

二十一世纪以来稻纵卷叶螟研究进展与展望^{*}

杨亚军^{1**} 鲁艳辉¹ 刘晓微¹ 卓富彦² 张熠珧² 李阿根³

田俊策¹ 郑许松¹ 郭嘉雯¹ 徐红星¹ 吕仲贤^{1***}

(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310021; 2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100026; 3. 杭州市余杭区农业生态与植物保护服务站, 杭州 311199)

摘 要 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 是水稻的重要害虫之一, 被农业农村部列入我国一类农作物病虫害名录。21 世纪以来, 随着现代分子生物学、组学、生态学等学科的发展, 稻纵卷叶螟相关的应用基础研究与防控技术研究发展迅速。本文梳理了 21 世纪以来稻纵卷叶螟在种群发生与监测预警技术、非生物因子影响、生物互作、生理生化与分子生物学及绿色防控技术等方面的研究进展, 并对今后稻纵卷叶螟的研究与防控等提出展望。旨在推动我国稻纵卷叶螟应用基础研究及绿色防控技术的转型升级, 进而保障国家水稻生产安全和生态安全。

关键词 稻纵卷叶螟; 水稻害虫; 绿色防控; 害虫管理

Progresses and prospects on research of rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* since the 21st century

YANG Ya-Jun^{1**} LU Yan-Hui¹ LIU Xiao-Wei¹ ZHUO Fu-Yan² ZHANG Yi-Yang² LI A-Gen³
TIAN Jun-Ce¹ ZHENG Xu-Song¹ GUO Jia-Wen¹ XU Hong-Xing¹ LÜ Zhong-Xian^{1***}

(1. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agriculture Sciences, Hangzhou 310021, China;

2. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100026, China;

3. Yuhang's Management Station for the Agricultural Ecology and Plant Protection of Hangzhou, Hangzhou 311199, China)

Abstract The rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis*, is a serious pest in paddy fields and is classified as a Class I agricultural pest by China's Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Since the 21st century, with the development of contemporary molecular biology, omics, ecology, and related fields, research on the applied fundamentals and control technologies of *C. medinalis* has gained lots of progress rapidly. This article reviews the 21st century research advancement in *C. medinalis* population dynamics and monitoring forecasts technology, the effects of abiotic factors, biological interactions, physiological, biochemical, and molecular biological foundations, as well as sustainable management technologies. This review aims to accelerate applied fundamental research and the updates of the sustainable management technologies for *C. medinalis* in China, therefore ensuring national food security and environmental safety.

Key words *Cnaphalocrocis medinalis*; rice insect pests; sustainable management; pest management

水稻 *Oryza sativa* 是我国重要的粮食作物, 2023 年我国水稻种植面积达 2 894.9 万 hm^2 , 水稻的安全生产对国民经济具有重要作用(国家统计局, 2024)。然而, 生产过程中水稻常遭受病虫害危害, 造成产量损失。稻纵卷叶螟

Cnaphalocrocis medinalis 是我国水稻上的重要害虫之一, 2023 年再次被农业农村部列入我国一类农作物病虫害名录(中华人民共和国农业农村部, 2023)。稻纵卷叶螟主要以幼虫纵卷叶并取食叶片为害, 可造成水稻叶片刮白等为害状(杨

^{*}资助项目 Supported projects: 浙江省自然科学基金 (LZ24C140007); 国家水稻产业技术体系 (CARS-01)

^{**}第一作者 First author, E-mail: yargiuneyon@163.com

^{***}通讯作者 Corresponding author, E-mail: luzxmh@163.com

收稿日期 Received: 2025-08-01; 接受日期 Accepted: 2025-08-28

亚军等, 2015)。21 世纪以来, 国内外学者在稻纵卷叶螟种群发生与监测预警技术、非生物因子影响、生物互作、生理生化与分子生物学及绿色防控技术等方面研究取得诸多进展, 本文对其进行梳理总结, 并对今后稻纵卷叶螟的研究与防控等方面提出展望, 以推动稻纵卷叶螟应用基础研究和绿色防控技术转型与进步, 进而保障国家粮食安全和生态安全。

1 种群发生与监测预警技术

1.1 种群结构与数量动态

稻纵卷叶螟有多个近缘种, 如稻显纹纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis exigua*、宽纹刷须野螟 *Cnaphalocrocis patnalis* 等, 它们形态相近, 为害特征类似 (Barrion *et al.*, 1991)。我国南方稻区水稻上纵卷叶类害虫主要以稻纵卷叶螟为主, 川东南地区稻纵卷叶螟与其近缘种稻显纹纵卷叶螟、滇西南稻纵卷叶螟与其近缘种宽纹刷须野螟常混合发生, 稻纵卷叶螟与其近缘种的种群结构也会发生动态变化, 其近缘种常成为优势种 (杨亚军等, 2019, 2020)。Yang 等 (2017) 利用分子生物学方法比较了稻纵卷叶螟与其近缘种宽纹刷须野螟的 ITS2 分子特征, 并分析了不同地理种群间的差异。Moulita 等 (2023) 分析了印度西孟加拉邦北部稻田生态系统中水稻纵卷叶螟的物种组成、发生模式及其季节性变化, 发现 71.21% 为稻纵卷叶螟, 23.76% 为宽纹刷须野螟。来自印度喀拉拉邦的稻纵卷叶螟与巴布亚新几内亚样本完全一致, 澳大利亚和中国种群与印度喀拉拉邦种群的差异仅为 0.22%, 印度旁遮普与喀拉拉邦种群的差异为 0.45% (Mashhoor *et al.*, 2019)。稻纵卷叶螟印度种群的单倍型和核苷酸多样性较亚洲其他地区更高, 表明存在遗传变异或经历了种群扩张 (Dash *et al.*, 2025)。我国和韩国稻纵卷叶螟种群遗传变异主要在种群内部水平上, 表明由于高基因流, 种群间联系紧密的迁徙昆虫的遗传结构特征, 但检测到海南岛海口种群与大多数其他种群相比, 在 ITS2 基因座上具显著差异 (Wan *et al.*, 2011)。Hsieh 等 (2023)

通过线粒体和核酸分子标记方法分析了我国台湾地区稻纵卷叶螟的遗传结构, 发现该地区稻纵卷叶螟与临近地区稻纵卷叶螟无显著的遗传分化。2000 年以来, 我国稻纵卷叶螟发生日趋严重, 其中 2003 年出现全国性的特大暴发, 而后连年猖獗为害, 2007 年再次全国性大暴发 (刘宇等, 2008)。2003-2010 年间有 6 年稻纵卷叶螟发生面积超过 2 000 万 hm^2 (郭荣等, 2013)。2013-2022 年我国稻纵卷叶螟平均年发生面积 0.14 亿 hm^2 次, 年均实际损失达 35.07 万吨, 年均挽回稻纵卷叶螟为害损失达 367.04 万吨 (卓富彦等, 2024)。

1.2 迁飞生物学特性

稻纵卷叶螟具有远距离迁飞特性, 我国每年初发世代虫源均由南方迁飞而来。稻纵卷叶螟迁飞与高空气流、温度、降水和湿度等气象条件有很大关系。925-850 hPa 高度层气流是决定稻纵卷叶螟迁飞方向和速度的主导气流; 温度是决定稻纵卷叶螟起飞的主要因子, 19-28 $^{\circ}\text{C}$ 为其适宜迁飞的地面温度; 降水和下沉气流影响害虫的降落地点, 降落高峰期当天和前一天有降水的概率为 85.8% (白先达等, 2010)。稻纵卷叶螟空中虫群呈现聚集成层特点, 虫层多在 100-500 m 高度之间形成, 有时形成 2 个虫层, 成层现象与低空急流关系密切, 但与温度无直接关系 (高月波等, 2008)。稻纵卷叶螟具有很强的再迁飞能力, 其种群一次迁飞的个体比率均大于 90%, 2 次 (夜) 再迁飞的比率达 70% 以上, 一般可进行 4-5 次 (夜) 再迁飞, 最多可达 9 次 (夜); 成虫补充营养对再迁飞能力无显著影响, 但可增强成虫的飞行能力 (王凤英等, 2010)。在迁飞过程中相当部分雌蛾可进行 1-5 次以上的再迁飞, 卵巢发育、交配可与再迁飞同步进行, 卵子发生与飞行共轭现象在稻纵卷叶螟再迁飞期间并不存在 (黄学飞等, 2010)。26 $^{\circ}\text{C}$ 条件下成虫的飞行时间最长、飞行速度最快、飞行距离最远, 种群的再迁飞比例最高, 再迁飞次数最多 (平均 2.42 次, 最多 5 次) (杨帆和翟保平, 2016)。成虫营养是影响稻纵卷叶螟初羽化成虫迁飞的环境因

素之一, 成虫饥饿能增加稻纵卷叶螟的起飞比例, 羽化后 1 日龄饥饿后即使恢复营养其起飞比例在 3 日龄仍显著高于不饥饿组, 初羽化成虫饥饿使其起飞倾向增强; 羽化后 2 d 内的短期饥饿对稻纵卷叶螟的飞行能力没有显著影响 (郭嘉雯, 2019)。光变化会引起稻纵卷叶螟成虫体内 *CRY1*、*CRY2*、*JHAMT*、*Met* 表达量的变化, 并且变化的时间点与起飞高峰期相似; 隐花色素相关基因 *CRY1*、*CRY2* 可能参与调控了保幼激素相关基因 (如 *JHAMT*、*Met*) 的表达, 从而促使稻纵卷叶螟迁飞起飞 (崔宇, 2021)。稻纵卷叶螟在下午或傍晚光强逐渐减弱至 0.1 lx 的条件下起飞, 全光谱或蓝光下的起飞比例显著高于红绿光, *CYP-1* 参与调控稻纵卷叶螟因光强降低而产生的起飞行为 (Sun *et al.*, 2024)。

Zhou 等 (2025) 系统研究了 2017-2024 年间稻纵卷叶螟在南海的迁徙规律, 发现稻纵卷叶螟全年持续迁徙, 9-10 月为迁徙高峰期, 且性成熟与交配雌虫比例随时间推移逐步增加; 主要在春夏季节向北迁徙, 秋冬则进行返程迁徙。Zhang 等 (2025a) 研究发现过去 12 年间主导往北季风时间比以往偏长, 导致本地稻纵卷叶螟成虫无法南迁, 当前生长季后期季风有利于稻纵卷叶螟迁入长江下游稻区。我国西南稻纵卷叶螟 6-11 月迁入活动分为三个阶段: 第一阶段 (6-7 月中) 缅甸中部及泰国、老挝越南迁来的少量种群; 第二阶段 (7 月底-8 月) 迎来大量迁入种群, 瑞丽种群主要来自缅甸, 然后由此扩散至云南中西部地区; 第三阶段 (9-11 月) 迁飞末季种群数量减少, 主要由瑞丽种群及由缅甸中部扩散至我国西南的种群组成 (Song *et al.*, 2025)。渤海岛屿上灯光诱捕试验表明稻纵卷叶螟可以定期穿越渤海迁徙至我国东北, 2003-2013 年间其迁徙周期为 72-122 d 不等 (Fu *et al.*, 2014)。

1.3 监测预警技术

精准监测预警对于稻纵卷叶螟的可持续治理至关重要。稻纵卷叶螟精准监测预警包括种群数量监测预警、种群危害监测预警及种群特性监测预警。种群数量监测预警和种群危害监测预警

是对稻纵卷叶螟发生程度与危害程度的监测与预警, 有助于判定稻纵卷叶螟的防治时期。水稻叶片成像光谱特征可对稻纵卷叶螟为害进行长期、动态的监测, 由其敏感波段构建的植被指数能够有效估测稻纵卷叶螟为害下的水稻产量 (黄璐等, 2023)。包云轩等 (2023) 建立基于高光谱参数的水稻受稻纵卷叶螟为害的生理生态参数估算模型, 相关因子估算模型的 SPAD 估算值与实测值拟合度很高, 为稻纵卷叶螟为害下的水稻 SPAD 值估测提供了一种精度较高且可行的估算方法。利用无人机多光谱影像监测稻纵卷叶螟为害, 构建模型得到的卷叶率分布图与实际调查结果基本一致 (田明璐等, 2020; 郭铭淇等, 2023)。Adhikari 等 (2023) 采用高光谱遥感特征选择的方法, 通过 RELIEFF 算法进行频带组合计算, 发现 518、661 和 731 nm 的频带计算预测稻纵卷叶螟为害的准确率最高为 81.67%。Chen 等 (2023) 开发了稻纵卷叶螟为害症状检测系统 (CMRD-Net), 该系统由水平-旋转区域建议网络 (H2R-RPN) 和旋转-旋转区域卷曲神经网络 (R2R-RCNN) 组成, 该方法可达 73.7% 的平均检准率, 比水平检测法更适合田间稻纵卷叶螟为害调查。Chen 等 (2024) 建立了一种基于无锚任意定向数据网络的旋转两级稻纵卷叶螟为害检测方法 (TSAF-Net), 该方法能实现 80% 的平均精度 (AP), 比相应的水平探测器高出 2.3%, 可视化结果显示其比通用检测方法具特殊的定位能力。利用 MaxEnt 模型可以预测气候变化背景下我国稻纵卷叶螟的可能分布 (Zhao *et al.*, 2024)。智能化监测设备也开始应用于稻纵卷叶螟的种群监测, 其中江苏省坚持“分步实施、稳步推进”的原则, 将稻纵卷叶螟智能性诱监测设备“聚点成网”, 提升了稻纵卷叶螟种群监测效率, 推动稻纵卷叶螟种群监测工作的信息化 (张海波等, 2023)。种群特性监测预警则是对抗药性等种群特性做出监测与预警, 有助于合理选用合适的防控手段。稻纵卷叶螟抗药性及其抗性机制研究也将有助于稻纵卷叶螟防控策略的制定, 推动稻纵卷叶螟的精准防控 (Sun *et al.*, 2023; 王立等, 2024)。稻纵卷叶螟新型监测预

警技术的研究、开发与应用将提高稻纵卷叶螟发生与为害的监测预警的准确性,有助于明确稻纵卷叶螟的种群特性,为稻纵卷叶螟精准防控提供技术支撑。

2 非生物因子对稻纵卷叶螟的影响

温度、湿度等非生物因子也是影响稻纵卷叶螟的重要因素。Yang 等 (2024) 比较变温和恒温环境下两种水稻纵卷叶螟的生命表参数差异。朱阿秀和刘向东 (2024) 发现稻纵卷叶螟蛹对高温较为敏感,热击影响其发育、存活和繁殖力,可根据蛹期高温及持续时长预测稻纵卷叶螟种群的发生数量。热击还可抑制稻纵卷叶螟交配和精子转移 (Liao *et al.*, 2014)。Quan 等 (2024) 发现热适应诱导 DNA 甲基化,协调热应激记忆,并影响氧化还原酶基因的表达水平和 SOD 活性,热应激记忆增强了稻纵卷叶螟对全球变暖的适应能力。Wang 等 (2024) 分析了气候变化环境下微气候和卷叶行为对稻纵卷叶螟等害虫生长的影响,认为具卷叶行为个体常具低体温,考虑到微气候,随着温度升高具卷叶行为个体较不具卷叶行为个体生长发育更慢。Quan 等 (2023) 发现葡萄糖脱氢酶 (Glucose dehydrogenases) 介导了稻纵卷叶螟对气候变暖的适应,稻纵卷叶螟可能通过上调葡萄糖脱氢酶基因 *CmGMC10* 增加抗氧化酶活性,减轻热胁迫带来的氧化性损伤。Saikia 等 (2019) 发现平均温度、相对湿度及强光时长与稻纵卷叶螟发生具有显著关联。Sharma 等 (2024) 发现作物物候和环境因子可影响稻纵卷叶螟的发生,降雨、早晨相对湿度、平均相对湿度、最高温度等非生物因素对稻纵卷叶螟的发生有显著的正向影响。非靶标农药使用可能会引起稻纵卷叶螟再猖獗问题,防控稻飞虱的噻嗪酮和吡虫啉能够刺激稻纵卷叶螟产卵,田间吡虫啉 37.5 g/hm^2 (有效成分用量) 喷雾后稻纵卷叶螟幼虫体重显著高于未处理组 (王芳和吴进才, 2008; 戈林泉等, 2014)。靶标农药长期使用会导致稻纵卷叶螟产生抗药性 (Zhang *et al.*, 2014, 2025b; Sun *et al.*, 2023; Subhagan *et al.*, 2025)。农药亚致死剂量可以影响稻纵卷

叶螟的生长发育与繁殖、解毒酶活性及卷苞行为 (Yang *et al.*, 2018; 杨亚军等, 2018)。

3 生物互作

生物因子是影响稻纵卷叶螟的重要因素,其中稻纵卷叶螟与水稻之间相互作用研究有助于理清相关互作机制,指导水稻抗虫育种。稻纵卷叶螟卷苞和取食行为可以被水稻植株接收,并诱导水稻启动防御反应 (Shi *et al.*, 2019)。稻纵卷叶螟取食水稻可诱导水稻叶片快速、精确的防御反应,参与许多初级和次生代谢过程,茉莉酸 (Jasmonic acid, JA) 依赖性信号通路在水稻植株对稻纵卷叶螟的反应中起着至关重要的作用 (Wang *et al.*, 2020; Tong *et al.*, 2023)。此外,稻纵卷叶螟取食可影响水稻叶片的总酚含量、植物防御酶活性,降低脱落酸和水杨酸含量;在二氧化碳和温度升高的条件下,水稻植株的脱落酸含量高于环境条件下的植株,第二代和第三代稻纵卷叶螟成虫的体长更长 (Tu *et al.*, 2018)。稻纵卷叶螟幼虫卷叶行为在不同水稻品种间有差异 (Liao and Chen, 2017)。Xu 等 (2010) 发现叶片为害指数高的水稻品种更适合稻纵卷叶螟幼虫取食与定殖。Zhao 等 (2023) 发现抗稻纵卷叶螟的水稻株系 P213 上稻纵卷叶螟幼虫体重降低、卷苞时间延长,认为化学防御 (水杨酸和黄酮类化合物含量的提高) 和物理防御能力 (较大的微毛和长大毛密度以及叶片组织中更高的硅含量) 是其抗性表现的主要原因。抗性水稻品种上稻纵卷叶螟幼虫相对生长速率慢、死亡率高,且抗性品种中苯丙氨酸氨裂解酶的表达水平更高;稻纵卷叶螟取食后茉莉酰异亮氨酸和水杨酸含量高于对照品种 (Guo *et al.*, 2019)。稻纵卷叶螟取食后不同水稻品种呈现不同的氧化应激反应,其中甬优 1540 防御反应更为强烈,不利于稻纵卷叶螟幼虫种群发展 (Zhao *et al.*, 2024)。稻纵卷叶螟取食会引起水稻基因表达的快速响应,其中转录水平变化显著发生在取食 6 h 后,而代谢物丰度变化则相对缓慢;水稻对稻纵卷叶螟取食的转录水平响应主要涉及蛋白激酶、转录因子、次生代谢产物生物合成、光合

作用及植物激素信号传导相关基因, 稻纵卷叶螟取食诱导的茉莉酸依赖性信号通路, 在水稻抵御该害虫的防御机制中发挥着关键作用 (Wang *et al.*, 2020)。再生稻母代稻纵卷叶螟和稻飞虱取食可以诱导再生季水稻的防御, 获取的对稻纵卷叶螟的抗性与茉莉酸依赖的防卫反应相关 (Deng *et al.*, 2022)。茉莉酸信号调控稻纵卷叶螟诱导的胰蛋白酶抑制剂和苯乙酰胺类等防御物质的积累, 介导水稻对稻纵卷叶螟的抗性 (Zhuang *et al.*, 2022)。在防御稻纵卷叶螟的过程中, 硅和茉莉酸之间存在强烈的相互作用, 涉及水稻中硅对茉莉酸介导的防御反应的启动, 以及茉莉酸对硅积累的促进 (Ye *et al.*, 2013)。

除了寄主互作之外, 稻纵卷叶螟与其肠道菌、病原菌之间的相互作用也至关重要。发育时期、食料、温湿度、地理因素等多种因素可以影响昆虫肠道菌群组成 (Yang *et al.*, 2020, 2022a, 2022b; Li *et al.*, 2022a)。不同地理种群内稻纵卷叶螟肠道菌主要由随机过程决定, 而不同地理种群间的稻纵卷叶螟肠道菌群落主要由确定性过程决定 (Yang *et al.*, 2022b)。Lin 等 (2024) 研究发现不同水稻品种对稻纵卷叶螟中肠道细菌的相对丰度有显著影响, 为研究昆虫肠道细菌与其相关寄主植物之间的关系提供了新的思路。Li 等 (2024) 研究结果发现稻纵卷叶螟肠道菌群受 CnmeGV 病原体感染动态驱动, CnmeGV 感染诱导了与代谢和免疫系统相关的功能基因的显著富集改变, 包括碳水化合物、氨基酸、辅助因子和维生素代谢等过程。Pan 等 (2024) 发现与单独的肠道菌对稻纵卷叶螟的影响是不同的, 稻纵卷叶螟具有互利和致病的肠道菌, 表明靶向肠道菌群可能成为一种潜在的防控技术手段。

4 生理生化与分子生物学研究

21 世纪以来, 随着转录组测序、全基因组测序等技术的发展, 稻纵卷叶螟组学数据及重要基因的挖掘也越来越多, 有助于阐明稻纵卷叶螟种群特征及生理学机制, 为新型防控技术开发提供了分子靶标。Zhao 等 (2021) 和 Xu 等 (2022) 利用 Illumina 和 PacBio 技术测定并分析了稻纵

卷叶螟与其近缘种稻显纹纵卷叶螟的基因组, 并利用 Hi-C 技术将两者的基因组提升至染色体水平, 其中稻纵卷叶螟基因组为 434.5 Mb。赵现馨 (2022) 还分析了不同国家和地区稻纵卷叶螟群体的种群特征。Zhang 等 (2020) 比较了稻纵卷叶螟与稻显纹纵卷叶螟线粒体 DNA 的特性。表 1 为已鉴定和研究的稻纵卷叶螟重要基因。稻纵卷叶螟选择、取食、卷叶、交配等行为的相关研究与稻纵卷叶螟嗅觉结合蛋白等相关基因的解析, 及稻纵卷叶螟气味结合蛋白与植物挥发物互作的分子特征的研究为阐明植物挥发物对稻纵卷叶螟的吸引机制奠定了基础, 有助于信息素等行为调控类防控产品的开发与利用 (Zeng *et al.*, 2018; Cheng *et al.*, 2023; Qian *et al.*, 2024)。与抗药性相关、特定生理功能相关的基因信息与功能的解析, 将促进基于特定靶点的绿色防控产品的开发 (Li *et al.*, 2022b; Han *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2023)。Yang 等 (2020, 2021) 研究了稻纵卷叶螟中肠液的特性, 探究了其在 Cry 蛋白降解过程中的作用。生理生化与分子生物学技术应用助推稻纵卷叶螟相关研究, 为解析稻纵卷叶螟生物学特性奠定基础, 有助于新型防控技术的开发与应用。

5 稻纵卷叶螟绿色防控技术

5.1 绿色防控技术框架

21 世纪以来, 稻纵卷叶螟绿色防控的理念与技术研究得到新的发展与完善, 而且随着绿色发展理念的不断推进, 各地植保部门在“预防为主、综合防治”的植保方针的指引下, 积极推广稻纵卷叶螟绿色防控技术措施, 为有效控制稻纵卷叶螟的发生危害, 保障我国水稻安全生产作出了重要贡献。稻纵卷叶螟绿色防控措施分为三类: 一为基础性措施, 包括生态调控和健身栽培, 其中生态调控主要是维持或增加生态系统的控害能力, 健身栽培则是提升或应用植株的抗 (耐) 虫特性; 二为常规绿色防控措施, 包括行为调控和生物防治, 主要降低成虫或幼虫的种群数量; 三为应急防控措施, 主要为科学用药, 应急防控稻纵卷叶螟、减轻其对水稻的危害 (Yang *et al.*,

表 1 已研究的稻纵卷叶螟重要基因
Table 1 Important genes studied in *Cnaphalocrocis medinalis*

基因 Genes	主要功能 Main function	文献 References
化学感受蛋白、气味结合蛋白、气味受体 Chemosensory protein (CSPs), odorant binding proteins (OBPs), olfactory receptor (ORs)	嗅觉相关功能 Involving in olfactory function	Zeng <i>et al.</i> , 2013; 王楚楚, 2022; Cheng <i>et al.</i> , 2023; Du <i>et al.</i> , 2023
鱼尼丁受体 Ryanodine receptor (RyR)	介导生物体胞内钙离子 (Ca^{2+}) 释放而对肌肉兴奋-收缩耦联等生命活动起关键作用 Mediating the release of intracellular calcium ion (Ca^{2+}) in organisms and playing a key role in life activities such as muscle excitation-contraction coupling	李艳青, 2012; Sun 等, 2023
钠离子通道 Sodium channels	与动作电位产生有关 Involving in action potential generation	李艳青, 2012
谷胱甘肽 S-转移酶 Glutathione S-transferase (GST)	杀虫剂及其他外源化合物的解毒 Involving in detoxification of insecticides and other forms of xenobiotic chemical	Liu <i>et al.</i> , 2015a; 张邦贤, 2017
γ -氨基丁酸受体 GABA receptor	配体门控氯离子通道型受体, 抑制神经递质 Ligand-gated chloride ion channel receptor, inhibitory neurotransmitter	王雪松, 2020
ABC 转运蛋白 ATP-binding cassette transporter	跨膜物质转运蛋白超家族, 转运小到各种离子大到蛋白的物质 Transmembrane transporter superfamily, transporting substances from small ions to large proteins	Yang <i>et al.</i> , 2023
葡萄糖胺-6-磷酸 N-乙酰转移酶 Glucosamine-6-phosphate N-acetyltransferase	几丁质合成通路关键酶 Key enzyme in chitin synthesis pathway	Shakeel <i>et al.</i> , 2024
dsRNA 降解酶 CmdsRNase	快速降解 dsRNA 分子 Rapidly degrading dsRNA molecules	Li <i>et al.</i> , 2022b; Mo <i>et al.</i> , 2025; Wang <i>et al.</i> , 2025b;
丝素蛋白 (丝素重链、丝素轻链) Fibroin [fibroin heavy chain (CmFib - H), fibroin light chain (CmFib - L)]	丝蛋白核心组分 Core components of silk protein	Wang <i>et al.</i> , 2025a; Xie <i>et al.</i> , 2025
血色素蛋白 Hemolins	一类免疫球蛋白, 参与变态发育及对杆状病毒的免疫识别 Immunoglobulin involving in metamorphosis and immune recognition of baculovirus	Han <i>et al.</i> , 2023
细胞质多腺苷酸化序列结合蛋白 Cytoplasmic polyadenylation element binding protein 2 (CPEB2)	调节交配诱导的卵成熟 Involved in mating-induced egg maturation	Duan <i>et al.</i> , 2025
UDP-N-乙酰葡萄糖胺焦磷酸化酶 UDP-N-Acetylglucosamine Pyrophosphorylase	几丁质生物合成的关键酶, 在昆虫的发育中起重要作用 Key enzyme in chitin synthesis, functioning in the insect development	Zhou <i>et al.</i> , 2021
己糖激酶 Hexokinase	几丁质生物合成的关键酶, 在昆虫的发育和能量调节中起重要作用 Key enzyme in chitin synthesis, functioning in the insect development and energy regulation	Shakeel <i>et al.</i> , 2020
细胞色素 P450 酶 Cytochrome P450 proteins	解毒代谢 Detoxification and metabolism	Chen <i>et al.</i> , 2015; Liu <i>et al.</i> , 2015b

2025)。第一类基础性措施是构建稳定生态系统、增加生态系统控害能力的保障;第二类措施是第一类措施的补充,对于压低稻纵卷叶螟种群具有重要作用;第三类措施是应急措施,是稻纵卷叶螟种群突发性增加、危害性大时的兜底措施(图1)。三类措施展现了不同层次的稻纵卷叶螟防控策略,措施之间的协调使用将构建可持续的稻纵卷叶螟治理体系,有效应对稻纵卷叶螟的危害,将稻纵卷叶螟种群控制在经济阈值之下。

5.2 基础性措施

害虫生态调控主要是利用农田生态系统内部和外部、生物和非生物因素,通过“控制”和“调节”害虫种群密度这两个相辅相成的过程,构建“经济、简便、有效”的生态工程技术体系,将害虫控制在生态经济阈值水平之下,以达到害虫管理的策略(戈峰,2020)。通过生态调控技术措施可提高稻田天敌种类和数量,以达到控制稻纵卷叶螟等害虫的作用。水稻害虫生态调控技术主要通过合理利用非稻田生境、冬季作物等保护天敌、增加天敌多样性,合理选配芝麻、酢浆草、稗谷草等功能植物,提升天敌控害作用,以达到增加生态系统服务功能(陈桂华等,2016;赵燕燕等,2017;郑许松等,2017;Zhu *et al.*, 2018)。该技术可提高稻纵卷叶螟天敌功能团(如蜻蜓目、蜘蛛目的肖蛸科、寄生蜂等)的数量,还可提高中性昆虫的数量,对于水稻生长后期发挥天敌的控害作用具有重要意义(朱平阳等,2017a,2017b)。

健康栽培技术主要通过选用抗/耐性品种、合理水肥管理、前期弃治等措施提升水稻植株抗逆性,降低稻纵卷叶螟的危害。抗/耐稻纵卷叶螟的品种常具有叶色浅淡、质地硬,叶表皮硅层积多、具致密的成单行或双行的硅链,可溶性蛋白含量高等特点(王开翔等,2008;戈林泉等,2013;Han *et al.*, 2015)。氮肥施用量增加可提高稻纵卷叶螟幼虫存活率、取食量、蛹重、成虫寿命和生殖力,增加其对水稻的为害水平;水稻生长前期,可通过减施氮肥,增施钾肥、磷肥和硅肥减轻稻纵卷叶螟的为害(de Kraker *et al.*, 2000;郑许松等,2015,2020;Liu *et al.*, 2017)。利用水稻补偿作用的特点,在水稻生长前期,可弃治稻纵卷叶螟。Y两优1号分蘖初期剪叶30%和50%,分蘖盛期剪叶30%以下有增产趋势;超级杂交稻甬优8号和常规粳稻宁88在苗期和分蘖期剪叶10%-70%均不会影响水稻生长和产量,适当地剪叶反而有增产趋势(沈建新等,2008;张小来等,2009;吴降星等,2013)。

5.3 常规绿色防控措施

性诱剂和食诱剂通过诱捕稻纵卷叶螟成虫,减少稻纵卷叶螟卵量以达到防控目的,而交配干扰剂则通过释放气味干扰稻纵卷叶螟雌雄虫交配,影响其繁衍后代以达到防控目的。王蓉等(2017b)研究发现每667 m²放置4个诱捕器对稻纵卷叶螟的防控效果为51.40%,保叶效果为80.07%。杨志香等(2022)研究发现使用食诱剂田块的稻纵卷叶螟虫口减退率和保叶效果分别

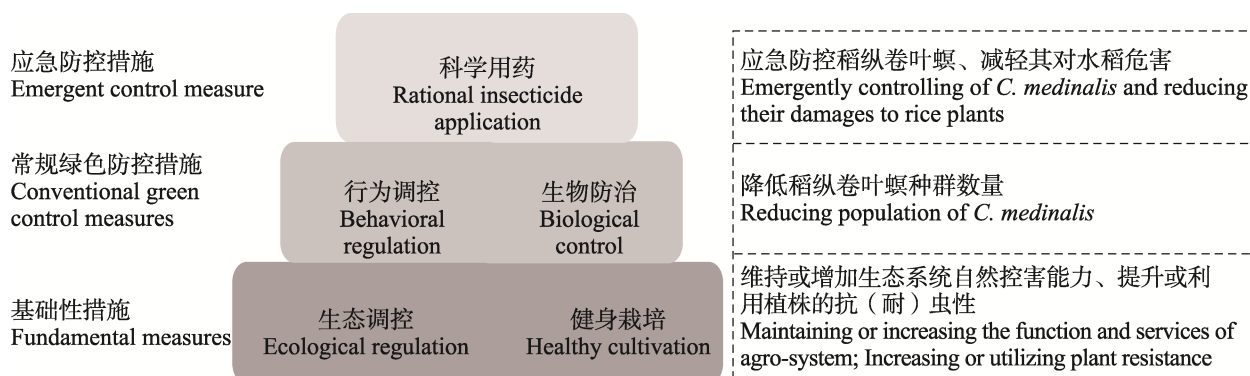


图1 稻纵卷叶螟绿色防控技术框架

Fig. 1 Schematic diagram of green control strategies for *Cnaphalocrocis medinalis*

为 84.21% 和 72.03%，高于使用性诱剂的田块。王未英等（2024）发现喷射型性信息素释放器可干扰稻纵卷叶螟的求偶和交配，稻纵卷叶螟的迷向率为 89.9%。

生物防治措施主要涉及释放天敌和生物农药应用两个方面。目前，稻田的赤眼蜂主要有稻纵卷叶螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis*、玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* 和松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*（郭震等，2012）。我国学者围绕优势赤眼蜂筛选、赤眼蜂大规模扩繁、稻田释放赤眼蜂技术等开展了大量的研究（Tian *et al.*, 2017；田俊策等，2017；王蓉等，2017a）。释放赤眼蜂防控稻纵卷叶螟技术还常与性诱剂诱杀、生物农药使用等绿色防控技术联合使用（谢原利等，2019；邱先斌等，2021）。我国目前初步建立了赤眼蜂生产、应用的标准化体系（李小凤等，2023）。农业行业标准《释放赤眼蜂防治害虫技术规程第一部分：水稻田》（NY/T 3542.1—2020）和浙江省地方标准《稻田释放赤眼蜂防治稻纵卷叶螟技术规程》（DB33/T 2072—2017）规范了稻田释放赤眼蜂控制稻纵卷叶螟等鳞翅目害虫的技术，推动了该技术的标准化应用。目前，登记可用于稻纵卷叶螟防治的生物农药主要包括微生物农药、植物源农药、农用抗生素。微生物农药单剂主要有苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*（Bt）、球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*、金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* CQMa421、甘蓝夜蛾核型多角体病毒（*Mamestra brassicae* nuclear polyhedrosis virus）、短稳杆菌 *Empedobacter brevis*，植物源农药单剂有苦皮藤素，农用抗生素有阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、多杀霉素、乙基多杀菌素。生物农药间的混配药剂有苏云·稻纵颖、阿维·多霉素、阿维·苏云菌、多杀·甲维盐、甲维·苏云金 5 种；生物农药与化学农药的混配主要是农用抗生素与化学农药的混配药剂（毕凤兰等，2023）。阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对蜘蛛、黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 等天敌具有较高的毒性，在防治稻纵卷叶螟时应根据情况谨慎使

用。生物农药药效常受湿度等环境因素影响，应根据生物农药的特点按农药标签中的用法选择合适时间使用。

5.4 应急防控措施

应急防控措施是稻纵卷叶螟防控的兜底措施，需在对稻纵卷叶螟种群数量监测的基础上，根据稻纵卷叶螟对分蘖期和穗期水稻危害特点，在稻纵卷叶螟虫量达到防治指标时使用。药剂应选用高效、低毒、低残留农药，应考虑对天敌安全的农药品种，优先选择苏云金芽孢杆菌等生物农药，不选国家禁止使用的农药品种。另外，还应考虑稻纵卷叶螟对农药的抗性水平，迁出区和迁入区之间与同一地区的上下代之间，应交替轮换使用不同作用机制、无交互抗性的杀虫剂，如需严格控制氯虫苯甲酰胺使用范围（建议在华南稻区暂停使用），延缓稻纵卷叶螟抗药性发展速度（全国农业技术推广服务中心，2023）。稻纵卷叶螟应急防控还应与其他病虫协调防控，选择合适的施药工具和助剂。考虑到水稻生长前期，特别是分蘖期对稻纵卷叶螟的为害具有一定补偿作用，以及对天敌资源的保护与利用，在水稻生长前期可放宽防治指标，弃治稻纵卷叶螟（杨亚军等，2015）。防治指标分蘖期为百丛有幼虫 150 头或百丛束尖或新虫苞 150 个，孕穗期至抽穗期为百丛 60 头或百丛束尖或新虫苞 60 个（NY/T 2737.1-2015）。防治适期为卵孵化高峰至低龄幼虫期。

5.5 技术集成

稻纵卷叶螟绿色防控技术的实施需改变单纯依赖化学农药的观念，以稻田生态与水稻健康为中心，实施生态调控构建稳健的稻田生态系统、增强其自然控制能力，优先采用行为调控、生物防治等防控手段，合理应用高效低风险农药应急防控，减少稻纵卷叶螟对水稻的危害。由于我国水稻生产区域广，各地生态环境及害虫发生情况也有差异，各地都因地制宜地综合应用多种绿色防控措施，集成稻纵卷叶螟的绿色防控技术（沈田辉等，2018）。在全国各级植保部门、农

业技术推广部门的推动下,稻纵卷叶螟绿色防控技术也常与稻飞虱、二化螟等其他病虫绿色防控措施协调应用,在不同地区、不同种植模式稻田形成一系列水稻病虫害绿色防控技术模式,丰富完善了绿色防控技术体系(陈斌艳, 2021; 卓富彦等, 2024)。我国水稻病虫害绿色防控面积从 2019 年的 1 246.61 万 hm^2 增加到 2022 年的 1 583.20 万 hm^2 , 覆盖率从 2019 年的 41.60% 提高到 2022 年的 55.22% (卓富彦等, 2024)。稻纵卷叶螟绿色防控技术的集成与应用对农药减量使用具有重要的推动作用(陈澄宇等, 2024)。然而,稻纵卷叶螟绿色防控技术的集成应用在部分地区还存在技术措施集成度不高、与其他病虫防控技术叠加融合不够等特点,还需要进一步提高技术的集成度和融合度,推动技术的绿色化、轻简化和标准化应用。

6 展望

长期以来,包括稻纵卷叶螟在内的病虫害防控常以单一病虫的角度进行,且化学防治占较大比重。然而,相对单一的化学防治措施和不合理用药会导致害虫抗药性上升、天敌种群下降、生态系统不稳定、生态系统的服务功能丧失等诸多负面效应(Liang *et al.*, 2025)。害虫与天敌均是生态系统中的重要组成部分,过度消灭害虫会导致食物网紊乱,乃至生态系统崩溃,而化学防治导致的天敌数量下降也会间接引起害虫再猖獗(Guedes and Cutler, 2014; Wu *et al.*, 2020)。稻纵卷叶螟的防控需改变依赖化学农药的固有思维,应从稻田生态系统安全、水稻植株健康与稻米安全的角度,系统应用防控策略(Yang *et al.*, 2025)。稻纵卷叶螟研究也需以这几方面为目标,设计科学试验,从微观到宏观,从分子生物学到生态学,多角度开展相关研究工作。在今后的绿色防控实践中,稻田生态系统需作为一个整体看待,以水稻植株健康作为中心,综合应用绿色防控技术,以确保稻米绿色安全生产。维持稻纵卷叶螟可持续治理的关键是设计构建稳健的生态系统,增加生物多样性,维持天敌种群

数量,发挥生态系统的自然控制作用。另外,要根据植株健康状况协调不同防控措施来压低种群数量,而不是铲除害虫种群,需优先使用对水稻、天敌、生态系统三者均友好的防控措施。在稻纵卷叶螟绿色防控实践中,系统思维和整体意识的应用将会提高其防控水平与质量。

稻纵卷叶螟绿色防控技术的发展需围绕稻田生态安全、水稻健康生长和稻米安全生产的目标,开展相关研究及技术攻关,为种粮主体提供绿色化、轻简化、智能化和标准化的绿色防控产品与技术模式。稻纵卷叶螟绿色防控措施或模式的发展与完善,需结合最新前沿研究成果开发新型绿色防控产品、技术、装备,以推动稻纵卷叶螟的可持续治理。稻纵卷叶螟的防控应遵循“绿色植保”理念,坚持“预防为主,综合防控”的植保方针,在精准监测的基础上,着力提高绿色防控意识,综合使用绿色防控产品,利用绿色防控技术与装备,推广稻纵卷叶螟绿色防控模式和标准,实现稻纵卷叶螟的可持续治理,减轻稻纵卷叶螟对水稻的危害,确保粮食和生态环境的安全。

参考文献 (References)

- Adhikari B, Senapati R, Mohapatra M, Mohapatra L, Nigam R, Das Mohapatra S, 2023. Detection of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) infestation using ground-based hyperspectral radiometry. *Current Science*, 124(8): 964–975.
- Bai XD, Huang CY, Tang GT, Li GG, Zou LX, Jia FZ, 2010. Analysis on meteorological conditions effecting on migration of the rice leaf roller. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(21): 262–267. [白先达, 黄超艳, 唐广田, 李国刚, 邹丽霞, 贾方翌, 2010. 气象条件对稻纵卷叶螟迁飞的影响分析. *中国农学通报*, 26(21): 262–267.]
- Bao YX, Huang L, Guo MQ, Zhu F, Yang RM, 2023. Estimation models of physiological and ecological parameters of rice damaged by *Cnaphalocrocis medinalis* under controlled field experiments and natural field experiments. *Acta Ecologica Sinica*, 43(13): 5466–5479. [包云轩, 黄璐, 郭铭淇, 朱凤, 杨荣明, 2023. 控制大田和自然大田稻纵卷叶螟危害水稻生理生态参数估算模型. *生态学报*, 43(13): 5466–5479.]

- Barrion AT, Litsinger JA, Medina EB, Aguda RM, Bandong JP, Pantua PC Jr, Viajante VD, dela Cruz CG, Vega CR, Soriano JS Jr, Camanag EE, Saxena RC, Tryon EH, Shepard BM, 1991. The rice *Cnaphalocrocis* and *Marasmia* (Lepidoptera: Pyralidae) leafroller complex in the Philippines: taxonomy, bionomics, and control. *The Philippine Entomologist*, 8(4): 987–1074.
- Bi FL, He DB, Zhu YL, Wu XM, 2023. Registered pesticide and application technology for the control of *Cnaphalocrocis medinalis* in China. *Agriculture and Technology*, 43(20): 86–91. [毕风兰, 何东兵, 朱友理, 吴小美, 2023. 我国防治稻纵卷叶螟登记农药及使用技术. 农业与技术, 43(20): 86–91.]
- Chen BY, 2021. Overview of integrated application of green control technology for rice “two migratory pests” during the 13th Five-Year Plan period in Guilin. *China Plant Protection*, 41(10): 91–95. [陈斌艳, 2021. 桂林市十三五时期水稻“两迁”害虫绿色防控集成技术应用概述. 中国植保导刊, 41(10): 91–95.]
- Chen J, Li C, Yang ZF, 2015. Identification and expression of two novel cytochrome P450 genes, *CYP6CV1* and *CYP9A38*, in *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Science*, 15(1): 50.
- Chen GH, Zhu PY, Zheng XS, Yao XM, Zhang FC, Sheng XQ, Xu HX, Lü ZX, 2016. Application of ecological engineering to control rice pest technology in Jinhua. *China Plant Protection*, 36(1): 31–36. [陈桂华, 朱平阳, 郑许松, 姚晓明, 张发成, 盛仙俏, 徐红星, 吕仲贤, 2016. 应用生态工程控制水稻害虫技术在金华的实践. 中国植保导刊, 36(1): 31–36.]
- Chen TJ, Wang RJ, Du JM, Chen HB, Zhang J, Dong W, Zhang M, 2023. CMRD-Net: A deep learning-based *Cnaphalocrocis medinalis* damage symptom rotated detection framework for in-field survey. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1180716.
- Chen TJ, Chen HB, Du JM, Wang RJ, Zhang M, Zhang W, 2024. TSAF-Net: A rotated two-stage *Cnaphalocrocis medinalis* damage detection method based on anchor-free arbitrary-oriented proposal network. *Pest Management Science*, 80(9): 4604–4616.
- Chen CY, Zhao YX, Tang YT, Zhang XF, Zhang K, Che GJ, Zhu Q, Zhang X, Liu Y, Liu XJ, 2024. Progresses of pesticide reduction techniques and the synergistic effects on the control of rice leafrollers *Cnaphalocrocis medinalis*. *Science & Technology Review*, 42(6): 79–85. [陈澄宇, 赵云霞, 唐艺婷, 张学峰, 张凯, 车国静, 朱庆, 张霄, 刘媛, 刘贤金, 2024. 稻纵卷叶螟化学农药减量增效防治技术进展. 科技导报, 42(6): 79–85.]
- Cheng JJ, Gui JW, Yao XM, Zhao H, Zhou YJ, Du YJ, 2023. Functional identification of olfactory receptors of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) for plant odor. *Insects*, 14(12): 930.
- Cui Y, 2021. Regulatory effects of light and dark changes on the migratory take-off behaviors of *Cnaphalocrocis medinalis*. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [崔宇, 2021. 光的亮暗变化对稻纵卷叶螟迁飞起飞行为的调控作用. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Dash SS, Golive P, Parameswaran C, Rath PC, Chatterjee H, Mukherjee AK, Tripathy PS, Nayak AK, Mohapatra S, Behera BK, Das Mohapatra S, 2025. Genetic diversity and population structure of *Cnaphalocrocis medinalis* across India and South Asia: Insights from *COI* and *ITS2* gene analyses. *Current Research in Biotechnology*, 9: 100281.
- de Kraker J, Rabbinge R, van Huis A, van Lenteren JC, Heong KL, 2000. Impact of nitrogenous-fertilization on the population dynamics and natural control of rice leafrollers (Lep.: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, 46(3): 225–235.
- Deng QQ, Ye M, Wu XB, Song J, Wang J, Chen LN, Zhu ZY, Xie J, 2022. Damage of brown planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* and rice leaf folder (LF) *Cnaphalocrocis medinalis* in parent plants lead to distinct resistance in ratoon rice. *Plant Signaling & Behavior*, 17(1): 2096790.
- Du HT, Lu JQ, Ji K, Wang CC, Yao ZC, Liu F, Li Y, 2023. Comparative transcriptomic assessment of chemosensory genes in adult and larval olfactory organs of *Cnaphalocrocis medinalis*. *Genes*, 14(12): 2165.
- Duan Y, Xiao YR, Cai G, Wang KP, Zhao CF, Liu PC, 2025. A maternal gene regulator CPEB2 is involved in mating-induced egg maturation in the *Cnaphalocrocis medinalis*. *Insects*, 16(7): 666.
- Fu XW, Li C, Feng HQ, Liu ZF, Chapman JW, Reynolds DR, Wu KM, 2014. Seasonal migration of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) over the Bohai Sea in northern China. *Bulletin of Entomological Research*, 104(5): 601–609.
- Gao YB, Chen X, Chen ZR, Bao YX, Yang RM, Liu TL, Zhai BP, 2008. Dynamic analysis on the migration of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by Doppler insect monitoring radar and numerical simulation. *Acta Ecologica Sinica*, 28(11): 5238–5247. [高月波, 陈晓, 陈钟荣, 包云轩, 杨荣明, 刘天龙, 翟保平, 2008. 稻纵卷叶螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*) 迁飞的多普勒昆虫雷达观测及动态. 生态学报, 28(11): 5238–5247.]
- Ge F, 2020. The ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 10–19. [戈峰, 2020. 论害虫生态调控策略与技术. 应用昆虫学报, 57(1):

- 10–19.]
- Ge LQ, Wang F, Wu JC, 2014. Effects of application of two selective pesticides on oviposition and physiology and biochemistry of *Cnaphalocrocis medinalis*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 42(1): 102–105. [戈林泉, 王芳, 吴进才, 2014. 2 种选择性农药的使用对稻纵卷叶螟产卵及生理生化的影响. 江苏农业科学, 42(1): 102–105.]
- Ge LQ, Wang F, Wu JC, 2013. Resistance of different rice varieties to *Cnaphalocrocis medinalis* Guénée (Lepidoptera: Pyralidae) larvae infestation. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 34(4): 84–88. [戈林泉, 王芳, 吴进才, 2013. 不同水稻品种对稻纵卷叶螟耐虫性的研究. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 34(4): 84–88.]
- Guedes RNC, Cutler GC, 2014. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. *Pest Management Science*, 70(5): 690–697.
- Guo JW, 2019. Effects of adult nutrition on migration and reproduction of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). Doctor dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [郭嘉雯, 2019. 成虫营养对稻纵卷叶螟迁飞和生殖的影响. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Guo MQ, Bao YX, Huang L, Chen C, Yang RM, Zhu F, 2023. Application of multispectral image taken by unmanned aerial vehicle in monitoring *Cnaphalocrocis medinalis* Guénée damage on rice growth. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 39(7): 1530–1542. [郭铭洪, 包云轩, 黄璐, 陈晨, 杨荣明, 朱凤, 2023. 无人机多光谱影像在稻纵卷叶螟危害监测中的应用. 江苏农业学报, 39(7): 1530–1542.]
- Guo R, Han M, Shu F, 2013. Strategies and measures of green control on disease and insect pests with reducing application of insecticides. *China Plant Protection*, 33(10): 38–41. [郭荣, 韩梅, 束放, 2013. 减少稻田用药的病虫草害绿色防控策略与措施. 中国植保导刊, 33(10): 38–41.]
- Guo TW, Liao CT, Chuang WP, 2019. Defensive responses of rice cultivars resistant to *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Arthropod-Plant Interactions*, 13(4): 611–620.
- Guo Z, Ruan CC, Zang LS, Zhang F, Jin FY, 2012. Design of specific primer for *Trichogramma japonicum* based on rDNA-ITS2 and application of diagnostic primers in identification of four *Trichogramma* species. *Chinese Journal of Rice Science*, 26(1): 123–126. [郭震, 阮长春, 臧连生, 张帆, 靳锋云, 2012. 稻螟赤眼蜂 rDNA 特异引物设计及诊断引物在赤眼蜂分子鉴定中的应用. 中国水稻科学, 26(1): 123–126.]
- Han GJ, Li CM, Zhang N, Liu Q, Huang LX, Xia Y, Xu J, 2023. *CmHem*, a hemolin-like gene identified from *Cnaphalocrocis medinalis*, involved in metamorphosis and baculovirus infection. *PeerJ*, 11: e16225.
- Han YQ, Lei WB, Wen LZ, Hou ML, 2015. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guénée (Lepidoptera: Pyralidae). *PLoS ONE*, 10(3): e0120557.
- Hsieh CH, Guo TW, Tu KY, Liao CT, Chuang WP, 2023. Genetic structure of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Taiwan. *Taiwania*, 68(4): 451–457.
- Huang L, Bao YX, Guo MQ, Zhu F, Yang RM, 2023. Hyperspectral characteristics of rice leaf and yield estimation under the infestation of *Cnaphalocrocis medinalis* Guénée. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 44(2): 154–164. [黄璐, 包云轩, 郭铭洪, 朱凤, 杨荣明, 2023. 稻纵卷叶螟危害下水稻叶片光谱特征及产量估测. 中国农业气象, 44(2): 154–164.]
- Huang XF, Zhang XX, Zhai BP, 2010. Effect of copulation on flight capacity and remigration capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 33(5): 23–28. [黄学飞, 张孝羲, 翟保平, 2010. 交配对稻纵卷叶螟飞行能力及再迁飞能力的影响. 南京农业大学学报, 33(5): 23–28.]
- Li CM, Han GJ, Sun J, Huang LX, Lu YR, Xia Y, Liu Q, Xu J, 2022a. The gut microbiota composition of *Cnaphalocrocis medinalis* and their predicted contribution to larval nutrition. *Frontiers in Microbiology*, 13: 909863.
- Li CM, Han GJ, Huang LX, Lu YR, Xia Y, Zhang N, Liu Q, Xu J, 2024. Metagenomic analyses reveal gut microbial profiles of *Cnaphalocrocis medinalis* driven by the infection of baculovirus CnmeGV. *Microorganisms*, 12(4): 757.
- Li JJ, Du J, Li SW, Wang X, 2022b. Identification and characterization of a double-stranded RNA degrading nuclease influencing RNAi efficiency in the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7): 3961.
- Li XF, Xiao S, Zhao L, Hao JQ, Sha PJ, Zhang JY, Liu XY, Wang F, Wu WG, Xing TQ, 2023. Construction of the standard system for industry of natural enemy *Trichogramma*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 39(35): 157–164. [李小凤, 肖帅, 赵磊, 郝建强, 沙品洁, 张金轶, 刘希艳, 王芳, 吴文钢, 邢天琪, 2023. 天敌赤眼蜂产业标准体系构建探索. 中国农学通报, 39(35): 157–164.]
- Li YQ, 2012. Cloning and alternative splicing analysis of a ryanodine receptor gene and a sodium channel gene in the rice

- leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [李艳青, 2012. 稻纵卷叶螟鱼尼丁受体基因和钠离子通道基因的克隆与选择性剪接分析. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]
- Liao CT, Chen CL, 2017. Oviposition preference and larval performance of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) on rice genotypes. *Journal of Economic Entomology*, 110(3): 1291–1297.
- Liao HJ, Qian Q, Liu XD, 2014. Heat shock suppresses mating and sperm transfer in the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *Bulletin of Entomological Research*, 104(3): 383–392.
- Liang JY, Xiao F, Ojo J, Chao WH, Ahmad B, Alam A, Abbas S, Abdelhafez MM, Rahman N, Khan KA, Ghramh HA, Ali J, Chen RZ, 2025. Insect resistance to insecticides: Causes, mechanisms, and exploring potential solutions. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 118(2): e70045.
- Lin S, Zhang B, Li Q, Li XW, Guo QT, Chen WL, Jiao HY, Akutse KS, Zhu XZ, 2024. Gut bacterial community of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) is driven by rice varieties. *Journal of Applied Entomology* 148(4): 434–446.
- Liu J, Zhu JW, Zhang PJ, Han LW, Reynolds OL, Zeng RS, Wu JH, Shao Y, You MS, Gurr GM, 2017. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1265.
- Liu S, Rao XJ, Li MY, Feng MF, He MZ, Li SG, 2015a. Glutathione S-transferase genes in the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae): Identification and expression profiles. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 90(1): 1–13.
- Liu S, Rao XJ, Li MY, Li SG, 2015b. Identification and expression profiles of putative cytochrome P450 monooxygenase genes from *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Entomological Research*, 45(3): 141–149.
- Liu Y, Wang JQ, Feng XD, Jiang XH, 2008. Analysis of the occurrence of rice leaf roller in China in 2007 and prediction of the trend in 2008. *China Plant Protection*, 28(7): 33–35. [刘宇, 王建强, 冯晓东, 蒋学辉, 2008. 2007 年全国稻纵卷叶螟发生实况分析与 2008 年发生趋势预测. 中国植保导刊, 28(7): 33–35.]
- Mashhoor K, Ramesh N, Lazar KV, Shanas S, 2019. Molecular phylogeny of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*). *Research Journal of Biotechnology*, 14(8): 1–6.
- Moulita C, Nilanjana C, Suprakash P, Jaydeb G, 2023. Species composition, occurrence pattern and seasonal incidence of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis* spp.) on Kharif rice under Terai agro-ecological conditions of northern parts of West Bengal. *Journal of Entomological Research*, 47(2): 386–392.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC, 2023. Announcement No.654 of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6422981.htm. [中华人民共和国农业农村部, 2023. 中华人民共和国农业农村部公告第 654 号. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6422981.htm.]
- Mo MT, Yang GM, Du J, Zhou Y, Khan A, Li SW, Hu CX, 2025. Identification and functional analyses of the *CmdsRNase5* and *CmdsRNase6* genes in rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 301: 140079.
- National Agro-Tech Extension and Service Center, 2024. Monitoring reports on the pesticidal resistance of the agricultural pests in China. <https://www.natesc.org.cn/News/des?kind=&id=bd03e7a6-cea5-4650-bdae-9a05473677ca&CategoryId=cb2a3d19-a7bd-4aa0-8f4e-4fdda4842057>. 2024-2-27. [全国农业技术推广服务中心, 2024. 2023 年全国农业有害生物抗药性监测报告. <https://www.natesc.org.cn/News/des?kind=&id=bd03e7a6-cea5-4650-bdae-9a05473677ca&CategoryId=cb2a3d19-a7bd-4aa0-8f4e-4fdda4842057>. 2024-2-27.]
- National Bureau of State Statistics of China, 2024. China Statistical Yearbook 2024. Beijing: China Statistical Press, <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexch.htm>. [国家统计局, 2024. 中国统计年鉴 2024. 北京: 中国统计出版社, <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexch.htm>.]
- Pan QJ, Wang QP, Shikano I, Liu F, Yao ZC, 2024. Effects of gut bacteria on the fitness of rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *Insects*, 15(12): 947.
- Qian Q, Guo X, Wu LJ, Cui JR, Gao HY, Yang YJ, Xu HX, Lu ZX, Zhu PY, 2024. Molecular characterization of plant volatile compound interactions with *Cnaphalocrocis medinalis* odorant-binding proteins. *Plants*, 13(4): 479.
- Qiu XB, Wang LG, Xiao YF, Yi ZM, Zhang HQ, Huang C, 2021. Experiment of *Cnaphalocrocis medinalis* control using “sex pheromone attractant + insecticidal card with virus and *Trichogramma*”. *Hubei Plant Protection*, 2021(3): 44–45, 65. [邱先斌, 王利刚, 肖义芳, 易智敏, 张惠琼, 黄超, 2021. “性诱+毒·蜂杀虫卡”全程防控水稻纵卷叶螟试验. 湖北植保, 2021(3): 44–45, 65.]
- Quan PQ, Guo PL, He J, Liu XD, 2024. Heat-stress memory enhances the acclimation of a migratory insect pest to global

- warming. *Molecular Ecology*, 33(17): e17493.
- Quan PQ, Li JR, Liu XD, 2023. Glucose dehydrogenases-mediated acclimation of an important rice pest to global warming. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(12): 10146.
- Saikia R, Saikia DK, Islam AN, Deves A, 2019. Seasonal population build-up of leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenee) in paddy in response to meteorological parameters. *Journal of Agrometeorology*, 21(2): 230–232.
- Shakeel M, Du J, Li SW, Zhou YJ, Sarwar N, Bukhari SAH, 2020. Characterization, knockdown and parental effect of *hexokinase* gene of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) revealed by RNA interference. *Genes*, 11(11): 1258.
- Shakeel M, Khan A, Du J, Basit A, Yang GM, Haddi K, Abbas S, Alam A, Li SW, 2024. Knockdown of the glucosamine-6-phosphate N-acetyltransferase gene by RNA interference enhances the virulence of entomopathogenic fungi against rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 205: 106119.
- Sharma KR, Raju SVS, Chandra SKSU, 2024. Impact of crop phenology and environmental factors on rice leaf folder infestation in middle gangetic plains of India. *Indian Journal of Ecology*, 51(4): 837–841.
- Shen JX, Zhang XL, Wang NT, Gu WF, 2008. Simulated trial on the damage of *Cnaphalocrocis medinalis* through cutting leaves. *Plant Protection*, 34(4): 161–163. [沈建新, 张小来, 王乃庭, 顾卫芬, 2008. 稻纵卷叶螟危害损失率剪叶模拟试验. 植物保护, 34(4): 161–163.]
- Shen TH, Wang FL, Bian KY, Zhu ZF, Chen H, Che JY, Zhu JP, Liang WB, Wu MH, Li LH, Zhou GM, 2018. Reason analysis of the heavy occurrence of rice leaf folder in 2017 and integration of its green control technologies in Dafeng, Yancheng. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2018(2): 106–108. [沈田辉, 王凤良, 卞康亚, 朱展飞, 陈华, 车晋英, 朱加萍, 梁文斌, 吴明昊, 李林华, 周国妹, 2018. 盐城市大丰区 2017 年稻纵卷叶螟重发原因分析及绿色防控技术集成. 上海农业科技, 2018(2): 106–108.]
- Shi JH, Sun Z, Hu XJ, Jin HN, Foba CN, Liu H, Wang C, Liu L, Li FF, Wang MQ, 2019. Rice defense responses are induced upon leaf rolling by an insect herbivore. *BMC Plant Biology*, 19(1): 514.
- Song YF, He W, Zhang HW, Ma JJ, Wu KM, 2025. Seasonal migratory patterns of *Cnaphalocrocis medinalis* in the region of Southwest China and Myanmar. *Pest Management Science*, Doi: 10.1002/ps.70079.
- Subhagan SR, Pathrose B, Nair S, Chellappan M, Dharaneedharan D, 2025. First report of fipronil resistance in field populations of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*: Insights into biochemical and molecular mechanisms. *Pest Management Science*, Doi: 10.1002/ps.70113.
- Sun TY, Yang F, Zhang HY, Yang YJ, Lu ZX, Zhai BP, Xu HX, Lu JH, Lu YH, Wang YM, Guo JW, Hu G, 2024. *CRY1* is involved in the take-off behaviour of migratory *Cnaphalocrocis medinalis* individuals. *BMC Biology*, 22(1): 169.
- Sun Y, Liu ST, Ling Y, Wang L, Ni H, Guo D, Dong BB, Huang Q, Long LP, Zhang S, Wu SF, Gao CF, 2023. Insecticide resistance monitoring of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and its mechanism to chlorantraniliprole. *Pest Management Science*, 79(9): 3290–3299.
- Tian JC, Wang ZC, Wang GR, Zheng XS, Zang LS, Lü ZX, 2017. Evaluation of fecundity, flight ability and insecticide tolerance of southern and northern *Trichogramma japonicum* populations. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(1): 32–38. [田俊策, 王子辰, 王国荣, 郑许松, 臧连生, 吕仲贤, 2017. 南北种群稻纵卷叶螟的寄生力、飞行能力和耐药性评价. 中国生物防治学报, 33(1): 32–38.]
- Tian JC, Wang ZC, Wang GR, Zhong LQ, Zheng XS, Xu HX, Zang LS, Lu ZX, 2017. Effects of temperature and host age on the fecundity of four *Trichogramma* species, egg parasitoids of the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(3): 949–953.
- Tian ML, Ban ST, Yuan T, Wang YY, Ma C, Li LY, 2020. Monitoring of rice damage by rice leaf roller using UAV-based remote sensing. *Acta Agriculturae Shanghai*, 36(6): 132–137. [田明璐, 班松涛, 袁涛, 王彦宇, 马超, 李琳一, 2020. 基于无人机平台的稻纵卷叶螟为害程度遥感监测. 上海农业学报, 36(6): 132–137.]
- Tong L, Wu WH, Lin YB, Chen DQ, Zeng RS, Lu L, Song YY, 2023. Insect herbivory on main stem enhances induced defense of primary tillers in rice (*Oryza sativa* L.). *Plants*, 12(5): 1199.
- Tu KY, Tsai SF, Guo TW, Lin HH, Yang ZW, Liao CT, Chuang WP, 2018. The role of plant abiotic factors on the interactions between *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) and its host plant. *Environmental Entomology*, 47(4): 857–866.
- Wan X, Li J, Kim MJ, Kang TH, Jin BR, Kim I, 2011. Population genetic structure of the migratory rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae), inferred from the mitochondrial A+T-rich region and nuclear ITS2 sequences. *Genetics and Molecular Research*, 10(1): 273–294.

- Wang CC, 2022. Identification of sex pheromone receptors and preliminary functional study of *CmedPR1/CmedOR27* in *Cnaphalocrocis medinalis*. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [王楚楚, 2022. 稻纵卷叶螟性信息素受体的鉴定及 *CmedPR1/CmedOR27* 的功能初步研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]
- Wang FY, Zhang XX, Zhai BP, 2010. Flight and remigration capacity of the rice leafroller moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(11): 1265–1272. [王凤英, 张孝羲, 翟保平, 2010. 稻纵卷叶螟的飞行和再迁飞能力. 昆虫学报, 53(11): 1265–1272.]
- Wang QX, Xu L, Wu JC, 2008. Physical and biochemical mechanisms of resistance of different rice varieties to the rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(12): 1265–1270. [王开翔, 许路, 吴进才, 2008. 水稻品种对稻纵卷叶螟抗性的物理及生化机制. 昆虫学报, 51(12): 1265–1270.]
- Wang L, Dong BB, Liu ST, Chen YX, Yang FX, Zhang S, Gao CF, 2024. Monitoring of chlorantraniliprole resistance in rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and the cross-resistance of its chlorantraniliprole-resistant populations to other diamides. *Acta Entomologica Sinica*, 67(4): 498–506. [王立, 董蓓蓓, 刘思彤, 陈韵箫, 杨凤霞, 张帅, 高聪芬, 2024. 稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性监测及其抗氯虫苯甲酰胺种群对其他双酰胺类杀虫剂的交互抗性. 昆虫学报, 67(4): 498–506.]
- Wang L, Xing S, Chang XY, Ma L, Wenda C, 2024. Cropland microclimate and leaf-nesting behavior shape the growth of caterpillar under future warming. *Integrative and Comparative Biology*, 64(3): 932–943.
- Wang R, Xiao WP, Shao CY, Wei Q, Qin AR, Yang RC, 2017a. Application technology of *Cnaphalocrocis medinalis* control through *Trichogramma* releasing. *China Plant Protection*, 37(11): 46–48. [王蓉, 肖卫平, 邵昌余, 韦青, 覃安荣, 杨仁翠, 2017. 人工释放稻螟赤眼蜂防治稻纵卷叶螟应用技术研究. 中国植保导刊, 37(11): 46–48.]
- Wang R, Xiao WP, Wei Q, Qin AR, Shao CY, 2017b. Application effect of monitoring and controlling of *Cnaphalocrocis medinalis* using sex pheromone in Duyun. *China Plant Protection*, 37(2): 25–27, 9. [王蓉, 肖卫平, 韦青, 覃安荣, 邵昌余, 2017. 都匀市稻纵卷叶螟性信息素监测和防控技术应用效果. 中国植保导刊, 37(2): 25–27, 9.]
- Wang S, Sun Y, Yu ZT, Wang L, Li HS, Yang FX, Wu SF, Bass C, Gao CF, 2025a. Identification and functional characterization of silk fibroin genes in leaf-folding behaviour, silk properties and development of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Pest Management Science*, 81(7): 3995–4003.
- Wang WY, Chen Y, Zhao H, Guo QS, Du YJ, 2024. Evaluation of the control efficacy of mating disruption by active high dose aerosol pheromone dispensers on rice pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(6): 1293–1301. [王未英, 陈瑜, 赵洪, 郭前爽, 杜永均, 2024. 高剂量喷射型主动交配干扰技术对水稻害虫的防控效果评价. 中国生物防治学报, 40(6): 1293–1301.]
- Wang X, Du J, Li SW, Li JJ, Zha RM, 2025b. Identification and characterization of a dsRNA-degrading nuclease *CmdsRNase2* influencing RNAi efficiency in the rice leafroller *Cnaphalocrocis medinalis*. *Scientific Reports*, 15(1): 18795.
- Wang XS, 2020. Polymorphism and functional analysis of GABA receptor *Rdl* subunit gene of *Cnaphalocrocis medinalis*. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [王雪松, 2020. 稻纵卷叶螟 GABA 受体 *Rdl* 亚基基因的多态性及功能分析. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Wang YQ, Liu QS, Du LX, Hallerman EM, Li YH, 2020. Transcriptomic and metabolomic responses of rice plants to *Cnaphalocrocis medinalis* caterpillar infestation. *Insects*, 11(10): 705.
- Wu JC, Ge LQ, Liu F, Song QS, Stanley D, 2020. Pesticide-induced planthopper population resurgence in rice cropping systems. *Annual Review of Entomology*, 65: 409–429.
- Wu JX, Zheng XS, Zhou GH, Liu GL, Xu HX, Yang YJ, Lü ZX, 2013. Effect of leaf cutting at different growth stages on growth, yield and physiological traits of two rice cultivars. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 651–658. [吴降星, 郑许松, 周光华, 刘桂良, 徐红星, 杨亚军, 吕仲贤, 2013. 不同生育期剪叶对水稻生长、产量及生理的影响. 应用昆虫学报, 50(3): 651–658.]
- Xie J, Mo QY, Chen LN, Zhu ZY, Liu X, Smagghe G, Ye M, Li SW, 2025. Identification and functional study of *Fib-L*, a major silk fibroin gene component in rice leaf folders. *Insect Molecular Biology*, 34(1): 228–238.
- Xie YL, Wan L, Ning YH, Zhou HL, Gu Y, 2019. Preliminary report on the application of *Mamestra brassicae* multiple NPV SC + *Trichogramma japonicum* to control *Chilo suppressalis* and *Cnaphalocrocis medinalis*. *Hubei Plant Protection*, 2019(6): 29–30, 32. [谢原利, 万利, 宁云华, 周海亮, 谷勇, 2019. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂+稻螟赤眼蜂防治水稻二化螟和

- 稻纵卷叶螟应用初报. 湖北植保, 2019(6): 29–30, 32.]
- Xu HX, Zhao XX, Yang YJ, Chen X, Mei Y, He K, Xu L, Ye XH, Liu Y, Li F, Lü ZX, 2022. Chromosome-level genome assembly of an agricultural pest, the rice leaffolder *Cnaphalocrocis exigua* (Crambidae, Lepidoptera). *Molecular Ecology Resources*, 22(1): 307–318.
- Xu J, Wang QX, Wu JC, 2010. Resistance of cultivated rice varieties to *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(4): 1166–1171.
- Yang F, Zhai BP, 2016. Influence of temperature on the re-emigratory flight performance of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Ecologica Sinica*, 36(7): 1881–1889. [杨帆, 翟保平, 2016. 温度对稻纵卷叶螟再迁飞能力的影响. 生态学报, 36(7): 1881–1889.]
- Yang YJ, Liao QJ, Mo XR, Xu HX, Xie XX, Peng CL, Liu YH, Lü ZX, 2024. Differences in responses to a fluctuating temperature/humidity environment between two related species of rice leaffolders based on a comparison in a constant environment. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 27(1): 102212.
- Yang YJ, Liao QJ, Xu HX, Xie X, Peng CL, Liu YH, Lü ZX, 2020. Density and biological characteristics of *Cnaphalocrocis exigua* (Butler) population of the overwintering generation in Qianwei county, Sichuan province. *Plant Protection*, 46(4): 205–209. [杨亚军, 廖秋菊, 徐红星, 谢馨, 彭城林, 刘映红, 吕仲贤, 2020. 四川省犍为县越冬代稻纵卷叶螟冬后虫口密度和生物学特性. 植物保护, 46(4): 205–209.]
- Yang YJ, Liu XG, Xu HX, Liu YH, Ali PN, Adnan Bodlah M, Lü ZX, 2020. The abundance and diversity of gut bacteria of rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) across life stages. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(2): 430–438.
- Yang YJ, Liu XG, Guo JW, Xu HX, Liu YH, Lü ZX, 2022a. Gut bacterial communities and their assembly processing in *Cnaphalocrocis medinalis* from different geographic sources. *Frontiers in Microbiology*, 13: 1035644.
- Yang YJ, Liu XG, Xu HX, Liu YH, Lü ZX, 2022b. Effects of host plant and insect generation on shaping of the gut microbiota in the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Frontiers in Microbiology*, 13: 824224.
- Yang YJ, Lu K, Qian JN, Guo JW, Xu HX, Lü ZX, 2023. Identification and characterization of ABC proteins in an important rice insect pest, *Cnaphalocrocis medinalis* unveil their response to Cry1C toxin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237: 123949.
- Yang YJ, Lu YH, Tian JC, Zheng XS, Guo JW, Liu XW, Lü ZX, Xu HX, 2025. Sustainable management strategies for rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée): Progress and prospects. *Rice Science*, 32(3): 322–338.
- Yang YJ, Peng WJ, Qi CX, Shi ZY, Guo R, Xu HX, Lü ZX, 2019. Population dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* and its related species, *Cnaphalocrocis patnalis*, in paddy field of Xishuangbanna. *China Plant Protection*, 39(6): 31–34. [杨亚军, 彭文君, 祁春学, 石兆云, 郭荣, 徐红星, 吕仲贤, 2019. 西双版纳稻田稻纵卷叶螟与其近缘种宽纹刷须野螟的种群动态. 中国植保导刊, 39(6): 31–34.]
- Yang YJ, Wang CY, Xu HX, Lu YH, Lü ZX, 2018. Effects of sublethal concentration of two insecticides on growth and development of rice leaffolders, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) and activities of detoxification enzymes. *Chinese Rice Science*, 32(3): 304–310. [杨亚军, 王彩云, 徐红星, 鲁艳辉, 吕仲贤, 2018. 两种药剂亚致死浓度对稻纵卷叶螟生长发育及解毒酶活性的影响. 中国水稻科学, 32(3): 304–310.]
- Yang YJ, Wang CY, Xu HX, Lü ZX, 2018. Sublethal effects of four insecticides on folding and spinning behavior in the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *Pest Management Science*, 74(3): 658–664.
- Yang YJ, Wu ZH, Xu HX, Zheng XS, Lü ZX, 2017. Structural characterization and applications of ITS2 from rice leaffolders *Cnaphalocrocis medinalis* and *Marasmia patnalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2): 313–318.
- Yang YJ, Xu HX, Wu ZH, Lü ZX, 2020. pH influences the profiles of midgut extracts in *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) and its degradation of activated Cry toxins. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(3): 775–784.
- Yang YJ, Xu HX, Wu ZH, Lü ZX, 2021. Effect of protease inhibitors on the profiles of midgut juices in *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and its degradation to activated Cry toxins. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(8): 2195–2203.
- Yang YJ, Xu HX, Zheng XS, Tian JC, Lu YH, Lü ZX, 2015. Progress in management technology of rice leaffolders in China. *Journal of Plant Protection*, 42(5): 691–701. [杨亚军, 徐红星, 郑许松, 田俊策, 鲁艳辉, 吕仲贤, 2015. 中国水稻纵卷叶螟防控技术进展. 植物保护学报, 42(5): 691–701.]
- Yang ZX, Zhu F, Wang JS, Wang JT, Li YX, 2022. Control effect of food attractant and sex pheromone attractant on *Cnaphalocrocis medinalis*. *China Plant Protection*, 42(2): 38–40. [杨志香, 朱凤, 王健生, 王金涛, 李元喜, 2022. 食诱剂和性诱剂对稻纵卷叶螟的防控效果. 中国植保导刊, 42(2): 38–40.]

- Ye M, Song YY, Long J, Wang RL, Baerson SR, Pan ZQ, Zhu-Salzman K, Xie JF, Cai KZ, Luo SM, Zeng RS, 2013. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(38): E3631–E3639.
- Zeng FF, Liu H, Zhang A, Lu ZX, Leal WS, Abdelnabby H, Wang MQ, 2018. Three chemosensory proteins from the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* involved in host volatile and sex pheromone reception. *Insect Molecular Biology*, 27(6): 710–723.
- Zeng FF, Sun X, Dong HB, Wang MQ, 2013. Analysis of a cDNA library from the antenna of *Cnaphalocrocis medinalis* and the expression pattern of olfactory genes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 433(4): 463–469.
- Zhang BX, 2017. Identification and expression patterns of glutathione S-transferase genes from *Chilo suppressalis* and *Cnaphalocrocis medinalis*. Master dissertation. Hefei: Anhui Agricultural University. [张邦贤, 2017. 二化螟和稻纵卷叶螟谷胱甘肽 S-转移酶基因的鉴定与表达模式分析. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学.]
- Zhang HB, Zhou C, Zhu XM, Li YH, Yang RM, Tian ZH, Zhu F, 2023. Preliminary report of “gathering point into network” of intelligent sex hormone attracting monitoring equipment for major crop pests in Jiangsu Province. *China Plant Protection*, 43(2): 91–94. [张海波, 周晨, 朱先敏, 李艳红, 杨荣明, 田子华, 朱凤, 2023. 江苏省农作物重大害虫智能性诱监测设备“聚点成网”工作初报. 中国植保导刊, 43(2): 91–94.]
- Zhang KJ, Rong X, Lv ZP, Liu L, Li GY, Liu H, 2020. Comparative mitochondrial analysis of *Cnaphalocrocis exigua* (Lepidoptera: Crambidae) and its close relative *C. medinalis*. *Journal of Insect Science*, 20(6): 24.
- Zhang SK, Ren XB, Wang YC, Su J, 2014. Resistance in *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to new chemistry insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 107(2): 815–820.
- Zhang SY, Zhang YY, Yang F, Zhou C, Shen HM, Wang BB, Zeng J, Reynolds DR, Chapman JW, Hu G, 2025a. Climate change is leading to an ecological trap in a migratory insect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 122(9): e2422595122.
- Zhang XL, Ding TL, Zhu XS, Zhou JH, Yang FJ, 2009. Simulated trial on the damage of *Cnaphalocrocis medinalis* through cutting leave. *Modern Agriculture*, 2009(3): 25–26. [张小来, 丁坦连, 朱小舍, 周建华, 杨凤江, 2009. 稻纵卷叶螟危害损失率剪叶模拟试验. 现代农业, 2009(3): 25–26.]
- Zhang YC, Ling Y, Dong BB, Li HS, He YK, Huang Q, Long LP, Wu SF, Gao CF, 2025b. Inheritance of chlorantraniliprole resistance and fitness costs in a field population of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in China. *Pest Management Science*, 81(1): 240–246.
- Zhao W, Zhuang Y, Chen Y, Lou Y, Li R, 2023. Enhanced chemical and physical defense traits in a rice cultivar showing resistance to leaf folder infestation. *Crop Health*, 1(1): 10.
- Zhao XX, 2022. Comparative genomics analysis of two rice leaf folders, *Cnaphalocrocis medinalis* and *Cnaphalocrocis exigua*. Doctor dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [赵现馨, 2022. 两种水稻纵卷叶螟的比较基因组分析. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Zhao XX, Xu HX, He K, Shi ZM, Chen X, Ye XH, Mei Y, Yang YJ, Li MZ, Gao LB, Xu L, Xiao HM, Liu Y, Lu ZX, Li F, 2021. A chromosome-level genome assembly of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Molecular Ecology Resources*, 21(2): 561–572.
- Zhao XY, Xu HX, Yang YJ, Sun TY, Ullah F, Zhu PY, Lu YH, Huang JL, Wang ZL, Lü ZX, Guo JW, 2024. Defense responses of different rice varieties affect growth performance and food utilization of *Cnaphalocrocis medinalis* larvae. *Rice*, 17(1): 9.
- Zhao YY, Tian JC, Zheng XS, Xu HX, Lu YH, Yang YJ, Zang LS, Lü ZX, 2017. Feasibility of *Trifolium repens* and *Oxalis corniculata* as the nectar resource plant to *Trichogramma chilonis*. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 29(1): 106–112. [赵燕燕, 田俊策, 郑许松, 徐红星, 鲁艳辉, 杨亚军, 臧连生, 吕仲贤, 2017. 酢浆草和车轴草作为螟黄赤眼蜂田间蜜源植物的可行性分析. 浙江农业学报, 29(1): 106–112.]
- Zhao YC, Zhang L, Wang CZ, 2024. Predicting possible distribution of rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis*) under climate change scenarios using MaxEnt model in China. *Scientific Reports*, 14(1): 21245.
- Zheng XS, Cheng LP, Wang HF, Zhong LQ, Liu GL, Zhong XH, Tian K, Lü ZX, 2015. Effects of fertilizer regulation on occurrence of leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* and rice production. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 27(9): 1619–1624. [郑许松, 成丽萍, 王会福, 钟列权, 刘桂良, 钟旭华, 田卡, 吕仲贤, 2015. 施肥调节对稻纵卷叶螟发生和水稻产量的影响. 浙江农业学报, 27(9): 1619–1624.]
- Zheng XS, Tian JC, Yang YJ, Zhu PY, Li K, Xu HX, Lü ZX, 2017. The feasibility of using graminaceous weeds as a functional plant for controlling rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*). *Scientia Agricultura Sinica*, 50(21): 4129–4137. [郑许松, 田俊

- 策, 杨亚军, 朱平阳, 李宽, 徐红星, 吕仲贤, 2017. 禾本科杂草作为防治稻纵卷叶螟的功能性植物的可行性. 中国农业科学, 50(21): 4129–4137.]
- Zheng XS, Zhong LQ, Wang HF, Chen FJ, Cheng LP, Xu QQ, Li Y, Zhong XH, Lü ZX, 2020. Demonstration on rice pests control by fertilizer regulation technique in different geographic rice growing areas of Zhejiang Province. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 32(9): 1656–1664. [郑许松, 钟列权, 王会福, 陈方景, 成丽萍, 徐启强, 李阳, 钟旭华, 吕仲贤, 2020. 减肥控制病虫害技术在浙江省不同稻区的实践. 浙江农业学报, 32(9): 1656–1664.]
- Zhou XY, Yan R, Liu DZ, Jia HR, Li XK, Cang XZ, Lv YB, Wu KM, 2025. Seasonal migration dynamics of the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* across the South China Sea. *Journal of Pest Science*, <https://doi.org/10.1007/s10340-025-01927-w>.
- Zhou YJ, Du J, Li SW, Shakeel M, Li JJ, Meng XG, 2021. Cloning, characterization, and RNA interference effect of the *UDP-N-acetylglucosamine pyrophosphorylase* gene in *Cnaphalocrocis medinalis*. *Genes*, 12(4): 464.
- Zhu AX, Liu XD, 2024. Inhibitory effect of high temperature during the pupal stage on *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) populations. *Acta Entomologica Sinica*, 67(4): 528–537. [朱阿秀, 刘向东, 2024. 蛹期高温对稻纵卷叶螟种群的抑制作用. 昆虫学报, 67(4): 528–537.]
- Zhu PY, Zheng XS, Zhang FC, Barrion AT, Xu HX, Yang YJ, Chen GH, Lü ZX, 2017a. Natural enemy functional guilds of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*) enhanced in paddy field with sustainable pest management by ecological engineering. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(3): 351–363. [朱平阳, 郑许松, 张发成, Alberto T Barrion, 徐红星, 杨亚军, 陈桂华, 吕仲贤, 2017. 生态工程控害技术提高稻纵卷叶螟天敌功能团的种群数量. 中国生物防治学报, 33(3): 351–363.]
- Zhu PY, Zheng XS, Zhang FC, Xu HX, Yao XM, Yang YJ, Chen GH, Lü ZX, 2017b. Aquatic insect populations in paddy fields as affected by management of rice insect pests through ecological, engineering technology. *Chinese Journal of Rice Science*, 31(2): 207–215. [朱平阳, 郑许松, 张发成, 徐红星, 姚晓明, 杨亚军, 陈桂华, 吕仲贤, 2017. 应用生态工程技术控制水稻害虫对水生昆虫数量的影响. 中国水稻科学, 31(2): 207–215.]
- Zhu PY, Zheng XS, Zhang FC, Xu HX, Yang YJ, Chen GH, Lü ZX, Johnson AC, Gurr GM, 2018. Quantifying the respective and additive effects of nectar plant crop borders and withholding insecticides on biological control of pests in subtropical rice. *Journal of Pest Science*, 91(2): 575–584.
- Zhuang YQ, Wang XJ, Llorca LC, Lu J, Lou YG, Li R, 2022. Role of jasmonate signaling in rice resistance to the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *Plant Molecular Biology*, 109(4/5): 627–637.
- Zhuo FY, Chen XX, Xia YX, Fu Q, Wang S, Xu HX, Hu F, Zhang J, 2024. The occurrence characteristics of rice diseases and insect pests and the integration of green control technology in China from 2013 to 2022. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(5): 1207–1213. [卓富彦, 陈学新, 夏玉先, 傅强, 王甦, 徐红星, 胡飞, 张杰, 2024. 2013–2022 年我国水稻病虫害发生特点与绿色防控技术集成. 中国生物防治学报, 40(5): 1207–1213.]