

功能植物阿米芹的特征及其应用潜能*

张文慧^{1**} 黄淑洋¹ 李慧琴² 苏杰¹
张建萍¹ 戈峰^{3***} 蔡志平^{1***}

(1. 石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832003;
2. 石河子农业科学研究院, 石河子 832000; 3. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100)

摘要 阿米芹 *Ammi visnaga* 是一种可以生长于碱土高原和干旱坡地的植物, 耐旱、耐盐碱, 繁殖能力强, 种植管理简便。阿米芹可涵养大量的草蛉、瓢虫、捕食蝽、食蚜蝇和寄生蜂等天敌昆虫, 其花期为6-10月, 是一种优质的蜜粉源植物, 符合功能植物的显著特征。本研究综述了阿米芹的主要特征、作用特点、作用方式及其应用前景展望, 建议在农田周边种植阿米芹作为农田害虫生态控害的手段, 以实现维持天敌生物控害、减少化学农药投入、增加收入、改善农田生态环境和美化乡村等目标。

关键词 阿米芹; 功能植物; 天敌昆虫; 生态调控

Characteristics and potential uses of the plant *Ammi visnaga*

ZHANG Wen-Hui^{1**} HUANG Shu-Yang¹ LI Hui-Qin² SU Jie¹
ZHANG Jian-Ping¹ GE Feng^{3***} CAI Zhi-Ping^{1***}

(1. College of Agriculture, Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Shihezi Academy of Agricultural Sciences, Shihezi 832000, China; 3. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract *Ammi visnaga* (L.) Lam. is a plant capable of thriving in alkaline solonchak and arid slope land. *A. visnaga* has exceptional drought and saline-alkali tolerance, robust reproductive capacity and is relatively easy to cultivate in the field. We previously demonstrated that planting *A. visnaga* benefits a diverse array of predatory insects, such as green lacewings, lady beetles, predatory bugs, hoverflies and parasitic wasps, and that its long, up to four-month, flowering period between June and October provides an important nectar and pollen source for insects. This article describes the main characteristics, uses, and prospects for the cultivation of *A. visnaga*. Our findings suggest that planting *A. visnaga* strips around agricultural fields could be an innovative method of biological pest control that reduces reliance on chemical pesticides, improves economic benefits, while benefiting and beautifying the environment.

Key words *Ammi visnaga*; functional plant; natural enemies; biological control

在农田中进行多种生境的设计和布局是害虫生态调控策略之一, 设计有利于天敌或传粉昆虫栖息、繁衍、扩散转移和越冬的区域性景观农田, 可提升农业生态系统的控害保益功能, 实现害虫防控的可持续性(戈峰, 2020; Pokharel *et al.*,

2023)。功能植物是指在生态调控中发挥重要功能的一类植物, 合理种植功能植物能够最大程度发挥昆虫类群在农田景观中生态服务功能, 抑制害虫种群发生 (Gurr *et al.*, 2017; 孙玉荣等, 2017)。功能植物是一类具有为天敌昆虫或传粉

*资助项目 Supported projects: 新疆维吾尔自治区重点研发专项 (2022B02043-2); 兵团英才青年项目; 第三师图木舒克市重点领域科技攻关计划项目 (KY2022GG01); 兵团“三农”骨干人才培养项目

**第一作者 First author, E-mail: 2569079649@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: gef@ioz.ac.cn; caizp@shzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-12-11; 接受日期 Accepted: 2024-08-18

昆虫提供“衣、食、住和行”服务的植物,即为天敌提供食物、补充寄主或补充营养;改善天敌生存的环境,提供适宜生长的栖境、越冬场所、休息地或产卵场所;为天敌在不同作物间转移和增殖创造有利条件而又不成为害虫食物链(陈学新等, 2014; 杨泉峰等, 2020)。功能植物与主要农作物合理配置能够有效提高天敌对害虫的生物控害作用,增强目标作物害虫天敌昆虫的生物控害功能,是害虫生态调控的重要手段(戈峰等, 2014, 2017)。

功能植物花带发挥重要生物防治作用(Li *et al.*, 2021; Kowalska *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2022)。在麦田周边种植功能植物蛇床草 *Cnidium monnieri*, 能在早春涵养大量的七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 和多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 等天敌,在麦蚜高峰期前迁入麦田发挥控害作用,待麦蚜消退后,又迁回至蛇床草作为其栖息生境,取食花粉和花蜜等延长寿命,从而实现了对害虫的长期生态调控(杨泉峰等, 2018; Yang *et al.*, 2021)。将苣荬菜 *Sonchus arvensis* 种植在玉米田附近,可以为天敌昆虫提供连续不断的花粉和花蜜等营养物质,维持与增强农田中天敌昆虫的数量和生物控害能力,苣荬菜干枯后还可为瓢虫提供越冬环境,在害虫生态调控中发挥着重要作用(苏文雯等, 2020)。芝麻 *Sesamum indicum* 开花期长且含蜜量大,天敌昆虫稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 偏好取食芝麻花,因此,将芝麻种在稻田边缘的田埂上,能有效增强稻虱缨小蜂和黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 对稻田褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的生物控害能力,降低褐飞虱的危害(朱平阳, 2012; Zhu *et al.*, 2014)。此外,紫花苜蓿 *Medicago sativa* 作为一种多年生优质牧草,在新疆棉区间作历史悠久,有益于增加棉田有益节肢动物的物种数和丰富度,可以为天敌提供更多的庇护场所,加强棉田生态系统的稳定性。刈割苜蓿后其花带中繁育的捕食性天敌快速转移到棉花上控制棉蚜 *Aphis gossypii* 和棉蓟马等害虫,使害虫数量迅速下降,有效减轻害虫对棉花的危害,充分发挥自然天敌的控害作用(陈明等, 2008)。同时苜蓿也可以和多种果树间作,如在杏园间作紫花苜蓿可以提

高土壤肥力,优化果园生态环境,并促进果树生长发育(姜黎等, 2017)。

在现代农业可持续发展过程中,基于景观多样性的区域性害虫生态调控越来越受到重视,种植功能植物增加农业生态系统中的昆虫物种多样性,保育与调节天敌种群控制害虫种群数量,在减少化学农药使用的条件下,将害虫种群数量控制在较低水平。通过挖掘、保护及利用天然的功能植物增加非作物生境利用优化农田景观格局(Zaviezo and Muñoz, 2023),利于维持农田生物多样性,减少病虫害发生(闫雪影等, 2023)。近几年,本研究团队在新疆地区引进种植了大量功能植物,通过调查发现阿米芹 *Ammi visnaga* 开花期较长,涵养了大量小花蝽、瓢虫、草蛉、食蚜蝇和寄生蜂等天敌昆虫。本研究将从阿米芹的主要特征、作用特点、作用方式及其应用前景展望进行介绍,旨在推广和应用一种具有良好害虫生态调控前景的功能植物。

1 主要特征

1.1 形态特征和生长习性

阿米芹为伞形科 Umbelliferae 阿米芹属 *Ammi* 一年生或两年生草本植物。株高 1.0-1.6 m; 茎秆直立圆柱形,其上有条纹。叶片着生于植株基部,长 2.0-3.0 cm,宽 0.5-1.0 mm,茎上部叶 2-3 回羽状分裂,叶片末回裂片纤细,连起来顶端呈现刚毛状;叶柄长 10 cm。花序伞形直径 6-10 cm;总苞片多数,1-2 回羽状分裂,与伞辐等长或较长;伞辐多数[长 60-100 (150) cm],着生于盘状花托上不等长,长 2-5 cm,花期开展,果期粗硬紧缩;小总苞片多数,与小伞形花序等长,小伞形花序有花多数;花柄与花、果等长或稍长;花瓣白色;萼齿细小。果实卵形或卵状长圆形,表面光滑无毛,长 2-2.5 mm,宽 1.5 mm。花期 6-10 月,果期 7-8 月(中国植物志编委会, 1985)。

阿米芹分布于欧亚各地,多生长于碱土高原和干旱坡地,耐旱、耐盐碱(中国植物志编委会, 1985),用种子繁殖,繁殖能力强,种植管理简便,目前已在石河子人工引种成功。

(图 1: A, B)。



图 1 新疆石河子地区与棉花间作种植的
阿米芹 (A) 及其花 (B)

Fig. 1 *Ammi visnaga* intercropping with cotton (A)
and its flowers (B) in Shihezi area of Xinjiang

1.2 药用价值

阿米芹作为一种植物药, 在国外传统医学中使用了上千年, 具有抑制草酸钙结晶及降低血液中甘油三酯含量的功能, 具有治疗泌尿系统结石的作用 (Kachkoul *et al.*, 2018); 可为扩张冠状动脉及抑制细胞释放炎症, 具有治疗心绞痛的作用 (Liu *et al.*, 2014); 还可刺激角质形成细胞释放炎症介质, 促进黑色素细胞生成, 具有治疗白癜风的作用 (Aydoğmuş-Öztürk *et al.*, 2019; Di Nardo *et al.*, 2019)。

阿米芹种子作为药用部分, 主要含有凯林 (Khellin)、齿阿米素 (Visnagin)、沙米丁 (Samidin)、二氢沙米丁 (Dihydrosamidin) 和维司那定 (Visnadin) 等化学成分。凯林又名基林、凯刺素和 ASPAS, 临床上用于治疗冠状动脉性疾病如狭心症和冠状血栓症等。此外, 还用于治疗斑秃、银屑病、支气管哮喘和白癜风等疾

病。齿阿米素在临床用于治疗尿毒症、高脂血症和支气管扩张等疾病。维司那定主要用于治疗冠心病。阿米芹种子还含有呋喃香豆精、吡喃香豆素、呋喃氯酮、呋喃诺酮、花椒毒素、佛手柑内脂、欧芹属素乙、异欧芹属素乙和异虎耳草素等化学成分。

1.3 优质蜜粉源植物

蜜粉源植物是指花粉、花蜜和花外蜜等自然蜜源丰富且易被天敌获取的显花植物, 可为天敌昆虫提供生境及营养支持 (华永刚等, 2023)。伞形科、菊科、蓼科和大戟科等植物, 或花冠筒浅且孔径较大, 或无花冠筒, 方便天敌昆虫取食花粉和花蜜, 是天敌昆虫嗜食的补充营养植物 (王建红等, 2015)。阿米芹花期为 6-10 月, 泌蜜丰富, 在棉田还未出现害虫时可为天敌昆虫提供丰富的花蜜和花粉资源作为营养补充, 提高天敌昆虫的寿命和寄生能力 (图 2: A-C)。待田间害虫发生时, 天敌能够从阿米芹迅速迁移至作物上进行生物控害, 在害虫危害初期就将害虫控制在较低水平, 减少天敌昆虫的跟随时间 (黄淑洋, 2024)。阿米芹花带可作为天敌的栖息生境, 为天敌昆虫提供生存、繁殖和越冬场所。增加非作物面积, 在目标保护作物周围种植功能植物, 可及时和充足地提供天敌昆虫资源, 缩短天敌昆虫搜寻食物所需时间, 从而提高天敌昆虫的控害能力 (欧阳芳和戈峰, 2011)。



图 2 阿米芹花上的多异瓢虫 (A)、中华通草蛉 (B) 和黄环粗股蚜蝇 (C)

Fig. 2 The adults of *Hippodamia variegata* (A), *Chrysoperla sinica* (B)
and *Syrirta pipiens* (C) on *Ammi visnaga*

2 阿米芹作用特点

阿米芹作为一种可以涵养多种天敌昆虫且花期较长的植物, 具有很多独特的优点。

2.1 涵养天敌

经典的生物防治中需要不断重复释放天敌, 成本相对较高。阿米芹于 4 月中下旬播种, 6 月中下旬进入花期, 花期长, 可从 6 月持续到 10 月, 整个花期可覆盖新疆农田害虫发生期。阿米芹可涵养多种昆虫, 国外研究表明在阿米芹上发现 65 种昆虫, 其中有 60 种为肉食性天敌 (Bugg et al., 2012)。本研究团队在新疆石河子地区调查发现, 阿米芹能涵养瓢虫、食蚜蝇、小花蝽、草蛉和寄生蜂等多种天敌昆虫, 可降低人工释放天敌的经济成本。在害虫大发生之前, 阿米芹可以把瓢虫等天敌昆虫维持在农田生态系统中, 为天敌提供大量的食物资源, 维持和增强天敌昆虫种群, 便于在害虫暴发前通过溢出效应向棉田迁移, 降低棉田中害虫初发生量, 增强天敌对害虫的生物控害作用。在作物收获后阿米芹仍处于花期, 瓢虫和草蛉等天敌缺乏食物及栖息生境, 转移到阿米芹上取食花粉和花蜜。阿米芹作为转移寄主继续涵养天敌, 为作物提供长期的害虫生态调控。在 450 m² 棉田小区旁种植 60 m² 阿米芹条带, 距离处理区 40 m 的棉田 (无间作阿米芹) 为对照, 对阿米芹种植区旁 0.5-5.0、5.5-10.0 和 10.5-15.0 m 3 个不同距离下棉田的主要天敌和害虫进行调查发现, 在棉田周边种植阿米芹后, 中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*、多异瓢虫、东亚小花蝽 *Orius sauteri* 和食蚜蝇等天敌数量增加, 蚜虫发生数量显著低于对照。其中中华通草蛉相较于对照在不同距离下增长率不同, 在 0.5-5.0、5.5-10.0 和 10.5-15.0 m 下的增长率分别为 79.79%、46.48% 和 22.69%; 多异瓢虫在不同距离下种群数量极显著高于对照, 在 0.5-5.0、5.5-10.0 和 10.5-15.0 m 下的增长率分别为 77.85%、68.33% 和 68.29%。

2.2 种子不易扩散为恶性杂草

全球范围内的外来入侵植物主要构成种类

为菊科、禾本科和苋科, 伞形科较少 (Wu et al., 2010)。阿米芹依靠种子繁殖, 种子在自然环境中发芽生长, 在成熟后易脱落且较重。种子传播方式为自体传播, 不依赖风媒传播, 直接掉落到地面继续进入下一个生长季, 成为下一年的种源 (杨鹏等, 2023)。种子不扩散到农田中, 避免成为杂草与作物争夺养分、水分和光照等资源, 对农田管理和作物生长十分有利。农民进行除草时, 不必额外花时间和精力去清除, 提高了农田管理效率。阿米芹种子会陆续成熟, 可以分期剪花盘收获, 晾晒 1-2 d 后手工搓取种子, 精选晒干可于第二年继续播种。

2.3 具有经济价值

阿米芹作为一种应用历史悠久的植物药, 应用范围广, 主要使用其原材料、提取物和活性成分, 目前国外已有颗粒、阿米芹液体、胶囊、泡腾剂、片剂等药物制剂用于治疗泌尿系结石、白癜风和心绞痛等疾病。中医认为阿米芹具有利尿通淋、活血化瘀和祛风除湿等作用, 是极具应用前景的中草药之一 (洪巧瑜等, 2022)。

阿米芹耐干燥, 培育养护也相对容易, 花色纯, 是较为常见的插花材料, 无论是单独使用还是和其他花材结合, 都能表现出独特的艺术价值。其花序伞形, 细长的花序形状独特, 与其他花材相结合, 可以填补花束空隙, 增加层次感。花型精细纤巧, 花朵聚集且充实饱满, 开花时间较长, 花形小且多, 可与其他大而圆的花朵形成对比, 增强整个插花作品的视觉冲击力。

2.4 建设美丽乡村

乡村建设在社会主义现代化建设中具有重要地位。统筹利用农村生产空间, 壮大特色产业, 种植一些开花的功能植物有助于建设美丽乡村, 利于水土保持减少对生态的破坏 (王鑫雨等, 2023)。阿米芹在石河子地区可从 6 月开花持续到 10 月, 对乡村田园具有美化功能并有很高的观赏价值。阿米芹果实成熟后洒落原地继续进入下一个生长季, 降低来年种植的成本和对土壤沙化造成的潜在风险。阿米芹对干旱、盐碱土地具有良好的适应性, 适合生长在干旱坡地, 根系发

达, 固土能力强。盐碱地绿化可以提高生态系统的稳定性, 提高土壤透水性和持水能力, 改善土壤结构, 增加土壤肥力(朱建峰等, 2018)。在乡村地区种植功能植物阿米芹, 兼顾环境整治、生态防治和农民增收, 是以人民为中心发展思想的成功实践。在田间地头大量种植有利于水土保持, 让农村成为安居乐业的家园; 有助于建设美丽乡村, 推动我国生态文明发展; 初步遏制农业生态环境恶化问题, 农村焕发新气象, 并促进绿水青山和金山银山的“双向”转换(何成军等, 2019)。

3 应用前景展望

实现农业高质量发展的关键是农业绿色发展(雷钦华等, 2023)。随着生态文明建设理念的不断深化, 我国越来越注重经济社会发展与生态环境保护协调统一, 各方面工作都朝着生态友好方向发展。农田生态景观建设可以进一步促进农田生产与农田生态之间的平衡, 在增强农田生产能力的同时, 避免生产工作对农田生态造成破坏。保护生态环境, 提高病虫害防控效率, 加强绿色可持续防控体系的构建, 促进传统化学防治向现代绿色防控转变, 需要大力发展绿色防控技术(李启云等, 2021)。利用景观格局进行生物控害, 从区域性的尺度开展农田景观设计涵养自然天敌, 实现对害虫的持续防治是开展害虫综合防治的重要手段(欧阳芳和戈峰, 2011; 赵紫华等, 2013)。选择适宜的功能植物开展区域性农田景观设计是农田景观设计涵养自然天敌持续调控害虫的新方法, 也是农业向生态集约化转变的重要途径(门兴元等, 2020)。应用阿米芹开展农田景观设计为害虫的综合防治和可持续控制提供了一条新途径, 为绿色农业发展提供了新思路。阿米芹涵养大量天敌持续性调控害虫实现生态控害, 具有较高的可靠性和可行性。间作阿米芹花带能降低经济损失, 减少化学农药使用; 减少农田和河流等化学农药污染; 减少粮食中农药残留, 提高农产品的安全性, 且利于提高农业生态系统的综合效益(黄淑洋, 2024)。

阿米芹的应用范围广, 在医药行业有着巨大

的开发市场和发展前景(洪巧瑜等, 2022)。随着人们对环境和食品安全等问题的重视程度加深, 阿米芹在农业上也具有十分广阔的应用前景。作为一种具有多种经济价值的植物, 区域性种植阿米芹可增强农田生态系统多样性, 恢复自然天敌持续调控害虫的能力。附近种植阿米芹的棉花田, 天敌昆虫数量显著增加, 害虫数量减少, 化学农药使用量大大减少, 生产出来的产品健康无公害, 市场价格及需求量大(黄淑洋, 2024)。阿米芹的种子作为药用部分, 采收方便, 可带来一定经济收益。此外, 阿米芹多生于盐碱地和干旱坡地, 种植阿米芹有利于提高土地的水土保持能力, 推动我国生态文明建设。阿米芹花期长, 其伞形花序具有很好的观赏价值可以美化乡村田园, 推动乡村生态环境建设, 有助于以绿色作底色描绘美丽乡村新画卷, 最终实现美丽生态。

功能植物是害虫生态调控中的重要组成部分, 种植功能植物阿米芹实现对农林生态系统的生态调控理论和技术体系需要考虑天敌的控害距离和控害能力, 具体增效及其控害机理还需要严谨科学的试验设计和重复多次的试验, 进而明确阿米芹对害虫控害效果和生态调控的机理, 最终建成可复制、可推广和可持续的技术模式。

参考文献 (References)

- Aydoğmuş-Öztürk F, Jahan H, Beyazit N, Günaydin K, Choudhary MI, 2019. The anticancer activity of visnagin, isolated from *Ammi visnaga* L., against the human malignant melanoma cell lines, HT 144. *Molecular Biology Reports*, 46(2): 1709–1714.
- Bugg LR, Wilson TL, 2012. *Ammi visnaga* (L.) Lamarck (Apiaceae): Associated beneficial insects and implications for biological control, with emphasis on the bell-pepper agroecosystem. *Biological Agriculture Horticulture*, 6(3): 241–268.
- Chen M, Zhou ZX, Luo JC, 2008. Niche and temporal pattern of arthropod community in cotton-alfalfa intercrop fields. *Acta Prataculturae Sinica*, 17(4): 132–140. [陈明, 周昭旭, 罗进仓, 2008. 间作苜蓿棉田节肢动物群落生态位及时间格局. 草业学报, 17(4): 132–140.]
- Chen XX, Liu YQ, Ren SX, Zhang F, Zhang WQ, Ge F, Ouyang F, Men XY, 2014. Plant-mediated support system for natural enemies of insect pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 1–12. [陈学新, 刘银泉, 任顺祥, 张帆, 张文庆, 戈峰,

- 欧阳芳, 门兴元, 2017. 区域性农田景观对昆虫的生态学效应与展望. *中国科学院院刊*, 32(8): 830–835.]
- Ge F, Ouyang F, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. *应用昆虫学报*, 51(3): 597–605.]
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, You M, 2017. Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62: 91–109.
- He CJ, Li XQ, Zeng C, 2019. Coupling development mechanism of beautiful countryside construction and rural tourism under the rural revitalization strategy. *Journal of Sichuan Normal University (Social Sciences Edition)*, 46(2): 101–109. [何成军, 李晓琴, 曾诚, 2019. 乡村振兴战略下美丽乡村建设与乡村旅游耦合发展机制研究. *四川师范大学学报(社会科学版)*, 46(2): 101–109.]
- Hong QY, Zhang JJ, Wang C, Wang LY, Zhang R, Le N, 2022. Discussion on the Chinese medicine properties of foreign botanical medicine *Ammi visnaga* L. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 37(4): 2284–2288. [洪巧瑜, 张建军, 王淳, 王林元, 张睿, 乐娜, 2022. 外来植物药阿米芹的中药药性探讨. *中华中医药杂志*, 37(4): 2284–2288.]
- Hua YG, Hong WY, Zhang LL, Chen R, Wu YJ, 2023. Research progress on promoting effect of the green prevention and control of nectar source plants on insect pests. *Journal of Zhejiang Agricultural*, 64(2): 421–424. [华永刚, 洪文英, 张莉丽, 陈瑞, 吴燕君, 2023. 蜜源植物对虫害绿色防控促进作用的研究进展. *浙江农业科学*, 64(2): 421–424.]
- Huang SY, 2024. Effect of functional plants on control of natural enemies in cotton field. Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [黄淑洋, 2024. 功能植物对棉田天敌控害作用的影响. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学.]
- Jiang L, Zheng Y, Liu GJ, Wang B, Tian CY, 2017. Characteristics of root distributions of *Prunus armeniaca* and *Medicago sativa* and soil physical and chemical properties under orchard intercropping mode. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 37(12): 2489–2495. [姜黎, 郑银, 刘国军, 王波, 田长彦, 2017. 果园间作模式下杏树与苜蓿的根系分布特征及其土壤理化性质研究. *西北植物学报*, 37(12): 2489–2495.]
- Kachkoul R, Sqalli Houssaini T, Miyah Y, Mohim M, El Habbani R, Lahrichi A, 2018. The study of the inhibitory effect of calcium oxalate monohydrate's crystallization by two medicinal and aromatic plants: *Ammi visnaga* and *Punica granatum*. *Progres en Urologie*, 28(3): 156–165.
- Kowalska J, Antkowiak M, Sienkiewicz P, 2022. Flower strips and their ecological multifunctionality in agricultural fields. *Agriculture*, 12(9): 1–14.
- Lei QH, Su SP, Sun XX, 2023. Research on the relationship between open innovation and provincial agricultural green development based on environmental regulation moderation. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 31(10): 1668–1682. [雷钦华, 苏时鹏, 孙小霞, 2023. 基于环境规制调节的开放式创新与省域农业绿色发展关系研究. *中国生态农业学报*, 31(10): 1668–1682.]
- Li QY, Lu Y, Sui L, Xu WJ, Du Q, Zhao Y, Zhang ZK, 2021. Plant protection and green development of agriculture. *Journal of Jilin Agricultural University*, 43(1): 9–15. [李启云, 路杨, 隋丽, 徐文静, 杜茜, 赵宇, 张正坤, 2021. 植物保护与农业绿色发展. *吉林农业大学学报*, 43(1): 9–15.]
- Li S, Jaworski CC, Hatt S, Zhang F, Desneux N, Wang S, 2021. Flower strips adjacent to greenhouses help reduce pest populations and insecticide applications inside organic commercial greenhouses. *Journal of Pest Science*, 94(3): 679–689.
- Liu Y, Asnani A, Zou L, Bentley VL, Peterson RT, Yu M, Wang Y, Dellaire G, Sarkar KS, Dai M, Chen HH, Sosnovik DE, Shin JT, Haber DA, Berman JN, Chao W, Peterson RT, 2014. Visnagin protects against doxorubicin-induced cardiomyopathy through modulation of mitochondrial malate dehydrogenase. *Science Translational Medicine*, 6(266): 266ra170.
- Meng XY, Dong ZK, Li LL, Yang QF, Zhang QQ, Ouyang F, Lu ZB, Li C, Yu Y, Zhuang QY, 2020. Advances in the integrated management of wheat pests based on ecological regulation. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 59–69. [门兴元, 董兆克, 李丽莉, 杨泉峰, 张晴晴, 欧阳芳, 卢增斌, 李超, 于毅, 庄乾营, 2020. 基于生态调控的小麦害虫综合治理研究进展. *应用昆虫学报*, 57(1): 59–69.]
- Ouyang F, Ge F, 2011. Effects of agricultural landscape patterns on insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 22(5): 1177–1183. [欧阳芳, 戈峰, 2011. 农田景观格局变化对昆虫的生态学效应. *应用昆虫学报*, 22(5): 1177–1183.]
- Pokharel SS, Yu H, Fang W, Parajulee MN, Chen F, 2023. Intercropping cover crops for a vital ecosystem service: A review of the biocontrol of insect pests in tea agroecosystems. *Plants (Basel)*, 12(12): 2361.
- Su WW, Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F, 2020. Characteristics and potential uses of the functional plant *Sonchus arvensis* L. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 226–232. [苏文雯, 杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2020. 功能植物苣荬菜的特征及其应用潜能. *应用昆虫学报*, 57(1): 226–232.]
- Sun YR, Luo XL, Zeng YY, Zhao ZH, 2017. Types of functional

- plant and its bio-controlling effect in agricultural landscape. *China Plant Protection*, 37(9): 21–28. [孙玉荣, 罗晓玲, 曾译影, 赵紫华, 2017. 农田景观中功能植物的类型及其生物控害作用. 中国植保导刊, 37(9): 21–28.]
- Wang JH, Qiu LF, Che SC, Yu GY, Shao JL, Zhong L, 2015. The effects of floral resource plants on natural enemy insects and implications for biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 289–299. [王建红, 仇兰芬, 车少臣, 虞国跃, 邵金丽, 仲丽, 2015. 蜜粉源植物对天敌昆虫的作用及其在生物防治中的应用. 应用昆虫学报, 52(2): 289–299.]
- Wang XY, Zhang Y, Guan YH, Sun YQ, Su Y, Wang ZR, Wu HL, 2023. Soil and water conservation effect and mechanism analysis of different plants in ephemeral gully of farmland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 37(1): 23–30. [王鑫雨, 张艳, 关颖慧, 孙义秋, 苏雨, 汪志荣, 吴海龙, 2023. 农田浅沟中不同植物的水土保持效果和机理分析. 水土保持学报, 37(1): 23–30.]
- Wu SH, Sun HT, Teng YC, Rejm á nek M, Chaw SM, Yang TYA, Hsieh CF, 2010. Patterns of plant invasions in China: Taxonomic, biogeographic, climatic approaches and anthropogenic effects. *Biological Invasions*, 12(7): 2179–2206.
- Yan XY, Wang H, Zhang YJ, Zhao JN, Yang DL, Zhang GL, 2023. Research progress on ecological regulation to crop pests using agricultural biodiversity. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(3): 710–717. [闫雪影, 王慧, 张艳军, 赵建宁, 杨殿林, 张贵龙, 2023. 农业生物多样性对农作物害虫生态调控的研究进展. 中国生物防治学报, 39(3): 710–717.]
- Yang P, He Z, Hu JH, Jin CZ, Liu YB, 2023. The mechanisms of seed dispersal in improving biodiversity. *Journal of Plant Protection*, 50(5): 1244–1253. [杨鹏, 何志, 胡军和, 金晨钟, 刘勇波, 2023. 种子传播提高生物多样性的机制. 植物保护学报, 50(5): 1244–1253.]
- Yang QF, Li Z, Ouyang F, Meng XY, Zhang KN, Liu M, Guo W, Zhu CG, Zhao WL, Reddy GV, Ge F, 2022. Flower strips promote natural enemies, provide efficient aphid biocontrol, and reduce insecticide requirement in cotton crops. *Entomologia Generalis*, 43(2): 421–432.
- Yang QF, Men XY, Zhao WL, Li C, Zhang QQ, Cai ZP, Ge F, Ouyang F, 2021. Flower strips as a bridge habitat facilitate the movement of predatory beetles from wheat to maize crops. *Pest Management Science*, 77(4): 1839–1850.
- Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F, 2018. Discovery and utilization of a beneficial plant, rich in the natural enemies of insect pests, in northern China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 942–947. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2018. 北方富含天敌的功能植物的发现与应用. 应用昆虫学报, 55(5): 942–947.]
- Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F, 2020. The working principles, methods and future researches of the functional plant. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 41–48. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2020. 功能植物的作用原理、方式及研究展望. 应用昆虫学报, 57(1): 41–48.]
- Zaviezo T, Muñoz AE, 2023. Conservation biological control of arthropod pests using native plants. *Current Opinion in Insect Science*, 56: 101022.
- Zhao ZH, Ouyang F, Men XY, Liu JH, He DH, Ge F, 2013. Habitat management in biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 879–889. [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 刘军和, 贺达汉, 戈峰, 2013. 生境管理—保护性生物防治的发展方向. 应用昆虫学报, 50(4): 879–889.]
- Zhu JF, Cui ZR, Wu CH, Deng C, Chun JH, Zhang JH, 2018. Research advances and prospect of saline and alkali land greening in China. *World Forestry Research*, 31(4): 70–75. [朱建峰, 崔振荣, 吴春红, 邓丞, 陈军华, 张华新, 2018. 我国盐碱地绿化研究进展与展望. 世界林业研究, 31(4): 70–75.]
- Zhu PY, 2012. Ecological functions of flowering plants in enhancing biological control of key natural enemies on rice planthopper. Master dissertation. Jinhua: Zhejiang Normal University. [朱平阳, 2012. 显花植物对稻飞虱卵期主要天敌的生态功能. 硕士学位论文. 金华: 浙江师范大学.]
- Zhu PY, Lu ZX, Heong KL, Chen GH, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Nicol HL, Gurr GM, Glinwood R, 2014. Selection of nectar plants for use in ecological engineering to promote biological control of rice pests by the predatory bug, *Cyrtorhinus lividipennis*, (Heteroptera: Miridae). *PLoS ONE*, 9(9): e108669.