天牛的卵或初孵幼虫，但对沙枣树势没有明显影响，可继续诱集光肩星天牛进行补充营养、刻槽与产卵，实现“诱杀”流程闭环（图 2）。

3 沙枣作为诱杀树生态自控光肩星天牛的防控策略

3.1 沙枣与光肩星天牛互作关系的研究进展

对沙枣等树种的自然控制光肩星天牛现象，在 20 世纪 90 年代起就曾被多次提及，但因调查方法不一致或不规范，对其诱杀功效的认识和结论也具有很大差异。张恩光等（1995）调查了宁夏四个地区的 289 块防护林样地，近 4 万株 19 种主栽树种的生长表现和对天牛的抗性表现，认为沙枣受害率极低（包括株被害率和株均刻槽数），即无诱引功能；在林带配植建议树种中未提及沙枣，提出了配植饵树的建议。但该项研究中不同样地的环境条件（如立地、树种、树龄、树木密度、天牛虫源等）差别较大，难以通过简单比较得出可靠结论，且仅在银南地区（涉及中宁县、吴忠市、同心县和永宁县）提到沙枣，共

图 1　沙枣诱集光肩星天牛刻槽产卵后泌胶杀卵的过程

Fig. 1　Process of gum secretion and egg encapsulation in *Elaeagnus angustifolia* following oviposition by *Anoplophora glabripennis*

A. 雌虫（下）口器咬刻槽；B. 雌虫（上）产卵器进入刻槽产卵；C. 沙枣主干密布刻槽与流胶；D. 刻槽处溢出流胶；E. 刻槽内被包裹致死天牛卵。

A. Female *A. glabripennis* (bottom) biting the tree bark to create a scar; B. Female *A. glabripennis* (top) inserting its ovipositor into the scar to lay eggs; C. Multiple scars and gum exudation on the main trunk of *E. angustifolia*; D. Overflowing gum from a oviposition scar; E. *A. glabripennis* eggs encapsulated and killed within the scar by the gum.

调查 190 株，所涉及沙枣的树龄（5 年生）尚不太适合刻槽产卵。因此，也就未体现、也未能提到沙枣的高效诱引效果，反而认为是低诱高抗树种，接近免疫树种。邵强华等（1997）在光肩星天牛种群诱控树种及其功能的初步研究中，首次提及“诱控树种”（或诱杀树种），只提到了在椴树科和山茱萸科的 4 种树上光肩星天牛卵可孵化，但被挤扁死亡。该研究提到利用诱控树比诱饵树更好，不需辅以人工捕捉成虫或施药杀灭等措施。李丰等（1999）发现光肩星天牛在中林 34 号、中林 115 号、欧洲三倍体山杨和沙枣等树种上完不成世代发育，提出诱杀树种就是天牛喜食、产卵的树种，但这些树种能产生树胶封闭产卵口，或产卵口迅速愈合，使天牛卵及幼虫在树体内死亡，完不成世代，这些树种能起到降低天牛种群数量的作用。但该研究未体现与其他树种，特别是与多种诱饵树种相比，沙枣的相对诱集能力，缺乏与高抗树种的划分，并对饵木树的实用性提出质疑。骆有庆和李建光（1999a）也提到合作杨作为诱饵树，它的“双刃剑”作用和管理方法。邵强华（1997）和田润民等（2009）调查并发现椴树科、山茱萸科、蔷薇科、胡颓子科部分树木对光肩星天牛具有诱控现象，称之诱控树种，并开展了相应的初步研究。研究提到沙枣吸引天牛产卵程度与高感树种相差无几；沙枣受光肩星天牛为害时产生自卫反应，流出树胶把天牛产下的卵包住，使其后代不能发育。

图 2　本土植物沙枣和入侵害虫光肩星天牛非协同互作流程

Fig. 2　Interaction process between native *Elaeagnus angustifolia* and invasive *Anoplophora glabripennis*

浅蓝色圈为诱引成虫过程，沙枣诱引天牛至小枝上补充营养；深蓝色圈为激发泌胶过程，天牛下行至沙枣大枝干上刻槽产卵；红色圈为杀灭子代过程，沙枣在刻槽中泌胶杀灭天牛。

The light blue circle represents the adult beetle attraction phase, where *E. angustifolia* lures adult beetles to feed on twigs; The dark blue circle represents the gum-secretion phase, where beetles descend to the main branches to create scars and oviposit; The red circle represents the progeny-killing phase, where *E. angustifolia* secretes gum into scars to encapsulate and kill *A. glabripennis* eggs.

本文作者团队也曾先后开展围绕光肩星天牛与沙枣关系木材解剖结构、挥发性物质、刻槽微生境、寄主选择等方面的研究（刘晶岚等, 1999; 李建光, 2001; 冀静, 2003; 乔海莉等, 2007; 阎雄飞等, 2008），将光肩星天牛寄主树种按抗性序列划分为免疫树种、高抗树种、中抗树种，以及可作为光肩星天牛“诱饵树”的喜食树种或嗜食树种（李建光, 2001; 李建光等, 2002; 骆有庆等, 2002）。但与以往大多数研究者一样，都只将沙枣视为了光肩星天牛的一般性高抗或抗性树种。

3.2　诱杀树在多树种合理配植中的功能定位

运用诱杀树（Dead-end trap tree）自然调控害虫种群，是实现高效诱集同时自然杀灭害虫的一种创新的害虫防控策略。诱杀树实现自然控制害虫的功能，需同时满足高感虫和高抗虫两个看似矛盾的特性。在抵御光肩星天牛灾害的多树种合理配植技术体系中，只有高效诱集能力但无自然杀灭能力的称为感虫树种或诱饵树。如受害程度较低，但无诱集能力，此类树种称为抗性树种。一般不受害，更无诱集能力的可视为非寄主树种。本文首次提出将诱杀树种加入光肩星天牛不同抗性等级序列，并绘制了功能生态位示意图（图 3），将光肩星天牛寄主抗性序列划分为：

（1）非寄主树种（Non-host species）：天牛几乎或完全不取食、不产卵的树种。

（2）抗性树种（Resistant species）：天牛取食少、产卵少、孵化和羽化率低的寄主树种。即多树种合理配植技术中的目标树。按照杀灭光肩星天牛的相对能力，抗虫树种细分为高抗树种和低抗树种。

（3）感虫树种（Susceptible species）：天牛喜食且产卵、孵化和羽化率高的寄主树种。即多树种合理配植技术中的诱饵树。按照诱集光肩星天牛成虫的相对能力，感虫树种细分为高感树种和低感树种。

（4）诱杀树种（Dead-end trap species）：天牛喜食且产卵，但子代几乎无法完成世代发育的树种。

高效诱引是诱杀树发挥效能的前提，自然强力杀灭是实现诱杀效果的特殊功能，这两者是诱杀树的必备属性（图 4）。同时诱杀树最好兼具适生性强、易于栽培、成本低廉和持效诱杀的特点。只具有高效诱引能力但无自然杀灭能力，如光肩星天牛防控中的感虫树种或诱饵树（如合作杨、小美旱杨、二白杨 *P.* × *xiaohei* var. *gansuensis*、复叶槭、旱柳）等，在林分中配植这类树种是为保护目标树种，利用感虫树种高效诱引天牛成虫并采取多种化学防治技术及时杀灭所诱集的天牛；但如果没有及时杀灭所诱集的天牛，反而有可能增大虫口密度。如诱集能力较差，受为害程度较低，此类树种称为抗性树种（如光肩星天牛防控树种合理配植体系中的新疆杨、河北杨、毛

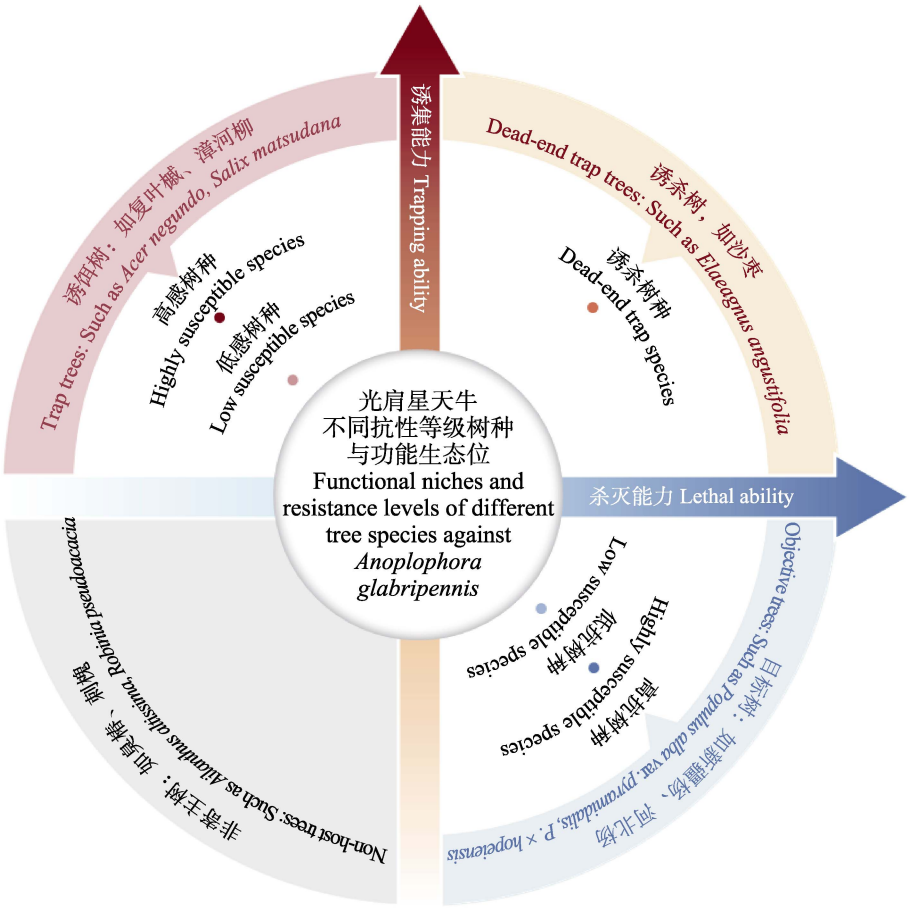

图 3　光肩星天牛不同抗性等级树种与功能生态位示意图

Fig. 3　Functional niches and resistance levels of different tree species against *Anoplophora glabripennis*

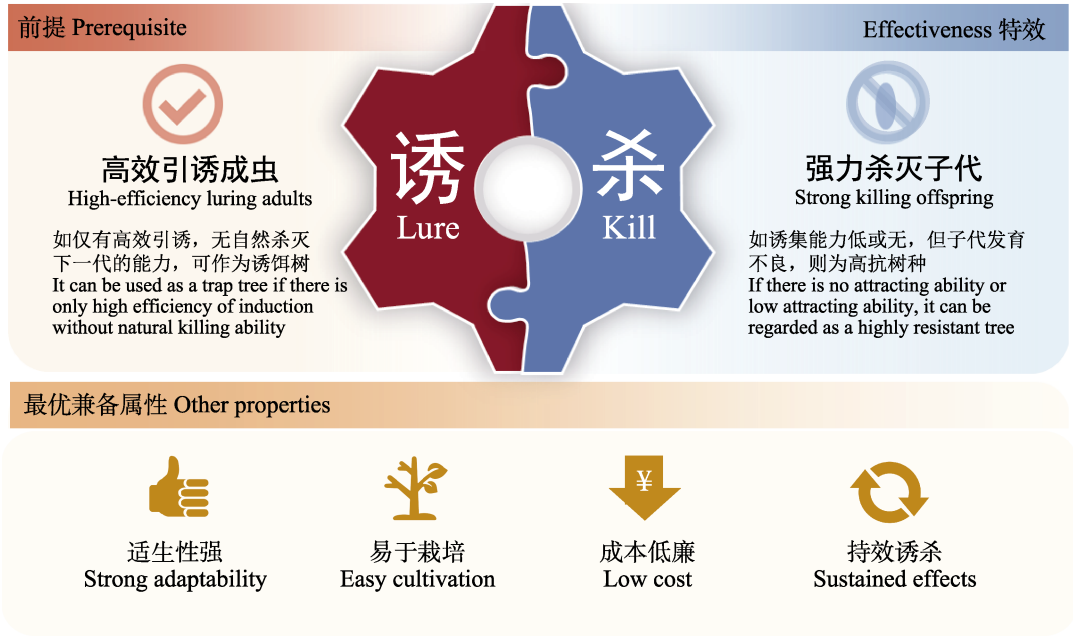

图 4　诱杀树的两大必备属性和若干最优兼备属性

Fig. 4　Essential and optimal attributes of dead-end trap trees

白杨 *P. tomentosa*）。而一般不会自然遭受危害的视为非寄主树种（如光肩星天牛防控树种合理配植体系中的臭椿、刺槐），可通过合理配植树种等营林措施一定程度上减弱整体虫害强度，但对目标保护的树种无直接保护作用。

沙枣兼具对光肩星天牛成虫的强烈吸引作用和对子代卵和初孵幼虫自然高效的绝杀功能的两大诱杀树必备属性。沙枣原产于东欧和亚洲的部分地区，耐寒耐旱耐盐碱耐贫瘠，并具有固氮能力，是中国西北地区的重要本土树种，具有适生性强、易于栽培的特点。同时，受光肩星天牛为害后的沙枣树势无明显变化，能够持续发挥对光肩星天牛的诱杀效用。

4 生态自控机制和技术研究展望

“沙枣高效诱杀光肩星天牛”是林业上第一个应用本土树种诱杀入侵害虫的实例，以下几方面值得深入研究。

4.1 沙枣诱杀光肩星天牛的原理和调控机制，探究诱杀稳定性和持续作用的条件

目前发现沙枣诱杀光肩星天牛现象的地区为中国西北地区，主要是新疆、甘肃、宁夏和内蒙古等地，皆为沙枣原生分布区和光肩星天牛传入区（CABI and EPPO, 2014），即入侵有害生物光肩星天牛无法在健康的本土植物沙枣上完成生活史。从寄主和有害生物的自然分布区的角度考虑，在入侵区的光肩星天牛与当地本土植物沙枣之间还未能建立彼此适应的机制，属非协同进化的特殊关系。

在光肩星天牛刻槽产卵过程中，可能激发沙枣防御性泌胶反应的行为有二，其一是光肩星天牛用口器从寄主树皮外咬刻一个穿透韧皮部的刻槽。这一行为中，光肩星天牛咬刻造成的机械损伤、口腔分泌物中的激发子（或效应子）及微生物可能引起沙枣的防御响应。其二是刻槽完成后，雌成虫调转身体，将产卵器插入刻槽，在韧皮部与木质部之间摆动制作“卵室”后，将一粒卵产于其中。这一行为中，光肩星天牛产卵器造成的机械损伤，产卵分泌物中的激发子（或效应子）及微生物同样也可能激发寄主植物的防御响应。一些已知的昆虫唾液激发子在害虫综合治理方面有很大利用前景，例如 Volicitin 和 Cacliferin 只需要极少量就可以激发植物防御反应（Arce *et al.*, 2021; Jones *et al.*, 2022）。

利用基因组学和蛋白质组学等工具，通过生态学、生理学和进化学等学科进行综合研究植物-昆虫的相互作用和进化前景的研究，能够为沙枣生态自控光肩星天牛灾害提供理论依据。

4.2 合理配植沙枣作为诱杀树或哨兵树，发挥生态自控光肩星天牛灾害的效果

通过抗性树种新疆杨与诱杀树沙枣的合理配植，达到生态自控光肩星天牛灾害的目的，是现有生态调控技术体系的转型升级。杨宗基等（2024）通过对我国西北地区多点多地调查发现，在防护林网和园林绿化林中，完全能够实现光肩星天牛的有虫不成灾，并提出了抗性树种与诱杀树种沙枣的合理配植比例。在尚未广泛入侵的天然胡杨林中，适当配植沙枣，可作为“哨兵树”提供预警信息，及时监测光肩星天牛的发生（徐钦望等, 2023）。

4.3 制定相关技术指南、规程或标准，实现配植诱杀树沙枣生态自控光肩星天牛灾害的规范化

以沙枣诱杀光肩星天牛原理、生态自控技术和合理配植沙枣应用实例的综合成果为基础，制定光肩星天牛生态自控技术规程或标准，明确配植诱杀树沙枣生态自控光肩星天牛的策略、配植模式、控灾效果评价等实施程序和技术要求。同时，必须指出，沙枣树势与对光肩星天牛诱杀能力的关系密切，树势衰弱或濒死的沙枣树，诱杀能力严重下降，故要对沙枣进行合理与必要的管护，如根据立地条件适当的浇水和修剪，保障诱杀功能的正常发挥。沙枣对光肩星天牛的诱杀功能可能存在地域性差别，需进一步探查不同立地条件下沙枣对光肩星天牛的诱杀效果和作用条件。

参考文献 (References)

Agerbirk N, Olsen CE, Bibby BM, Frandsen HO, Brown LD, Nielsen JK, Alan A Renwick J, 2003. A saponin correlated with

variable resistance of *Barbarea vulgaris* to the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Journal of Chemical Ecology*, 29(6): 1417–1433.

Aljbory Z, Chen MS, 2018. Indirect plant defense against insect herbivores: A review. *Insect Science*, 25(1): 2–23.

Arce CM, Besomi G, Glauser G, Turlings TCJ, 2021. Caterpillar-induced volatile emissions in cotton: The relative importance of damage and insect-derived factors. *Frontiers in Plant Science*, 12: 709858.

CABI, EPPO, 2014. *Anoplophora glabripennis*. [Distribution map]// Distribution Maps of Plant Pests. CABI. Map, Wallingford, UK. 590.

Cavey JF, Hoebeke ER, Passoa S, Lingafelter SW, 1998. A new exotic threat to North American hardwood forests: An Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae). I. Larval description and diagnosis. *Proceedings-Entomological Society of Washington*, 100(2): 373–381.

Chen SP, Liu YZ, 2021. The test and cost analysis of several medicaments of *Anoplophora glabripenn*. *Forestry and Ecological Science*, 36(3): 285–292, 327. [陈树萍, 刘英姿, 2021. 光肩星天牛几种药剂试验及成本分析. 林业与生态科学, 36(3): 285–292, 327.]

Chen XM, Peng CR, Yao FX, Guan XJ, Wang HL, Deng GQ, 2007. Study on technique and effect of vetiver for trapping and killing rice borer. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 19(12): 51–52, 56. [陈先茂, 彭春瑞, 姚锋先, 关贤交, 王华伶, 邓国强, 2007. 利用香根草诱杀水稻螟虫的技术及效果研究. 江西农业学报, 19(12): 51–52, 56.]

Cocquempot C, Prost M, Carmignac D, 2003. Interceptions and introductions in France of Asian longhorn beetles: Case of *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) and *A. chinensis* (Forster) (Coleoptera: Cerambycidae). *Bulletin Mensuel De La Société Linnéenne De Lyon*, 72(8): 273–278.

De Bobadilla MF, Vitiello A, Erb M, Poelman EH, 2022. Plant defense strategies against attack by multiple herbivores. *Trends in Plant Science*, 27(6): 528–535.

Erb M, Meldau S, Howe GA, 2012. Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. *Trends in Plant Science*, 17(5): 250–259.

Fatouros NE, Cusumano A, Danchin EGJ, Colazza S, 2016. Prospects of herbivore egg-killing plant defenses for sustainable crop protection. *Ecology and Evolution*, 6(19): 6906–6918.

Fatouros NE, Pineda A, Huigens ME, Broekgaarden C, Shimwela MM, Figueroa Candia IA, Verbaarschot P, Bukovinszky T, 2014. Synergistic effects of direct and indirect defences on herbivore egg survival in a wild crucifer. *Proceedings of the Royal Society B*: *Biological Sciences*, 281(1789): 20141254.

Felton GW, Tumlinson JH, 2008. Plant-insect dialogs: Complex interactions at the plant-insect interface. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(4): 457–463.

Gyawali P, Hwang SY, Sotelo-Cardona P, Srinivasan R, 2021. Elucidating the fitness of a dead-end trap crop strategy against the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera*. *Insects*, 12(6): 506.

Haack RA, Hérard F, Sun JH, Turgeon JJ, 2010. Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and *Citrus* longhorned beetle: A worldwide perspective. *Annual Review of Entomology*, 55: 521–546.

Hérard F, Ciampitti M, Maspero M, Krehan H, Benker U, Boegel C, Schrage R, Bouhot-Delduc L, Bialooki P, 2006. *Anoplophora* species in Europe: Infestations and management processes 1. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 36(3): 470–474.

Hilker M, Fatouros NE, 2016. Resisting the onset of herbivore attack: Plants perceive and respond to insect eggs. *Current Opinion in Plant Biology*, 32: 9–16.

Hogenhout SA, Bos JIB, 2011. Effector proteins that modulate plant-insect interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 14(4): 422–428.

Hokkanen H, 1991. Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 36: 119–138.

Huang JF, Luo YQ, 1991. Current status, problems, and countermeasures of poplar stem borers in China. *Forest Pest and Disease*, 10(1): 29–33. [黄竞芳, 骆有庆, 1991. 我国杨树蛀干害虫的现状、问题与对策. 森林病虫通讯, 10(1): 29–33.]

Ji J, 2003. The preliminary study on micro-habitats of incisions by *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [冀静, 2003. 光肩星天牛刻槽微生境的初步研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Jones AC, Felton GW, Tumlinson JH, 2022. The dual function of elicitors and effectors from insects: Reviewing the ‘arms race’ against plant defenses. *Plant Molecular Biology*, 109(4/5): 427–445.

Li CC, Pei JH, Wang LX, Tian Y, Ren LL, Luo YQ, 2024. Interactions at the oviposition scar: Molecular and metabolic insights into *Elaeagnus angustifolia*’s resistance response to *Anoplophora glabripennis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17): 9504.

Li F, Liu RG, Bao S, Wu T, 1999. Selection of trap trees for controlling *Anoplophora glabripennis* and *A. nobilis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 85–89. [李丰, 刘荣光, 宝山, 吴彤, 1999. 选择诱杀树种防治光肩星天牛、黄斑星天牛的研究. 北京林业大学学报, 21(4): 85–89.]

Li JG, 2001. Behavioral responses and mechanism of *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) to host volatile compounds. Doctor dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [李建光, 2001. 光肩星天牛对寄主植物挥发性物质的行为反应及作用机理的研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Li JG, Jin YJ, Luo YQ, Shen YB, Chen HJ, 2002. Comparative analysis of volatile compounds from different host plants of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *Journal of Beijing Forestry University*, 24(S1): 169–173. [李建光, 金幼菊, 骆有庆, 沈应柏, 陈华君, 2002. 光肩星天牛不同寄主树种挥发性物质的比

较分析. 北京林业大学学报, 24(S1): 169–173.]

Liu JL, Wen JB, Ma LY, Xie C, Wu T, Tian HY, Luo YW, 1999. Timber anatomical structure of 9 tree species and their resistance to longicorn beetles. *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 18–23. [刘晶岚, 温俊宝, 马履一, 谢琛, 吴彤, 田海燕, 罗彦文, 1999. 9 种树种木材解剖结构及对杨树天牛的抗性机制. 北京林业大学学报, 21(4): 18–23.]

Liu TJ, Li XX, Zhang XH, Yang WL, 2020. New research progress on *Eutrema japonicum*, a wild plant in Cruciferae. *Journal of Plant Genetic Resources*, 21(6): 1461–1467. [刘同金, 李锡香, 张晓辉, 阳文龙, 2020. 十字花科野生植物——欧洲山芥的研究新进展. 植物遗传资源学报, 21(6): 1461–1467.]

Liu TJ, Zhang XH, Li XX, Shen D, Wang HP, Qiu Y, Song JP, 2015. Progress in research and utilization of excellent resistant resource *Eutrema japonicum*. *Acta Horticulturae Sinica*, 42(9): 1719–1731. [刘同金, 张晓辉, 李锡香, 沈镝, 王海平, 邱杨, 宋江萍, 2015. 优异抗源欧洲山芥的研究与利用进展. 园艺学报, 42(9): 1719–1731.]

Lü JH, 2004. Studies of a wild crucifer *Barbarea vulgaris* G-type as a dead-end trap crop for the diamondback moth. Doctor dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [吕建华, 2004. 欧洲山芥对小菜蛾的诱杀效应及其机理. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]

Lu JH, Liu SS, Shelton AM, 2004. Laboratory evaluations of a wild crucifer *Barbarea vulgaris* as a management tool for the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 94(6): 509–516.

Lu YH, Gao GC, Zheng XS, Lü ZX, 2017. The lethal mechanism of trap plant *Vetiveria zizanioides* against the larvae of *Chilo suppressalis*. *Scientia Agricultura Sinica*, 50(3): 486–495. [鲁艳辉, 高广春, 郑许松, 吕仲贤, 2017. 诱集植物香根草对二化螟幼虫致死的作用机制. 中国农业科学, 50(3): 486–495.]

Lu YH, Zheng XS, Lu ZX, 2019. Application of vetiver grass *Vetiveria zizanioides*: Poaceae (L.) as a trap plant for rice stem borer *Chilo suppressalis*: Crambidae (Walker) in the paddy fields. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(4): 797–804.

Luo YQ, 2005. Research on sustainable control techniques for poplar borer disasters in shelter forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 26(3): 29–35. [骆有庆, 2005. 防护林杨树天牛灾害持续控制技术研究. 北京林业大学学报, 26(3): 29–35.]

Luo YQ, Li JG, 1999a. Strategy on applied technology and basic studies of poplar longhorned beetle management. *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 6–12. [骆有庆, 李建光, 1999a. 杨树天牛灾害控制的应用技术和基础研究策略. 北京林业大学学报, 21(4): 6–12.]

Luo YQ, Li JG, 1999b. Effective measures to control poplar borer disasters: Rational allocation of multiple tree species. *Forest Pest and Disease*, 18(3): 46–48. [骆有庆, 李建光, 1999b. 控制杨树天牛灾害的有效措施: 多树种合理配置. 森林病虫通讯, 18(3): 46–48.]

Luo YQ, Liu RG, Xu ZC Sun CC, Wen JB, 2002. Theories and technologies of ecologically regulating poplar longhorned beetle disaster in shelter forest. *Journal of Beijing Forestry University*, 24(S1): 164–168. [骆有庆, 刘荣光, 许志春, 孙长春, 温俊宝, 2002. 防护林杨树天牛灾害的生态调控理论与技术. 北京林业大学学报, 24(S1): 164–168.]

Meena M, Yadav G, Sonigra P, Nagda A, Mehta T, Swapnil P, Harish, Marwal A, 2022. Role of elicitors to initiate the induction of systemic resistance in plants to biotic stress. *Plant Stress*, 5: 100103.

Musser RO, Hum-Musser SM, Eichenseer H, Peiffer M, Ervin G, Brad Murphy J, Felton GW, 2002. Herbivory: Caterpillar saliva beats plant defences. *Nature*, 416(6881): 599–600.

Petzold-Maxwell J, Wong S, Arellano C, Gould F, 2011. Host plant direct defence against eggs of its specialist herbivore, *Heliothis subflexa*. *Ecological Entomology*, 36(6): 700–708.

Qiao HL, Luo YQ, Feng XF, Sun JH, Han XW, 2007. The resistance of the main host-tree species to *Anoplophora glabripennis* in Xinjiang. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(5): 660–664. [乔海莉, 骆有庆, 冯晓峰, 孙建华, 韩新伟, 2007. 新疆主要造林树种对光肩星天牛的抗性. 昆虫知识, 44(5): 660–664.]

Rajesh KM, Sinu PA, Nasser M, 2021. *Eleocharis dulcis* (Burm.f) as a promising trap plant for the biocontrol of rice white stem borer, *Scirpophaga innotata* (Walker). *Biological Control*, 160: 104676.

Schuman MC, Baldwin IT, 2016. The layers of plant responses to insect herbivores. *Annual Review of Entomology*, 61(1): 373–394.

Seino Y, Suzuki Y, Sogawa K, 1996. An ovicidal substance produced by rice plants in response to oviposition by the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae). *Applied Entomology and Zoology*, 31(4): 467–473.

Serizawa H, Shinoda T, Kawai A, 2001. Occurrence of a feeding deterrent in *Barbarea vulgaris* (Brassicales: Brassicaceae), a crucifer unacceptable to the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Applied Entomology & Zoology*, 36(4): 465–470.

Shao QH, Tian RM, Gao PX, Zou LJ, 1997. Preliminary study on tree species for trapping and controlling *Anoplophora glabripennis* population and their functions. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 23(4): 1–2, 24. [邵强华, 田润民, 高平小, 邹立杰, 1997. 光肩星天牛种群诱控树种及其功能的初步研究. 内蒙古林业科技, 23(4): 1–2, 24.]

Shelton AM, Nault BA, 2004. Dead-end trap cropping: A technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 23(6): 497–503.

Sjöman H, Östberg J, Nilsson J, 2014. Review of host trees for the wood-boring pests *Anoplophora glabripennis* and *Anoplophora chinensis*: An urban forest perspective. *Arboriculture & Urban Forestry*, 40(3): 143–164.

Stuart J, 2015. Insect effectors and gene-for-gene interactions with

host plants. *Current Opinion in Insect Science*, 9: 56–61.

Su XY, Li HP, Yan JJ, Huang DZ, Wang ZG, Zhang S, Bi YG, Yan AH, Lü F, 2020. Ecological geographical distribution and pollution-free control of *Apriona germari* Hope and *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky). *Forestry and Ecological Science*, 35(4): 393–398. [苏筱雨, 李会平, 阎浚杰, 黄大庄, 王志刚, 张爽, 毕拥国, 阎爱华, 吕飞, 2020. 桑天牛和光肩星天牛生态地理分布及无公害控制技术研究. 林业与生态科学, 35(4): 393–398.]

Tian RM, Lu Q, Zhang YF, Sang H, 2009. Induce and control of *Anoplophora glabripennis*. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 35(4): 42–46. [田润民, 陆群, 张玉凤, 桑华, 2009. 光肩星天牛诱控研究. 内蒙古林业科技, 35(4): 42–46.]

Tian RM, Yu JB, Zhao WD, 2003. On the function of *Elaeagnus angustifolia* L. to induce and control *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 29(4): 23–25. [田润民, 于静波, 赵卫东, 2003. 沙枣树对光肩星天牛种群诱控功能的初步研究. 内蒙古林业科技, 29(4): 23–25.]

Turgeon JJ, Smith MT, Pedlar JH, Fournier RE, Orr M, Gasman B, 2022. Tree selection and use by the polyphagous xylophage *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 52(4): 622–643.

Wang LX, Li CC, Luo YQ, Wang GJ, Dou ZP, Haq IU, Shang SQ, Cui MM, 2023. Current and future control of the wood-boring pest *Anoplophora glabripennis*. *Insect Science*, 30(6): 1534–1551.

Wang N, Zhao PZ, Ma YH, Yao XM, Sun YW, Huang XD, Jin JJ, Zhang YJ, Zhu CX, Fang RX, Ye J, 2019. A whitefly effector Bsp9 targets host immunity regulator WRKY33 to promote performance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1767): 20180313.

Wang YP, 2006. Risk Analysis of *Anoplophora glabripennis* in western China. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [王艳平, 2006. 中国西部地区光肩星天牛风险分析. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Wang ZG, 2004. Study on the occurrence dynamics of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) and its control measures. Doctor dissertation. Harbin: Northeast Forestry University. [王志刚, 2004. 中国光肩星天牛发生动态及治理对策研究. 博士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]

Wen JB, Luo YQ, Yue JM, Liu RG, 1999. The attracting effect of *Acer negundo* Linn. on *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) adults. *Forest Pest and Disease*, 18(4): 17–20. [温俊宝, 骆有庆, 岳金明, 刘荣光, 1999. 复叶槭对防护林光肩星天牛诱集作用初报. 森林病虫通讯, 18(4): 17–20.]

Wen JB, Wu B, Luo YQ, Xu ZC, Cao CJ, Tian GF, 2006. Disaster-resistant threshold to *Anoplophora glabripennis* by reasonable allocation of varied tree species. *Journal of Beijing Forestry University*, 28(3): 123–127. [温俊宝, 吴斌, 骆有庆, 许志春, 曹川健, 田桂芳, 2006. 多树种合理配置抗御光肩星天牛灾害控灾阈值的研究. 北京林业大学学报, 28(3): 123–127.]

Xu QW, Ren LL, Luo YQ, 2023. Research progress in sentinel trees early warning potential exotic invasive forest pests. *World Forestry Research*, 36(1): 52–58. [徐钦望, 任利利, 骆有庆, 2023. 哨兵树预警潜在外来林业有害生物研究进展. 世界林业研究, 36(1): 52–58.]

Yan SY, Zhang G, Liu JF, Su Z, Wei J, 2022. *Anoplophora glabripennis*: Host choice, oviposition and performance of new hatched larvae on ‘resistant’ poplar species. *Journal of Applied Entomology*, 146(1/2): 98–105.

Yan XF, Li XJ, Luo YQ, Xu ZC, Zhang TL, 2008. Taxis response of *Anoplophora glabripennis* adults to volatiles emanating from their larval host twigs. *Journal of Beijing Forestry University*, 30(3): 80–84. [阎雄飞, 李晓娟, 骆有庆, 许志春, 田桂芳, 张铁林, 2008. 光肩星天牛成虫对原寄主枝条挥发物趋向的测定. 北京林业大学学报, 30(3): 80–84.]

Yang ZJ, Wang LX, Luo YQ, Ren LL, Wang XQ, Wang XB, Chen YL, 2024. Study on planting model of dead-end trap tree *Elaeagnus angustifolia* and resistant host tree *Populus alba* var. *pyramidalis* for ecological self-regulation of the *Anoplophora glabripennis* disaster. *Forest Pest and Disease*, 6: 1–13. [杨宗基, 王立祥, 骆有庆, 任利利, 王小强, 王小兵, 陈宇琳, 2024. 生态自控光肩星天牛灾害的诱杀树沙枣与抗性树种新疆杨配植模式研究. 中国森林病虫, 6: 1–13.]

Yu HX, Ye WF, Sun MQ, Xu N, Lou SZ, Ran JX, Lou YG, 2015. Three levels of defense and anti-defense responses between host plants and herbivorous insects. *Chinese Journal of Ecology*, 34(1): 256–262. [禹海鑫, 叶文丰, 孙民琴, 徐宁, 娄少之, 冉俊祥, 娄永根, 2015. 植物与植食性昆虫防御与反防御的三个层次. 生态学杂志, 34(1): 256–262.]

Yu WJ, Zhao HY, 2016. Research progress of prevention and control technology of *Anoplophora glabripennis*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32(10): 114–119. [遇文婧, 赵红盈, 2016. 光肩星天牛防控技术研究进展. 中国农学通报, 32(10): 114–119.]

Zhang EG, Zhou JX, Liu RG, Yang XY, Bai ZJ, Liu YN, 1995. Investigation of poplar borer damage and stand structure configuration in Ningxia shelter forests. *Journal of Northwest Forestry College*, 10(2): 16–21, 39. [张恩光, 周嘉熹, 刘荣光, 杨雪彦, 白正甲, 刘益宁, 1995. 宁夏防护林天牛危害调查及林分结构配置. 西北林学院学报, 10(2): 16–21, 39.]

Zheng LX, Xu QQ, Gong G, Liao YL, Yu M, Shabala S, Chen WS, Wu WJ, 2023. *Nicotiana tabacum* as a dead-end trap for adult *Diaphorina citri*: A potential biological tactic for protecting *Citrus* orchards. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1081663.