

目 录

昆虫分类区系

甘肃 10 种草地蝗虫雄性外生殖器比较	王兴铎 等 1
蛛蜂亚科 Pompilinae 生物学特性研究概况	陈维先 等 2
祁连山北麓草原蝗虫种类及分布	李东红 等 3
中国蠼螋蜂族 Ampulicini 分类研究	刘致志 等 4
中国伊娃蛛蜂属分类及区系研究	董丽丽 等 5
中国安诺蛛蜂族分类及地理分布研究	刘泳秀 等 6
中国短翅泥蜂物种丰富度空间格局及其对气候变化的响应	付 滢 等 7
中国反颚茧蜂族（膜翅目：茧蜂科：反颚茧蜂亚科）物种名录、区系分布及寄主	姚俊丽 等 8
气候变化驱使中国和中南半岛的塔叶蝉族栖息地向更高纬度的河山系统迁移	冉维维 等 9
贵州典型喀斯特石漠化生态系统对小叶蝉亚科群落结构和多样性的影响	王金秋 等 10

昆虫生理生化与分子生物学

马铃薯块茎蛾气味结合蛋白的表达及功能分析	李 婧 等 11
大灰象甲气味结合蛋白基因 <i>SvelOBP1</i> 的分子克隆、组织表达谱及配体结合特性分析	翟颖妍 等 12
马铃薯块茎蛾的嗅觉受体基因的鉴定与分析	陈瑞朋 等 13
始红蜡唾液蛋白的鉴定与功能初探	林 倩 等 14
褐飞虱唾液基因 <i>S5</i> 和 <i>S7</i> 的突变体构建及功能分析	刘昕洋 等 15
唾液蛋白介导草地贪夜蛾与植物互作机理研究	蔡香云 等 16
椰扁甲啮小蜂毒液蛋白 4-coumarate: CoA ligase 4 (4CL4) 的长链脂酰辅酶 A 合成酶的特性分析	崔 雯 等 17
嗜卷书虱热激转录因子 <i>LbHSFs</i> 基因的鉴定与表达分析	冯华月 等 18
肠道菌群调控 DNA 甲基化影响红棕象甲肠道生理的机理解析	公延茹 等 19
半翅目胸喙亚目昆虫 Toll 信号通路抗菌因子作用机制的探索	李 猷 等 20
柑橘黄龙病菌抑制柑橘木虱 Toll 信号通路免疫因子表达促进持久传播的机制	杜 宇 等 21
获取 ToCV 条件下烟粉虱实时荧光定量 PCR 内参基因的筛选	张 敏 等 22

椰扁甲啮小蜂诱导的寄主组蛋白 H3 乙酰化调控黑化和脂肪体裂解相关基因表达的机理	蒋 堃 等 23
飞蝗行为可塑性的翻译水平调控	魏丽亚 等 24

昆虫发育与遗传学

西双版纳传粉榕小蜂合子前生殖隔离的化学基础	谢 华 等 25
小菜蛾雌虫交配效应蛋白 PxCTSF1 鉴定及功能分析	郑俊豪 等 26
管氏肿腿蜂卵巢发育及体内激素水平的动态变化	李国红 等 27
Pyrokinin 信号系统通过调控褐飞虱 20-羟基蜕皮激素的生成控制蜕皮和生殖	罗序梅 等 28
埃及伊蚊表皮蛋白基因 <i>AaCPR100A</i> 对表皮发育的功能研究	陈 静 等 29
miR-305 靶向 AcGP 调控褐色桔蚜翅发育的分子机制	卢金明 等 30
转录因子 Zfh1 调控稻飞虱翅型分化分子机制研究	张金利 等 31
褐飞虱调控翅型分化的 FoxO/Rotund 蛋白复合体的鉴定	陈孙杰 等 32
摄取花粉对雄性地熊蜂 (<i>Bombus terrestris</i>) 寿命及糖摄取的影响	刘 冬 等 33

昆虫毒理与害虫抗药性

中国草地贪夜蛾细胞系的建立	佟 岩 等 34
应用比较转录组分析不同剂量的氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾的毒理学作用	徐 鹿 等 35
桔小实蝇 ABC 转运蛋白 B 和 C 亚家族基因的鉴定及功能初探	王 霖 等 36
表皮蛋白 BgCPLCP1 通过内表皮增厚提高德国小蠊杀虫剂穿透抗性	张 凡 等 37
纳米硒对丹参作物品质及抗虫性的影响	张艳华 等 38
柑桔全爪螨对溴虫氟苯双酰胺的抗性选育和风险评估	李 珂 等 39
灰飞虱对氟虫腈抗性的遗传机制研究	马文婧 等 40
基于转录组学和代谢组学的综合分析揭示环氧虫啉对红火蚁的缓效作用和非驱避性的分子基础	杜澄举 等 41
云南生物农药产业的发展概况	吴文伟 等 42

昆虫生态与农业昆虫

湘中地区蔬菜上蓟马发生情况调查	郑慧新 等 43
云南高原湖泊径流区粳稻主要病虫草害绿色防控技术集成与示范推广	吴文伟 等 44

草地贪夜蛾在云南边境地区发生规律及种群分布特征	何成兴 等 45
内蒙古通辽黄太平果园桃小食心虫越冬茧分布特征	吴秀花 等 46
广西桑园主要病虫害种类及其防控技术研究	黄立飞 等 47
不同温度下长刺钝绥螨两性生命表的构建	汪维华 等 48
蛀茎害虫石斛蓂象的形态特征及发生规律	张萌萌 等 49
寄主植物对草地贪夜蛾生殖及肠道菌群的影响	张丽娜 等 50
短时高温处理对新产出中华甲虫蒲螨的影响	李立涛 等 51
土壤深度和光照对枸杞实蝇越冬蛹羽化出土的影响	魏红爽 等 52
橘小实蝇雄性交配能力对繁殖适度的影响	陈 启 等 53
马铃薯块茎蛾肠道微生物多样性及淀粉代谢菌株筛选	张梦迪 等 54
茶小绿叶蝉共生微生物群落结构及其相关环境影响因子	张 勇 等 55
施钾与蓟马为害对苜蓿叶片 JA 和 SA 及防御酶活性的影响	胡桂馨 等 56
茶翅蝽对猕猴桃的为害特征及规律研究	罗正玉 等 57
三种诱集方法对梨园桔小实蝇种群动态监测及诱集效果评价	李星星 等 58
红火蚁诱饵活性物质筛选及嗅觉识别机制研究	沈嘉程 等 59
橘小实蝇、瓜实蝇和南亚实蝇卵共生菌多样性及差异分析	敖国富 等 60
意大利蜜蜂对甜瓜花朵挥发物的电生理和行为响应	张江超 等 61
蜜蜂和熊蜂对番茄花朵挥发物的 EAG 反应与行为选择差异研究	刘晋佳 等 62
梨花和油菜花朵特征对蜜蜂访花偏爱性的影响	张江超 等 63
黄翅绢野螟对不同植物的取食和产卵选择	蒋 婷 等 64
红火蚁治理后的本地蚂蚁群落发生动态	倪美虹 等 65
重大入侵生物红棕象甲幼虫体外挥发物的组分及免疫效能分析	蒲宇辰 等 66

生物防治

害虫防治新策略——携带显性不育归巢驱动基因的昆虫释放系统	陈为哲 等 67
孟氏隐唇瓢虫对几种重要热带作物粉蚧的捕食能力观察	杨书美 等 68
短时高温对果蝇锤角细蜂寄生能力的影响	陈 强 等 69
马六甲肉食螨在不同氮气浓度下的生长发育及锻炼研究	王士博 等 70
斜纹夜蛾侧沟茧蜂对两种新寄主的适应性评价	林柳滢 等 71
三种赤眼蜂在番茄潜叶蛾上的生长发育和繁殖特性及控害潜能评价	蒋正雄 等 72

不同猎物对马六甲肉食螨生物学特性及捕食作用的影响	韩银彪 等 73
低频超声辅助苏云金芽孢杆菌发酵提高伴孢晶体蛋白产量的研究	沈凯慧 等 74
红棕象甲致病性株的分离鉴定	钟宝珠 等 75
苏云金芽孢杆菌致敏红棕象甲对其生殖的影响及潜在机理	李鹏举 等 76
昆虫肠道微生物在茶园生产中防治小贯小绿叶蝉（半翅目：叶蝉科）侵扰的作用：综述	赵元琦 等 77
转录因子 StuA 乙酰化对球孢白僵菌生防潜能的影响	蔡 青 等 78
昆虫病原线虫防治红火蚁的应用方法研究	汤华涛 等 79
草地贪夜蛾外源共生菌 <i>Wolbachia</i> 的筛选、转染及存留效果	刘 媛 等 80
球孢白僵菌 Bb455 对草地贪夜蛾的致病力及互作转录组分析	汪寅昊 等 81
针对草地贪夜蛾的高毒力 AcMNPV 毒株的连续传代筛选和分子机制解析	靳雯怡 等 82
球孢白僵菌与食诱剂对西花蓟马的联合作用	钟绍忆 等 83
松墨天牛抗菌肽通过 ERK/MAPK 信号通路诱导松材线虫的氧化应激和生殖缺陷	余 璐 等 84
昆虫病原线虫的蛔甙信息素对觅食行为的调控研究	张 忱 等 85
寄主挥发性物质对小卷蛾斯氏线虫觅食策略的机制研究	唐凡希 等 86
两种寄主植物对淡足侧沟茧蜂的引诱作用及挥发物成分分析	张彤瑶 等 87
异色瓢虫对草地贪夜蛾性信息素的响应与感受机制	战一迪 等 88
椰扁甲啮小蜂毒液器官中的毒液小体的特性分析	周 焱 等 89

甘肃 10 种草地蝗虫雄性外生殖器比较*

王兴铎 郑成卓 董子信 刘恒亮 付连海 钱秀娟**

(甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室, 兰州 730070)

摘要:【目的】准确鉴定甘肃草地的常见蝗虫。【方法】通过解剖比较甘肃 3 科 5 属 10 种蝗虫(无齿稻蝗 *Oxya adentata*、中华稻蝗 *Oxya chinensis*、黑腿星翅蝗 *Calliptamus barbarus*、短星翅蝗 *Calliptamus abbreviatus*、大垫尖翅蝗 *Epacromius coerulipes*、小垫尖翅蝗 *Epacromius tergestinus tergestinus*、大胫刺蝗 *Compsorhipis davidiana*、华北雏蝗 *Chorthippus brunneus huabeiensis*、白纹雏蝗 *Chorthippus albonemus*、小翅雏蝗 *Chorthippus fallax*) 雄性外生殖器的结构; 并对雄性外生殖器的 8 项指标(两锚状突间距 L1、锚状突内侧间距 L2、锚状突外侧间距 L3、桥宽 L4、锚状突高 L5、冠突内侧间距 L6、后突外侧间距 L7 和阳具复合体长宽比 LWR) 进行主成分分析。【结果】斑腿蝗科 Catantopidae 稻蝗属 *Oxya* 和星翅蝗属 *Calliptamus* 均无锚状突, 且星翅蝗属无桥; 斑翅蝗科 Oedipodidae 尖翅蝗属 *Epacromius* 和胫刺蝗属 *Compsorhipis* 阳具复合体宽圆形, 网翅蝗科 Arcypteridae 雏蝗属 *Chorthippus* 阳具复合体钩状。10 种蝗虫雄性外生殖器 8 项指标的主成分分析结果表明, 特征值大于 1.00 的有 2 个主成分, 即第一主成分和第二主成分; 第一主成分包括锚状突高 (L5)、锚状突外侧间距 (L3)、锚状突内侧间距 (L2)、两锚状突间距 (L1) 和桥宽 (L4), 第二主成分包括后突外侧间距 (L7) 和冠状突外侧间距 (L6), 两者总贡献率为 91.87%。【结论】蝗虫雄性外生殖器中锚状突的相对位置、后突、冠状突变化明显, 可作为蝗虫分类的依据。

关键词: 蝗虫; 雄性外生殖; 主成分分析; 甘肃

*基金项目: 国家科技基础资源调查专项 (2019FY100400)

**通讯作者, E-mail: qianxj@gsau.edu.cn

蛛蜂亚科 Pompilinae 生物学特性研究概况*

陈维先 李 强 马 丽**

(云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 蛛蜂亚科 Pompilinae 隶属于膜翅目 Hymenoptera 细腰亚目 Apocrita 针尾部 Aculeata 蛛蜂科 Pompilidae。蛛蜂是一类典型的捕猎性寄生昆虫, 社会性不发达, 多数为独居蜂, 目前已有一些对其生物学的研究报道, 本文对其主要生物学特性进行了总结归纳。捕猎: 蛛蜂捕猎行为较为多样, 为单寄生昆虫, 雌性成虫常猎捕蜘蛛作为幼虫的唯一食物, 蛛蜂捕捉蜘蛛后蜇刺蜘蛛使其麻痹, 随后将其拖回巢穴中产卵, 一般将卵产在蜘蛛腹部; 有些蛛蜂为便于移动猎物, 会将猎物的足除去。筑巢: 蛛蜂亚科昆虫的筑巢方式多样, 巢穴筑在土中、腐木上, 或在石块缝隙间, 也有利用其他动物废弃的巢穴, 或昆虫的蛀道和空心的植物茎秆等。如安诺蛛蜂族 Anopliini 部分雌性会在潮湿的地面上挖掘单室或多室巢穴, 或在腐烂的木头中挖掘单室巢穴。盗寄生: 有些蛛蜂营盗寄生生活, 如伊娃蛛蜂属 *Evagates* 寻找到其他蛛蜂巢穴后, 吃掉原先产在蛛蜂腹部的卵后产下自己的卵取而代之, 再封好巢穴。生境及成虫活动习性: 蛛蜂的生境类型多样, 占据着各种各样的栖境, 在农田、草地、雨林、树林、沙地、戈壁、河滩等地有发现; 成虫白天常在花丛间飞行, 有时沿地面或低矮植被快速移动, 其行动敏捷, 成虫具访花习性, 以花蜜和花粉为食; 成虫喜好阳光, 活动时间多集中于上午 9: 00 时至下午 16: 00 时, 在不同生境寻捕猎物或挖筑巢穴, 或在花丛中取食花蜜, 因此可在其活动的生境中放置马氏网和黄盘诱捕, 或在其筑巢地、取食地等聚集地利用捕虫网捕捉。

关键词: 蛛蜂科; 蛛蜂亚科; 生物学特性; 研究进展

*基金项目: 国家自然科学基金 (31960112)

**通讯作者, E-mail: maliwasps@aliyun.com

祁连山北麓草原蝗虫种类及分布

李东红¹ 他富源¹ 张 航¹ 胡桂馨^{1*} 甘辉林^{2*}

(1.甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 2.张掖市草原工作站, 甘肃张掖 734000)

摘要:【目的】为了明确祁连山北麓天然草原蝗虫的物种组成与分布,【方法】于 2021 年 6 月至 2022 年 8 月,采用网捕法调查了乌鞘岭至当金山口不同类型草地上的蝗虫。【结果与结论】本次调查共捕获蝗虫 4 340 头,分隶属 6 科 19 属 37 种。其中,斑翅蝗科最多(7 属 15 种),其次为网翅蝗科(3 属 8 种)、癩蝗科(2 属 6 种)、槌角蝗科(3 属 3 种)和斑腿蝗科(2 属 3 种),剑角蝗科最少(2 属 2 种),斑翅蝗科和网翅蝗科共同构成了祁连山北麓蝗虫物种多样性的主体,占总物种数的 62.2%。温性草原蝗虫类群科、属、种组成最复杂(4 科 11 属 19 种),其次为温性荒漠化草原(5 科 8 属 12 种),高寒草甸和温性荒漠均有 10 种,温性草原化荒漠为 3 科 3 属 8 种,低地草甸和高寒草原蝗虫组成最简单(3 科 3 属 4 种)。蝗虫在垂直分布上表现出明显的差异,白纹雏蝗和宽须蚁蝗的海拔分布范围最广(1 700~3 500 m),异翅鸣蝗和甘蒙尖翅蝗分布海拔幅度最窄、海拔分布最低(1 300~1 500 m)。蝗虫在地理分布上也存在差异,亚洲小车蝗、白纹雏蝗、宽须蚁蝗、黄胫异癩蝗、红翅皱膝蝗和短星翅蝗沿祁连山北麓自东向西均有分布,红翅瘤蝗、祁连山癩蝗、岩石束颈蝗和中华剑角蝗则分布较窄。

关键词: 祁连山北麓; 草原; 蝗虫; 物种; 分布

*通讯作者

中国蠼螋蜂族 Ampulicini 分类研究*

刘致志 李 强 马 丽**

(云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 蠼螋蜂族 Ampulicini 隶属膜翅目 Hymenoptera 细腰亚目 Apocrita 针尾部 Aculeata 蜜蜂总科 Apoidea 蠼螋蜂科 Ampulicidae 蠼螋蜂亚科 Ampulicinae。该类群为进化程度较低的泥蜂类群, 其下成员均以蜚蠊为猎物。蠼螋蜂善于利用各种材质的已有洞穴筑巢, 利用蛰针将猎物麻醉后拖入洞穴后在其体表产卵, 最后用各种碎屑封住洞口; 后代以麻醉的蜚蠊为食物, 当猎物被完全取食后幼虫制造蛹室, 经过休眠后在适宜的条件下化蛹, 羽化为成虫后将自行挖开洞穴离巢。成虫食性较广, 主要以花蜜, 树液, 水果以及蚜虫分泌的蜜露为食物, 也会咬断猎物的触角, 吸食伤口处流出的体液。目前, 世界已知该族 2 属 142 种 4 亚种, 主要分布于非洲区和东洋区; 我国已知 2 属 25 种, 分布于云南、四川、贵州、广西、广东、海南、福建、浙江等地。本研究整理并核实了中国蠼螋蜂族 Ampulicini 2 属 35 种, 包括蠼螋蜂属 *Ampulex* 32 种, 三节蠼螋蜂属 *Tiriogma* 3 种, 主要分布于西南区与华南区。本研究旨在完善并核实中国蠼螋蜂族实有种类, 发现未知种类, 更新该族各类群在中国的分布情况, 为进一步深入开展蠼螋蜂族昆虫分类及区系研究、为探索各分类单元间之间系统发育关系等相关研究奠定基础, 为昆虫群落组成调查中蠼螋蜂种类鉴定以及蠼螋蜂生物学特性和生态环境适应性等研究提供依据。

关键词: 膜翅目; 蠼螋蜂科; 蠼螋蜂族; 分类研究; 中国

*基金项目: 云南省农业联合专项重点项目 (202101BD070001-004)

**通讯作者, E-mail: maliwasps@aliyun.com

中国伊娃蛛蜂属分类及区系研究*

董丽丽 李 强 马 丽**

(云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 为了修订我国伊娃蛛蜂属 *Evagetes* 种类及其区系分布情况, 运用分类学原理和方法对多年来采集于全国各地的伊娃蛛蜂属种类标本进行了系统分类和区系分布研究。伊娃蛛蜂属隶属膜翅目 Hymenoptera 细腰亚目 Apocrita 针尾部 Aculeata 胡蜂总科 Vespoidea 蛛蜂科 Pompilidae 蛛蜂亚科 Pompilinae 蛛蜂族 Pompilini, 是一类盗寄生性昆虫, 分布于农林和草地等多种生态环境中, 其雌蜂的触角在沙土表面快速移动中便可感知沙土中其他蛛蜂种类巢穴的存在, 之后便挖开沙土实施盗寄生; 同时, 成虫具有访花习性, 是一类传粉昆虫, 具有重要的生态功能。至 2022 年, 伊娃蛛蜂属 *Evagetes* 世界已知 81 种 21 亚种, 其中, 分布于古北区的有 54 种 20 亚种、东洋区 3 种、新北区 10 种、新热带区 3 种、非洲区 11 种 1 亚种; 同时分布在古北区和东洋区的有 1 种, 同时分布在古北区和新北区的有 2 种 1 亚种, 同时分布在古北区和澳洲区的有 2 种。中国已知 5 种, 其中内蒙古分布 3 种、宁夏 2 种、台湾 2 种、河北 1 种。本文记述了我国伊娃蛛蜂属 *Evagete* 19 种和 1 亚种, 其中包括 4 新种、10 中国新纪录种、1 中国新纪录亚种, 详细描述了各种类的形态特征, 附上了特征图; 研制出已知种类检索表, 列出了中国及世界伊娃蛛蜂属 *Evagetes* 已知种名录; 对我国该属种类的区系分布及生境进行了分析。研究结果为我国蛛蜂分类和区系以及系统发育的进一步研究、为蛛蜂本土昆虫资源调查以及蛛蜂与生态环境协调演化等研究、同时为解决生产实践中蛛蜂种类难以鉴定等问题提供了依据。

关键词: 蛛蜂科; 伊娃蛛蜂属; 分类学; 区系分布; 中国

*基金项目: 国家自然科学基金 (31960112)

**通讯作者, E-mail: maliwasps@aliyun.com

中国安诺蛛蜂族分类及地理分布研究*

刘泳秀 吴海英 李 强 马 丽**

(云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 蛛蜂是捕猎性昆虫, 雌性成虫常捕猎蜘蛛作为它们后代唯一的食物, 蛛蜂的生境类型多样, 占据着各种各样的栖境, 但新热带界的蛛蜂多样性最高。安诺蛛蜂族 Anopliini 隶属膜翅目 (Hymenoptera) 细腰亚目 (Apocrita) 针尾部 (Aculeata) 胡蜂总科 (Vespoidae) 蛛蜂科 (Pompilidae) 蛛蜂亚科 (Pompilinae), 目前世界已知 2 个属, 安诺蛛蜂属 *Anoplius* 和冠毛蛛蜂属 *Lophopompilus*, 共计 233 种 31 亚种。安诺蛛蜂属世界已知 8 亚属 224 种 31 亚种, 8 个亚属分别为安诺蛛蜂亚属 *A. (Anoplius)* Dufour (1834)、石蛛安诺蛛蜂亚属 *A. (Arachnoproctonus)* Howard (1901)、东方安诺蛛蜂亚属 *A. (Orientanoplius)* Haupt (1935)、*A. (Anoliodes)* Banks (1939)、*A. (Dicranoplius)* Haupt (1950)、*A. (Notiochares)* Banks (1917)、*A. (Cameronoplius)* Evans (1966) 和 *A. (Pompinilus)* Ashmead (1902), 主要分布于新北界和新热带界, 其成虫生境类型多样, 在农田、草地、雨林、树林、沙地、戈壁、河滩等地有发现; 中国已知该属 3 亚属 23 种, 3 个亚属分别为安诺蛛蜂亚属、石蛛安诺蛛蜂亚属和东方安诺蛛蜂亚属。冠毛蛛蜂属 *Lophopompilus* 世界已知 9 种, 古北界分布 5 种, 常见于开阔的田野、草地和沙丘; 中国已知该属 2 种。本文记述了安诺蛛蜂属 3 亚属 37 种 1 亚种, 其中包括 7 新种、7 中国新纪录种和 1 中国新纪录亚种; 记述了冠毛蛛蜂属 3 中国新纪录种。区系分布分析表明, 世界安诺蛛蜂属在新热带界亚属分布最为丰富, 特有亚属最多, 其次为新北界, 澳洲界最少; 冠毛蛛蜂属主要分布于古北界和新北界, 新热带界少量分布。我国安诺蛛蜂属跨两界 7 区分布, 主要分布于东洋界, 其中西南区物种最丰富, 华南区、华中区较丰富, 华北区、东北区、蒙新区和青藏区物种分布较少, 东洋界具有最多的特有种; 冠毛蛛蜂属在我国跨两界 5 区分布, 主要分布于古北界。研究结果为中国蛛蜂分类及区系的进一步研究提供了依据和参考。

关键词: 蛛蜂科; 安诺蛛蜂族; 地理分布; 分类; 中国

*基金项目: 国家自然科学基金 (31960112)

**通讯作者, E-mail: maliwasps@aliyun.com

中国短翅泥蜂物种丰富度空间格局及其对气候变化的响应*

付 滢 李 强 马 丽**

(云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 短翅泥蜂族 Trypoxylini 隶属膜翅目 Hymenoptera 细腰亚目 Apocrita 针尾部 Aculeata 蜜蜂总科 Apoidea 方头泥蜂科 Crabronidae 方头泥蜂亚科 Crabroninae, 是一类独居捕猎性天敌昆虫, 对生态环境变化的反应非常敏感; 成虫具有访花习性, 是一类重要的传粉昆虫, 具有重要的生态功能。短翅泥蜂不同物种的分布区、种群数量大小等均随着气候和生态环境等的变化而明显变化, 两者之间协同演化的关系明显。为了了解中国短翅泥蜂族的物种丰富度与气候变化的关系, 为短翅泥蜂物种的有效利用和保护提供科学依据, 本文根据短翅泥蜂族昆虫的已知分布和 20 个生物气候因子, 利用 Maxent 模型和 ArcGIS 软件对其在中国的适生区范围进行预测, 模拟了该族昆虫当前和未来在我国潜在的分布区, 再利用 ArcGIS 软件得到中国短翅泥蜂物种丰富度空间格局, 最后分析气候变化对分布格局影响。结果表明: 中国短翅泥蜂丰富度较高的区域主要位于云南的东北部、东南部、中部、西南部, 广西省东南部和西南部, 广东省南岭以西地区, 海南省大部分地区及河北省东部; 刀切法检验结果表明, 影响短翅泥蜂的潜在地理分布的关键生物气候因子为气温因子(最冷季均温、最冷月最低温、年均气温、最早季均温)和降水因子(最暖季降水量、最湿季降水量); 在未来气候变化情景下, 短翅泥蜂的物种丰富度增加, 潜在分布区较现代潜在地理分布区面积有扩展趋势, 且整体上看短翅泥蜂族的潜在地理分布向高纬度及高海拔地区迁移。

关键词: 短翅泥蜂族; 物种分布模型; 潜在分布区; 空间格局

*基金项目: 国家自然科学基金(32270485)

**通讯作者, E-mail: maliwasps@aliyun.com

中国反颚茧蜂族（膜翅目：茧蜂科：反颚茧蜂亚科）物种 名录、区系分布及寄主

姚俊丽 赵庆燕 方舒倩 李吉敏 王灵敏

（福建农林大学生物防治研究所，福州 350002）

摘要：反颚茧蜂族（Alysiini）是一类重要的寄生性昆虫，世界广布。截至 2022 年 11 月，中国已知反颚茧蜂族有 31 属 248 种，分别占世界已知属和种的 39.24%、14.87%。中国反颚茧蜂族特有种 92 种，占中国反颚茧蜂族种数的 37.10%。中国地跨古北界和东洋界，我们研究了中国反颚茧蜂族的地理分布，发现反颚茧蜂族分布以古北界和东洋界共有属级分布型最丰富，有 15 属 51 种；其次为东洋界特有分布型，有 11 属 114 种；而古北界特有分布型仅 5 属，但种类丰富，有 83 种。同时基于本研究数据，我们进一步使用最大熵模型对中国反颚茧蜂族的适生区进行了预测，得到其最适宜生存地区主要为东北和南方地区。据统计，反颚茧蜂族昆虫至少寄生双翅目 20 个科，其主要寄主有潜蝇科、花蝇科、果蝇科、水蝇科、食蚜蝇科、寄蝇科及实蝇科等，目前已经发现多数反颚茧蜂族种类对双翅目蝇类昆虫具有防治作用。此外，我们共发表论文 14 篇（10 篇 SCI），共鉴定出反颚茧蜂族（Alysiini）2 新属，27 新种。

关键词：膜翅目；反颚茧蜂族；生物多样性；区系分布；寄主；新种；适生区预测

气候变化驱使中国和中南半岛的塔叶蝉族栖息地向更高纬度的河山系统迁移

冉维维^{1,2} 罗贵梅^{1,2} 赵元琦¹ 李 灿² Christopher H. Dietrich³ 宋月华¹

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001; 2. 贵州省山地珍稀动物与经济昆虫重点实验室, 贵阳 550001; 3. Illinois Natural History Survey, Prairie Research Institute, University of Illinois, 1816 S. Oak St., Champaign, IL 61820, USA)

摘要:【目的】随着全球气候变化, 塔叶蝉族的生态位和潜在栖息地分布也将发生变化。然而目前对于该领域的研究是有限的, 因此本文对塔叶蝉族的潜在栖息地适宜性分布及其变化进行了预测。【方法】本文从常用的 12 个生态位模型中选择出性能表现最好的 random forest 模型和 MaxEnt 模型, 以及 random forest 和 MaxEnt 模型的集成模型预测塔叶蝉族在中国和中南半岛当前和未来气候情景下[未来用两种共享社会经济路径 Shared Socio-economic Pathways(SSPs), 即 SSP126 和 SSP585 情景下的 3 个时期(2050s: 2041-2060 的平均值; 2070s: 2061-2080 的平均值; 2090s: 2081-2100 的平均值)表示]的生态位和栖息地适宜性分布变化。

【结果】结果显示最冷月的最低温 (Min Temperature of Coldest Month)、昼夜温差月均值 (Mean Diurnal Range)、最干季降水量 (Precipitation of Driest Month) 和 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 是影响塔叶蝉族出现的前四个环境变量。在当前和未来气候情景下, 塔叶蝉族几乎都分布在中国 400 mm 等降水量线的东南面, 中南半岛的越南。在 SSP126 气候情景下, 扩张的适生区主要集中在中国的湖南、江西、浙江、安徽和河北, 中南半岛的缅甸和泰国; 在 SSP585 气候情景下, 与 SSP126 相比, 到 2090 s 时扩张区主要增加了山西、陕西、宁夏、甘肃和新疆, 而在中南半岛的变化不大。【结论】很有趣的发现是, 在中国和中南半岛的栖息地分布的质心都发生在河流和山系周围, 并从贵州沿着沅江水系往湖南更高的纬度迁移。研究结果有助于叶蝉总科昆虫的生物地理学研究和害虫防治措施的有效制定, 以及有助于生物多样性保护和生态系统稳定性管理, 以促进可持续发展。

关键词: 气候变暖; 环境适应; 生境适宜性; 潜在分布; 质心; 生态位模型

贵州典型喀斯特石漠化生态系统对小叶蝉亚科群落结构和多样性的影响

王金秋^{1,2} 蒋佳^{1,2} 池永宽^{1,2} 宋月华^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001)

摘要:【目的】在喀斯特生态系统中, 不同的地理环境条件会导致不同的岩石圈条件, 从而决定群落的组成和改变生物间的相互作用。贵州省地处我国南方喀斯特地区, 是典型的喀斯特生态脆弱地区。对喀斯特地区叶蝉的群落结构和生物多样性进行调查, 丰富叶蝉物种数据, 以期达到监测和评估不同等级石漠化地区的环境变化趋势和生态恢复效果。【方法】为探究不同喀斯特生境中生物多样性与环境变化的关系, 对贵州省 3 个典型喀斯特地区(贞丰-花江示范区、毕节撒拉溪示范区、施秉云台山自然保护区)的小叶蝉亚科昆虫(半翅目、叶蝉科)的群落结构和多样性进行调查与分析。这些地区在地理环境方面具有差异性。在野外调查中, 小叶蝉亚科标本采自 3 个研究区的 5 种常见叶蝉寄主植物: 核桃、五倍子、桃树、李树、水麻。【结果】本研究共捕获小叶蝉亚科昆虫标本 4 078 头, 隶属于 6 族 40 属 121 种。其中杜鹃杨小叶蝉 *Alnetoidia dujuanensis*、灵川零叶蝉 *Limassolla lingchuanensis*、桃点新小叶蝉 *Singaporea shinshana* 为优势种。各地区小叶蝉亚科标本数量如下: 施秉 2 170 头(53.2%); 毕节 973 头(23.9%); 花江 935 头(22.9%)。石漠化严重的地区采集到的叶蝉数量较少, 叶蝉的数量随着植被覆盖度的增加而增加。3 个研究区环境因子对叶蝉群落结构的影响程度顺序依次为: 花江>毕节>施秉。这一顺序与 3 个研究区的石漠化等级排序一致。基于不同分类阶元的数量排序为: 毕节(6 族, 32 属, 68 种)>花江(6 族, 22 属, 58 种)>施秉(5 族, 21 属, 48 种)。【结论】结果表明, 气候和寄主植物叶片性状等环境因子对不同等级石漠化地区叶蝉群落特征和多样性的影响不同。本研究证明了不同等级喀斯特石漠化地区物种多样性存在差异, 为今后石漠化治理和区域生态恢复提供了理论依据。

关键词: 小叶蝉亚科; 物种多样性; 群落结构; 喀斯特地区; 石漠化

马铃薯块茎蛾气味结合蛋白的表达及功能分析

李 婧 闫俊杰 高玉林*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193)

摘要:【目的】马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* Zeller 属鳞翅目 (Lepidoptera) 麦蛾科 (Gelechiidae), 是茄科作物上的重大害虫, 对马铃薯危害尤为严重, 影响马铃薯产业健康发展和粮食安全。嗅觉识别在马铃薯块茎蛾生长、交配、繁殖等生物学习性中发挥重要作用, 在这一过程中, 气味结合蛋白 (odorant binding proteins, OBPs) 参与气味识别的第一步反应, 负责把气味分子运输至气味受体。目前, 对于马铃薯块茎蛾的气味结合蛋白的分子识别功能研究尚少, 因此本文开展了马铃薯块茎蛾 OBPs 气味分子识别的研究。【方法】基于马铃薯块茎蛾转录组数据, 分析了 4 个 OBP 基因在马铃薯块茎蛾不同发育阶段表达情况, 进一步通过荧光定量 (q-RT-PCR) 评估其时空表达情况; 利用触角电位 (EAG) 技术, 筛选了成虫 EAG 相对反应值较高的寄主植物挥发物; 然后利用筛选出的化合物与 PopeOBP16 进行荧光竞争结合试验。【结果】成虫不同组织的 q-PCR 结果显示, PopeOBP12/16/24 都在触角中高表达, 而 PopeOBP14 在腹部高表达; 不同龄期的定量结果表明, PopeOBP12 在一龄幼虫期高表达, PopeOBP14 在一龄幼虫和老熟幼虫期表达量较高, PopeOBP16 在成虫中尤其是雄虫高表达, PopeOBP24 在一龄幼虫以及蛹期高表达。其中 PopeOBP16 在成虫触角中高表达, 预示其可能参与成虫的气味识别和行为调控; 筛选出了 27 种 EAG 相对反应值较高的寄主植物挥发物; 荧光竞争结合实验结果表明, 重组蛋白 PopeOBP16 不仅与橙花醇、2-苯乙醇、芳樟醇、1,8-桉叶油醇、苯甲醛、 β -蒎烯、D-柠檬烯、萜品油烯、 α -松油烯的结合亲和力很强, 还与其性信息素组分反式-4、顺式-7、顺式-10-三烯-1-醇醋酸酯具有很强的结合亲和力。【结论】本研究发现马铃薯块茎蛾气味结合蛋白 PopeOBP16 能与多种寄主植物挥发物, 以及一种性信息素组分结合。该结果为进一步开发马铃薯块茎蛾理化诱控为基础的绿色防控技术体系奠定了基础。

关键词: 马铃薯块茎蛾; 气味结合蛋白; 荧光定量; 触角电位; 荧光竞争结合

*通讯作者, E-mail: gaoyulin@caas.cn

大灰象甲气味结合蛋白基因 *SvelOBP1* 的分子克隆、组织表达谱及配体结合特性分析

翟颖妍 田天祺 张 锋 洪 波

(陕西省生物农业研究所, 西安 710043)

摘要:【目的】大灰象甲 *Sympiezomia velatus* (Chevrolat) 是危害枣树的主要害虫之一, 气味结合蛋白 (Odorant binding proteins, OBPs) 与昆虫嗅觉识别机制密切相关。本研究通过克隆大灰象甲 *SvelOBP1* 基因, 解析该基因编码蛋白的特征, 明确大灰象甲 *SvelOBP1* 基因的组织表达模式, 分析 *SvelOBP1* 蛋白的气味结合特性, 为大灰象甲基于嗅觉识别的寄主选择机制研究提供理论依据。【方法】基于大灰象甲触角转录组数据, 利用 RT-PCR 技术克隆并鉴定大灰象甲 *SvelOBP1* 基因, 进行系统发育分析; 采用 qRT-PCR 方法测定该基因在大灰象甲雌雄成虫的触角、头、胸、腹、足、翅中的相对表达量。构建表达载体后经 IPTG 诱导表达并纯化 *SvelOBP1* 重组蛋白, 利用荧光竞争结合实验检测 *SvelOBP1* 蛋白和 43 种寄主植物气味挥发物的结合能力。【结果】*SvelOBP1* 基因 (NCBI 登录号: OQ740559) 的片段长度为 482 bp, 编码 119 个氨基酸, 理论等电点为 5.26, 预测蛋白质分子量为 13.53 kD, 编码序列具有 6 个保守的半胱氨酸, 属于典型 OBPs 家族; 系统发育分析结果表明 *SvelOBP1* 和枣食芽象甲 (*Pachyrhinus yasumatsui*) *PyasOBP2* 的同源性最高, 氨基酸序列相似性达到了 80.91%; *SvelOBP1* 主要在大灰象甲雌雄成虫的触角中表达, 在其他部位均仅有少量表达, 雄虫触角相对表达量是雌虫触角表达量的 7.81 倍, 在被检测的 43 种气味挥发物中, *SvelOBP1* 能够和 36 种化合物结合 (解离常数 $K_i < 20 \mu\text{mol/L}$), 有较广泛的配体亲和力, 其中与 α -法尼烯和邻苯二甲酸二丁酯的结合能力最强, K_i 分别为 6.66 和 7.98 $\mu\text{mol/L}$ 。【结论】*SvelOBP1* 主要在大灰象甲雌雄成虫触角上表达, 且能结合多种气味挥发物, 推测 *SvelOBP1* 可能参与了嗅觉感受, 在大灰象甲寄主识别和定位过程中发挥重要作用。

关键词: 大灰象甲; 气味结合蛋白; 蛋白纯化; 配体; 寄主挥发物; 荧光竞争结合

马铃薯块茎蛾的嗅觉受体基因的鉴定与分析

陈瑞朋 闫俊杰 高玉林*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193)

摘要:【目的】马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 属鳞翅目麦蛾科, 是马铃薯和烟草等茄科作物上的重大害虫。本研究旨对该害虫的嗅觉受体基因, 包括气味受体基因 (Odorant Receptors, ORs) 和离子型受体基因 (Ionotropic Receptors IRs) 进行鉴定与分析, 为今后深入研究其化学生态学机制, 开发绿色的理化诱控技术奠定基础。【方法】收集家蚕等 13 个物种嗅觉受体基因作为参考序列, 使用 tBlastn 程序比对参考基因组, 利用 GeneWise 工具和手动比对的方法对马铃薯块茎蛾的嗅觉受体基因进行鉴定, 并利用 RaxML 软件对鉴定到的嗅觉受体基因进行系统发育分析, 最后结合转录组数据对嗅觉受体基因在马铃薯块茎蛾成虫的组织表达谱进行了分析。【结果】我们从基因组中鉴定到 51 个离子型受体基因 (IRs) 和 95 个气味受体基因。通过系统发育分析发现, 马铃薯块茎蛾的离子型受体基因包括 5 个离子受体共受体、23 个触角 IRs (Antennal IRs, A-IRs)、6 个鳞翅目特有 IRs (Lepidoptera-specific IRs, LS-IRs) 和 17 个分歧 IRs (Divergent-IRs)。95 个气味受体中, 有 20 个属于 PR 分支, 1 个是气味受体共受体 (Odorant receptors coreceptor, Orco)。通过对表达谱分析发现, 气味受体主要集中在触角中 (67/95) 表达, 而在足和头等组织上表达数量较少, 这表明气味受体主要在触角上发挥其气味感受的功能。同样的, 大多数离子型受体基因 (29/51) 在成虫触角中富集表达, 少部分在与味觉相关的组织如足以及非化学感觉器官如雌雄的生殖器官中也检测到。这些结果表明, 马铃薯块茎蛾的离子型受体在嗅觉、味觉和生殖方面可能发挥不同的功能作用。【结论】本研究确定了马铃薯块茎蛾的嗅觉受体基因的信息, 并对它们进行了系统发育和表达谱进行了详细分析, 研究结果为今后分析该物种行为的化学感受机制提供了基础。

关键词: 马铃薯块茎蛾; 基因结构分析; 转录组分析; 离子受体; 气味受体

*通讯作者, E-mail: gaoyulin@caas.cn

始红蝽唾液蛋白的鉴定与功能初探

林 倩 万 艺 徐海君

(浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058)

摘要:【目的】本文探究了始红蝽 *Pyrrhocoris apterus* 胶状唾液和水状唾液的蛋白成分, 以深入地挖掘唾液蛋白在刺吸式昆虫取食干燥种子过程中的功能。【方法】利用液相色谱-串联质谱仪 (LC-MS/MS) 技术对始红蝽的胶状唾液和水状唾液的蛋白成分进行鉴定; 通过 RNA-seq 技术测定了始红蝽唾液腺的转录组, 通过转录组学进行蛋白预测和唾液蛋白时空表达模式分析; 利用 RNA 干扰始红蝽 4 龄初若虫, 探究候选蛋白基因功能。【结果】通过质谱分析, 得到了 141 种胶状唾液蛋白和 55 种水状唾液蛋白; 本文对 89 个唾液蛋白进行了功能注释, 发现在胶状唾液中, 卵黄蛋白 (vitellogenin) 的丰度最高; 在水状唾液中, 未知蛋白 (Pyap00120) 和漆酶 (laccase) 的丰度最高。从测定的始红蝽唾液腺的转录组数据中预测到 306 个分泌蛋白, 包括类弹性蛋白 (resilin like)、氧化还原酶 (oxidoreductase)、气味结合蛋白 (odorant-binding proteins) 等, 其中 50 个蛋白与质谱鉴定重合。从始红蝽唾液蛋白的时空表达模式发现, 质谱鉴定得到的 165 种蛋白中有 66 种蛋白在唾液腺中特异性表达, 20 种蛋白基因在中肠中特异性表达。对在唾液腺高度表达, 且在若虫和成虫阶段都有较高的表达量的 8 种唾液蛋白进行 RNA 干扰, 发现沉默这些候选蛋白基因后, 始红蝽无法正常取食, 沉默 20 d 后大量死亡, 说明这 8 种唾液蛋白对始红蝽的食性适应性具有重要作用。【结论】始红蝽的胶状唾液和水状唾液蛋白具有对物质分解、有毒化合物降解和体外消化等功能, 本研究选取的 8 个候选唾液蛋白在始红蝽成功取食干燥种子过程中发挥重要作用, 研究结果为了解昆虫的食性分化和昆虫-植物共进化关系提供了部分基础。

关键词: 始红蝽; 胶状唾液; 水状唾液; 唾液腺; 蛋白组学; 转录组; RNA 干扰

褐飞虱唾液基因 S5 和 S7 的突变体构建及功能分析

刘昕洋 魏圣飞 徐海君

(浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058)

摘要:【目的】探究褐飞虱唾液腺特异性表达的唾液基因 *Salivap-5* (S5) 和 *Salivap-7* (S7) 在褐飞虱取食水稻过程中发挥的作用, 助于理解褐飞虱取食机制及与水稻的协同演化机制。

【方法】利用 CRISPR/Cas9 (Clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein 9) 基因组编辑技术对褐飞虱 2 个唾液特异基因 (*Salivap-5* 和 *Salivap-7*) 进行敲除, 使其编码蛋白失活, 构建褐飞虱 *NIS5*^{-/-} 和 *NIS7*^{-/-} 纯合突变种群; 通过刺吸电位实验 (EPG) 检测 *NIS5* 和 *NIS7* 突变成虫与野生型成虫在取食寄主水稻过程中的取食行为差异; 检测 *NIS5* 和 *NIS7* 突变对褐飞虱卵和若虫发育历期、寿命、体重、产卵量和孵化率的影响。【结果】对褐飞虱唾液基因 *NIS5* 和 *NIS7* 进行敲除, 分别获得在靶点处缺失 6 个碱基、插入 4 个碱基和缺失 29 个碱基的纯合突变体, 从而导致 *NIS5* 和 *NIS7* 编码蛋白失活。刺吸电位实验表明, *NIS5*^{-/-} 和 *NIS7*^{-/-} 突变体非刺探时间均显著延长, 刺吸韧皮部时间均显著缩短, 刺吸木质部时间均无明显差异, *NIS7*^{-/-} 突变体口针在植物表皮细胞和叶肉细胞穿刺寻找时间显著延长而 *NIS5*^{-/-} 突变体无明显差异。与野生型相比, 除 *NIS5*^{-/-} 突变体的 4、5 龄期外, *NIS5*^{-/-} 和 *NIS7*^{-/-} 其余各发育期均显著延长, 总发育持续时间分别从 19.5 d 延长至 22.5 和 23.5 d。但与野生型相比, *NIS5*^{-/-} 和 *NIS7*^{-/-} 突变体的寿命明显缩短, 雌成虫从 22.5 d 分别减少到 16 和 16.5 d, 雄成虫从 25 d 均减少到 18 d。除 *NIS5*^{-/-} 雄虫外, 初羽化的 (0-6 h) *NIS5*^{-/-} 和 *NIS7*^{-/-} 成虫的体重与野生型相比显著下降。此外, *NIS5*^{-/-} 和 *NIS7*^{-/-} 突变体的产卵量比野生型低 57.8% 和 60.2%, 卵孵化率也分别降低了 22% 和 40%。【结论】*NIS5* 和 *NIS7* 的缺失影响了褐飞虱对水稻的正常取食过程, 并且导致了明显的适合度代价。

关键词: 褐飞虱; 唾液基因; CRISPR/Cas9; 生长发育; 生殖; 取食

唾液蛋白介导草地贪夜蛾与植物互作机理研究*

蔡香云^{1,2,3} 王亚如^{1,2,3} 侯有明^{1,2,3**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002; 2. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福州 350002; 3. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002)

摘要: 植物和昆虫在长达 4 亿年的共同进化过程中形成了复杂的相互作用关系, 植物对昆虫的防御模式主要包括组成型防御和诱导型防御。面对植物的各种防御, 昆虫唾液中不仅具有诱导或促进植物防御的激发蛋白, 也有抑制或减弱植物防御的效应蛋白。目前对于鳞翅目昆虫唾液有效蛋白的发现较少, 草地贪夜蛾作为我国重大入侵害虫, 寄主植物达 350 多种, 因此, 对其与植物互作机理的研究意义重大, 本文旨在发掘草地贪夜蛾与植物互作中的有效唾液蛋白, 有助于深入解析植物和昆虫的互作机理, 为植物抗性品种的开发提供分子生物学依据。本研究主要通过唾液腺转录组测定、QRT-PCR、瞬时表达、ELISA、酵母双杂交等技术寻找唾液蛋白有效因子并探索其主要功能。主要研究结果如下: 1) 从不同寄主饲喂处理的末龄幼虫唾液腺转录组中寻找富集的主要通路, 并从中筛选克隆得到了 6 个唾液蛋白基因; 2) 寄主转移后基因定量结果显示在寄主转移 2 h 出现对植物的强烈响应, 且组织表达发现 *AK*、*HEX*、*UNK*、*PDI* 4 个基因在唾液腺中表达量最高, 由此推测唾液蛋白基因参与昆虫植物之间的互作; 3) 瞬时表达结果显示 *PDI* 基因使烟草产生坏死反应, 且 ELISA 实验显示活性氧 (ROS) 在细胞坏死时表达量显著上调, 推测 *PDI* 为激发蛋白且诱导产生的细胞坏死可能与 ROS 的累积相关; 4) 酵母双杂结果表明 *PDI* 与转录因子 *Nat1* 互作; 5) 瞬时表达 *PDI* 后对 *Nat1* 进行定量分析显示: *PDI* 促进细胞坏死同时 *Nat1* 的表达量显著上调, 推测细胞坏死与 *Nat1* 呈正相关。

关键词: 效应蛋白; 激发蛋白; 转录组; 细胞坏死

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601405); 福建省科技重大专项 (2017NZ0003-1-6)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

椰扁甲啮小蜂毒液蛋白 4-coumarate: CoA ligase 4 (4CL4) 的长链脂酰辅酶 A 合成酶的特性分析*

崔 雯^{1,2} 王牟军^{1,2} 张华剑^{1,2} 周 焱^{1,2} 韩延伟^{1,2} 陈 沛^{1,2}
侯有明^{1,2} 汤宝珍^{1,2**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福建福州 350002; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福建省昆虫生态重点实验室, 福建福州 350002)

摘要:【目的】椰扁甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* Ferrière 是一种群聚型蛹寄生蜂, 可有效防控我国南方棕榈科植物的重要入侵害虫水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* Maulik。椰扁甲啮小蜂毒液蛋白 4-香豆酸辅酶 A 连接酶 (*T. brontispae* 4-coumarate-CoA ligase-like 4-like, Tb4CL4) 为高丰度表达的一种毒液蛋白, 属 I 型腺苷酸形成酶超家族。前期结构分析表明 Tb4CL4 具有长链脂酰辅酶 A 合成酶 (long-chain fatty acid CoA ligase, ACSL) 的特征, 本文主要探究 Tb4CL4 的长链脂酰辅酶 A 合成酶的特性, 为深入解析椰扁甲啮小蜂利用寄主脂肪体的机理提供基础。【方法】配体结合分析 Tb4CL4 与几种长链脂肪酸的亲和能力; 利用免疫荧光和 Western Blot 分析椰扁甲啮小蜂寄生后 Tb4CL4 蛋白是否进入寄主脂肪体中。利用 GC-MS 分析椰扁甲啮小蜂寄生后寄主体内 51 种脂肪酸 (包括亚麻酸和棕榈酸) 含量的变化。【结果】Tb4CL4 与长链脂肪酸亚麻酸和棕榈酸有较高的亲和能力。椰扁甲啮小蜂寄生后 72 h, Tb4CL4 可进入到寄主脂肪体中。同时寄生后 72 h, 51 种脂肪酸尤其亚麻酸和棕榈酸的含量分别显著下降 56 倍和 43 倍。【结论】椰扁甲啮小蜂毒液蛋白 Tb4CL4 进入到寄主脂肪体后, 可能通过催化长链脂肪酸亚麻酸和棕榈酸生成相应的辅酶 A, 加速脂肪酸的氧化, 进而帮助分解利用寄主脂肪体。

关键词: 水椰八角铁甲; 椰扁甲啮小蜂; 毒液蛋白; 4 香豆酸辅酶 A 连酶

*基金项目: 椰扁甲啮小蜂寄生诱导的水椰八角铁甲蛹组织蛋白酶 L 的表达及其对脂肪体的裂解机制 (32072492); 福建省自然科学基金 (2020J01595)

**通讯作者, E-mail: tangbaozhen@fafu.edu.cn

嗜卷书虱热激转录因子 *LbHSFs* 基因的鉴定与表达分析*

冯华月^{1,2} 陈雨昂^{1,2} 蒋诗蝶^{1,2} 李一^{1,2} 王进军^{1,2} 魏丹丹^{1,2**}

(1. 昆虫学与害虫控制工程重庆市重点实验室, 西南大学植物保护学院, 重庆 400715; 2. 长江上游农业生物安全与绿色生产教育部重点实验室, 西南大学农业科学研究院, 重庆 400715)

摘要: 嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* 是一种世界性分布的储藏物害虫, 具有体微小、孤雌生殖以及抗逆性强等特性, 广泛存在于粮仓、博物馆甚至家居环境中。嗜卷书虱不仅能够造成严重经济损失, 还可对人类健康造成威胁。热激转录因子 (Heat shock factor, HSF) 是热激蛋白 (HSPs) 基因的主要调控因子。前期通过对嗜卷书虱热激蛋白家族的研究发现, *LbHSP70.5* 是嗜卷书虱应对极端高温的关键 HSP 基因之一。本研究基于基因组数据和分子克隆技术共鉴定获得 2 个嗜卷书虱热激转录因子基因 (*LbHSF1* 和 *LbHSF2*)。序列分析发现, *LbHSF1* 存在 5 种可变剪切体, 即 *LbHSF1-a*、*LbHSF1-b*、*LbHSF1-c*、*LbHSF1-d* 和 *LbHSF1-e*。*LbHSF1* 的开放阅读框 (ORF) 长度在 1 335~2 256 bp, 等电点为 5.14~9.50; *LbHSF2* 的 ORF 长度为 1 188 bp, 等电点为 4.61。基于蛋白质序列分析发现, *LbHSF1-a*、*LbHSF1-b*、*LbHSF1-c* 包含 4 个经典的功能域, 如 DNA 结合域 (DBD), 疏水性的七肽重复域 HR-A\B 和 HR-C, 以及 C 末端反式激活结构域 (CTAD)。其中, *LbHSF1-d*、*LbHSF1-e* 缺乏 HR-C 和 CTAD 结构域, 而 *LbHSF2* 则缺少 CATD 结构域。系统发育分析结果表明, *LbHSF1* 和 *LbHSF2* 聚为两支, 暗示它们的功能可能出现了分化。其中, *LbHSF2* 仅在部分昆虫被发现。基于 qPCR 技术的 *LbHSF1* 不同发育阶段表达模式研究发现, *LbHSF1* 在 1 龄和 4 龄若虫中显著性高表达; 而 *LbHSF2* 在不同发育阶段的表达量较为一致, 且处于较低水平。采用不同极端温度 (35℃、40℃、45℃) 分别处理嗜卷书虱成虫 2、4、6 及 8 h 后, *LbHSF1* 的表达量随着胁迫温度的升高而显著上调。在同一温度处理中, 处理 2 h 后发生 *LbHSF1* 显著性上调表达, 且在处理不同时长下的表达量趋于稳定。利用 RNAi 技术降低 *LbHSP70.5* 的表达后, 极端高温 (45℃) 处理嗜卷书虱成虫 0.5 h 并恢复 6 h 后, 其死亡率显著提高。而沉默 *LbHSF1* 的表达后, *LbHSP70.5* 的表达量则发生显著性降低, 说明 *LbHSF1* 可能调控 *LbHSP70.5* 的转录表达进而介导嗜卷书虱的高温耐受性。

关键词: 仓储害虫; 热激蛋白; 定量表达; RNA 干扰; 温度胁迫

*基金项目: 国家自然科学基金 (31972276; 32272528)

**通讯作者, E-mail: weidandande@163.com

肠道菌群调控 DNA 甲基化影响红棕象甲肠道生理的机理解析*

公延茹^{1,2} 刘倩霞^{1,2} 刘惠惠^{1,2} 鲁盛平^{1,2} 侯有明^{1,2} 石章红^{1,2**}

(1. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002)

摘要:【目的】红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* 是我国境内一种严重危害棕榈科植物的毁灭性入侵害虫。该害虫肠道内栖居着复杂且稳定的肠道菌群, 而且肠道菌群能够通过调控宿主的基因表达进而促进其生长发育和免疫活性。然而, 肠道菌群如何调控宿主基因表达的分子机理还不清楚。【方法】利用全基因组重亚硫酸盐测序、RNA-seq 和 RT-qPCR 等技术探究肠道菌群对红棕象甲肠上皮组织中 DNA 甲基化修饰的影响以解析肠道菌群促进其生长发育的表观遗传调控机制。【结果】转录组测序表明, 肠道菌群被清除后, 肠道中 288 个基因的表达量发生显著改变, 其中 53 个基因上调表达, 235 个基因下调表达, 并且这些差异基因主要在淀粉和蔗糖代谢、甘油酯代谢等代谢通路富集。DNA 甲基化测序表明, 肠道菌群的清除导致红棕象甲幼虫肠上皮组织中编码基因编码区、外显子、内含子和启动子等不同区域的甲基化水平降低。转录组与 DNA 甲基化数据联合分析发现, 嘧啶代谢基因 *Cmpk2*、氨基聚糖代谢基因 *obst-E* 以及有机体代谢过程基因 *Cyp4d14* 启动子区域的甲基化水平升高促进其表达, 而碱基代谢基因 *MPP7* 和发育相关基因 *FTZ-F1* 终止子区域的甲基化水平升高抑制其表达。RT-qPCR 分析发现, *RfDnmt1a*、*RfDnmt1b* 和 *RfDnmt2* 3 种甲基转移酶在肠道中特异性高表达, 当肠道菌群被清除后, 肠道中 *RfDnmt2* 的表达量显著下调, 肠道中 *RfDnmt1a* 和 *RfDnmt2* 的酶活性也显著降低。【结论】肠道菌群能够通过促进 DNA 甲基转移酶编码基因的表达影响红棕象甲肠道组织的 DNA 甲基化水平, 进而调控宿主相关代谢基因的表达。

关键词: 红棕象甲; 肠道菌群; 入侵害虫; DNA 甲基化; DNA 甲基转移酶

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (32271892; 31470656); 国家重点研发计划 (2017YFC1200605); 福建省自然科学基金项目 (2021J01068; 2018J01705); 福建省高校新世纪人才计划项目 (KLa16058A)

**通讯作者, E-mail: shizh@fafu.edu.cn

半翅目胸喙亚目昆虫 Toll 信号通路抗菌因子作用机制的探索

李 猷 杜 宇 王 帅 魏太云*

(福建农林大学植物保护学院, 福州 350002)

摘要:【目的】半翅目 Hemiptera 胸喙亚目 Sternorrhyncha 昆虫的免疫反应中抗菌因子匮乏, Toll 信号通路下游普遍缺少防御素 (defensin)。本研究将探究胸喙亚目昆虫在缺少防御素的条件下, 是否能够通过 Toll 信号通路转录因子 Dorsal 激活溶菌酶 lysozyme 的表达发挥抑菌作用。【方法】通过生物信息学方法, 复核胸喙亚目昆虫防御素的缺失情况并挖掘其他的抗菌肽, 以豆蚜 *Aphis craccivora*、桃蚜 *Myzus persicae* 和柑橘木虱 *Diaphorina citri* 为实验对象, 比较饲喂或注射病原菌前后 Toll 信号通路转录因子 Dorsal 和溶菌酶的表达情况, 通过昆虫显微注射以及抑菌圈实验的明确昆虫溶菌酶的抑菌效果; 利用 RNA 干扰、酵母单杂交和凝胶电泳迁移率等实验明确 Toll 信号通路转录因子 Dorsal 与溶菌酶启动子之间的转录调控机制。【结果】本研究发现胸喙亚目昆虫体内溶菌酶 lysozyme 普遍存在。Toll 信号通路下游转录因子 Dorsal 与 i 型溶菌酶具有直接的转录调控关系, 在蚜虫和木虱受到病原菌刺激后, Dorsal 发生核质迁移, 从细胞质进入细胞核内结合并转录 i 型溶菌酶的启动子。蚜虫和木虱的 i 型溶菌酶在体内及体外发挥显著的抑菌功能。【结论】胸喙亚目昆虫 Toll 信号通路能够直接调控 i 型溶菌酶的表达, 替代防御素的存在, 并在体内发挥抗菌作用。

关键词: 蚜虫; 柑橘木虱; 溶菌酶; Toll 信号通路

*通讯作者

柑橘黄龙病菌抑制柑橘木虱 Toll 信号通路免疫因子表达促进持久传播的机制

杜 宇 李 猷 魏太云*

(福建农林大学植物保护学院, 福州 350002)

摘要:【目的】探究介体昆虫柑橘木虱 *Diaphorina citri* 的 Toll 信号通路和柑橘黄龙病菌 (*Candidatus Liberibacter asiaticus*, CLas) 之间的免疫博弈机制。【方法】比较柑橘木虱感染前后 Toll 信号通路关键因子的表达情况, 通过 RNA 干扰及转录调控手段明确 Toll 信号通路的抗菌作用; 利用蛋白互作手段、免疫荧光和免疫电镜标记以及培养细胞杆状病毒表达体系解析 CLas 效应蛋白与 Toll 信号通路关键因子之间的互作及调控机制。【结果】本研究发现 CLas 侵染柑橘木虱后, 柑橘木虱 Toll 信号通路的关键因子被普遍激活, 但激活程度明显低于其他病原菌的刺激。Toll 信号通路下游转录因子 Dorsal 激活的抗菌因子溶菌酶与 CLas 膜蛋白互作并抑制其表达进而发挥抑菌功能。CLas 在柑橘木虱体内的增殖活跃期分泌产生的效应蛋白会招募一种被激活表达的 HECT 型 E3 泛素连接酶 UBR 与 Toll 信号通路接头蛋白 MyD88 形成三者互作, 促进 MyD88 通过泛素蛋白酶体途径降解, 进而削弱 Toll 信号通路的免疫功能。【结论】CLas 产生的效应蛋白能够阻碍介体 Toll 通路的信号级联传递, 削弱抗菌因子的表达。研究结果首次解析了 CLas 调控介体柑橘木虱 Toll 信号通路促进其持久增殖传播的机制。

关键词: 柑橘黄龙病菌; 柑橘木虱; 效应蛋白; Toll 信号通路

*通讯作者

获取 ToCV 条件下烟粉虱实时荧光定量 PCR 内参基因的筛选*

张 敏 轩辕宗缙 董 悦 褚 栋 丁天波**

(山东省植物病虫害绿色防控工程研究中心, 青岛农业大学植物医学学院, 山东青岛 266109)

摘要:【目的】近年来, 番茄褪绿病毒 (tomato chlorosis virus, ToCV) 在我国大范围流行, 烟粉虱是其主要的传播媒介。明确获取 ToCV 条件下烟粉虱实时荧光定量 PCR (qPCR) 最适内参基因, 可为烟粉虱体内与 ToCV 互作基因的准确定量提供稳定保障, 为从媒介昆虫角度寻获病毒阻截关键基因奠定理论基础。【方法】选取 *Actin*、*ATPase*、*EF-1 α* 、*GAPDH*、*HSP20*、*HSP40*、*HSP70*、*HSP90*、*Myosin L*、*NADH*、*PPIA*、*RPL29*、*SDHA*、 *α -tubulin*、 *γ -tubulin*、*18s* 等 16 个候选内参基因, 采用 qPCR 技术检测其在烟粉虱获取 ToCV 0、6、12、24 和 48 h 后的表达水平, 并综合运用 Delta CT、BestKeeper、NormFinder、GeNorm 和 RefFinder 五种软件对各内参基因的表达稳定性进行评价, 最终选用 *JNK* 和 *Atg9* 基因, 验证优选内参基因在烟粉虱获取 ToCV 条件下表达的稳定性水平。【结果】获取 ToCV 不同时间后, 16 个候选内参基因的 *Ct* 值范围在 12.59 (*18s*) -35.90 (*NADH*) 之间; Delta CT、GeNorm、BestKeeper 和 NormFinder 分析结果均显示 *HSP40*、*HSP20*、*18s* 和 *GAPDH* 基因表现出良好的表达稳定性; 结合 GeNorm 判断配对变异值确定最佳内参数目, 进一步综合运用 RefFinder 软件分析和功能基因 qPCR 验证, 最终确定获取 ToCV 条件下烟粉虱 qPCR 最适内参基因为 *HSP40* 和 *HSP20*。【结论】作为一类在生物体内广发存在的应激蛋白, HSP 基因亦在烟粉虱获取 ToCV 后呈现出最优的表达稳定性, 对后续烟粉虱体内传毒相关基因的准确评价和筛选具有重要的实际意义。

关键词: 烟粉虱; 番茄褪绿病毒; 媒介昆虫; 内参基因; 实时荧光定量 PCR

*基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1400200); 山东省自然科学基金(ZR2022MC166); 国家自然科学基金 (31501707); 青岛农业大学大学生创新训练项目

**通讯作者, E-mail: tianboding@126.com

椰扁甲啮小蜂诱导的寄主组蛋白 H3 乙酰化调控黑化和脂肪体裂解相关基因表达的机理*

蒋 堃 侯有明 汤宝珍**

(福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福建省昆虫生态重点实验室,
福州 350002)

摘要:【目的】实验室前期研究表明椰扁甲啮小蜂寄生诱导寄主免疫和脂肪体利用相关基因发生差异表达,但啮小蜂是否通过组蛋白乙酰化调控寄主基因的表达值得探究。本文从组蛋白乙酰化角度解析椰扁甲啮小蜂调控寄主基因表达的策略及其具体调控机理。【方法】乙酰化泛抗体分析寄生前后寄主体内组蛋白乙酰化修饰程度,qPCR 筛选关键组蛋白乙酰化相关酶,进一步通过 RNAi 分析组蛋白乙酰化相关酶对免疫和脂肪体裂解相关基因的调控作用。【结果】WB 结果表明椰扁甲啮小蜂寄生后,寄主组蛋白 H3 的第 9、14 和 36 位赖氨酸乙酰化修饰水平发生改变。qPCR 表明调控上述赖氨酸乙酰化修饰的组蛋白乙酰基转移酶 *KAT2B* 和 *KAT6B* 以及去乙酰化酶 *Rpd3*、*SAP130* 和 *Sir2* 的转录水平发生显著变化。干扰 *Rpd3* 后水椰八角铁甲蛹黑化死亡,死亡率达 79%,且与酚氧化酶级联反应相关基因 *PPAF1* 和 *PPO* 表达量分别显著上调 0.38 和 0.14 倍。干扰 *SAP130*,水椰八角铁甲蛹在羽化过程中死亡,死亡率达 55%,且裂解脂肪体基底膜层粘连蛋白的组织蛋白酶 L 的表达量显著下调 0.4 倍,脂肪体基底膜的成分之一层粘连蛋白 *laminin* 的表达量升高 0.34 倍,进而引起血淋巴中甘油三酯的含量降低。【结论】椰扁甲啮小蜂的寄生可通过调控组蛋白去乙酰化酶 *Rpd3* 和 *SAP130* 的表达调控组蛋白 H3 第 9、14 和 36 位赖氨酸的乙酰化修饰水平,进而调控酚氧化酶级联反应和脂肪体裂解相关基因的表达,最终有效抑制寄主水椰八角铁甲的免疫和有效利用寄主脂肪体。

关键词: 水椰八角铁甲; 椰扁甲啮小蜂; 寄生蜂; 乙酰化

*基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (32072492); 福建省自然科学基金面上项目 (2020J01595)

**通讯作者, E-mail: tangbaozhen@fafu.edu.cn

飞蝗行为可塑性的翻译水平调控

魏丽亚*

(河北大学生命科学学院, 河北保定 071002)

摘要: 蝗虫从散居型 (Solitary phase) 向群居型 (Gregarious phase) 的转变不仅是表型可塑性的典型代表, 还是蝗灾暴发的生物学基础。由于蝗虫型变的复杂性, 传统的生理、生态和行为学的研究难以揭示型变的内在机制。从上世纪末本世纪初, 通过生态基因组学方法深入阐明蝗虫表型可塑性的分子调控机制。前期研究主要集中在转录调控、表观调控以及代谢调控等水平上解释蝗虫行为、体色、生殖、飞行等表型调控的分子机制, 同时也暗示两型转变这一可塑性过程可能存在翻译水平的动态调控。我们首次成功建立了飞蝗核糖体展示技术实验体系, 构建了飞蝗群散两型转变的核糖体动态图谱, 其中核糖体 60S 大亚基变化最为明显, 表现出独特的分子可塑性特征。行为可塑性是飞蝗响应种群密度变化过程中发生最快、最显著的反应, 对飞蝗聚群起关键作用。同一基因型的群散居飞蝗分别在翻译水平高表达 *RPL7* 和 *MRPL18c* 基因, 调节细胞质和线粒体核糖体组分丰度, 进而产生不同行为表现。因此, 揭示了飞蝗在应对外界环境的种群密度变化时, 调用两种不同的翻译策略的独特原理。这种通过调整核糖体组分变化来适应环境的策略可能广泛存在于生物界中。本研究率先阐释了蝗虫型变这一典型表型可塑性的翻译调控新机制: 群居型和散居型飞蝗细胞质与线粒体翻译不同调控了行为可塑性。不仅对认识生物表型可塑性的本质具有重要意义, 还为理解蝗虫聚群成灾机制提供新线索。

关键词: 翻译调控; 行为可塑性; 飞蝗; 细胞质; 线粒体

*E-mail: weiliya@hbu.edu.cn

西双版纳传粉榕小蜂合子前生殖隔离的化学基础*

谢 华¹ 刘志祥² 杨 培³ 李宗波^{3**}

(1. 西南林业大学生物多样性保护学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 昆明 650224; 2. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 3. 云南中医药大学, 昆明 650500)

摘要: 【目的】生殖隔离机制是物种形成的关键。表皮碳氢化合物作为一类识别信息素, 用于种内、种间以及不同生殖状况个体的配偶选择, 进而影响遗传物质的传递、交换以及物种形成与维持机制。【方法】采用浸提法和气相色谱-质谱联用 (GS-MS) 技术, 分析了西双版纳地区 13 种榕树雄花期果内的传粉榕小蜂、3 种进果非传粉榕小蜂雌、雄蜂表皮碳氢化合物组成及其种内种间的共性与特性。【结果】16 种榕小蜂表皮碳氢化合物具有较高的多样性, 由 68 种化合物组成, 包括正链烷烃、甲基烷烃、烯烃和甲基烯烃。不同物种、两性间化合物种类、数量及含量均有明显差异; 各物种雌蜂 CHCs 总含量均显著高于雄蜂 ($P < 0.008$)。其中, 钝叶榕传粉榕小蜂 *Eupristina* sp.、两种进果非传粉榕小蜂 *Diaziella yangi*、*Lipothymus* sp. 和高榕两种进果榕小蜂之间的 CHCs 均有显著差异 (ANOSIM: $R > 0, P < 0.001$)。随机森林提取出 n-C29、Squalene、n-C43、n-C34、n-C23 和 n-C13 可将两个在形态上极为相似的姊妹种高榕传粉榕小蜂 *E. altissima* 和进果非传粉榕小蜂 *Eupristina* sp. 明显区分开来, 可作为化学分类的依据。在同域近缘寄主榕树中, 两种鸡嗉子榕变种传粉榕小蜂 *Ceratosolen gravelyi* FSS 和 *C. gravelyi* FSM 表皮碳氢化合物种间、种内差异显著 ($R > 0, P < 0.001$); 而在木瓜榕复合体的 4 种榕树传粉榕小蜂的 NMDS 结果显示 *C. emarginatus* FO 和 *C. emarginatus* FOV 在空间分布上存在部分重叠, 但各物种间、种内均存在显著差异 ($R > 0, P < 0.01$)。同时, 在对 13 种榕树传粉榕小蜂 CHCs 的层次聚类分析发现木瓜榕传粉榕小蜂 *C. emarginatus* FA、苹果榕传粉榕小蜂 *C. emarginatus* FO 及苹果榕变种传粉榕小蜂 *C. emarginatus* FOV 单个样本分支间存在交叉。【结论】16 种榕小蜂表皮碳氢化合物具有明显的物种特异性和性二型, 同域近缘寄主榕树传粉榕小蜂的物种特异性强弱可决定榕树的种界, 研究为探讨合子前生殖隔离及其对物种形成的影响提供了化学基础, 有利于解释传粉繁殖共生体的群落组装与多样性的维持机制。

关键词: 榕树; 传粉榕小蜂; 表皮碳氢化合物; 性二型; 物种特异性; 生殖隔离

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 32260719; 31760107); 云南省兴滇英才支持计划项目“青年拔尖人才” (YNWR-QNBJ-2018-131)

**通讯作者, E-mail: lizb@swfu.edu.cn

小菜蛾雌虫交配效应蛋白 PxCTSF1 鉴定及功能分析*

郑俊豪^{1,2,3,4} 邹明民^{1,2,3,4} 钱雨蕊^{1,2,3,4} 曹敏慧^{1,2,3,4} 黄梦琦^{1,2,3,4}
崔金冬^{1,2,3,4} 李若男^{1,2,3,4} 彭 露^{1,2,3,4**}

(1. 福建农林大学应用生态研究所, 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002; 2. 福建农林大学海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福州 350002; 3. 福建农林大学教育部害虫生态防控国际合作联合实验室, 福州 350002; 4. 福建农林大学福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002;)

摘要: 【目的】鉴定小菜蛾 *Plutella xylostella* 交配效应蛋白, 探究交配效应蛋白在生殖成功中的作用, 为筛选获得小菜蛾遗传防控新靶标奠定理论基础。【方法】利用 iTRAQ 标记定量蛋白质组学技术结合转录组数据, 筛选鉴定小菜蛾交配效应蛋白。利用 RT-qPCR 和分析 *PxCTSF1* (Cathepsin F1) 的表达模式。基于 CRISPR/Cas9 技术解析 *PxCTSF1* 在生殖调控的作用。【结果】蛋白质组学分析鉴定了 796 个差异表达基因。根据雌性成虫特异性表达或高表达、雄成虫不表达或低表达、交配后表达量显著性上升 3 个条件, 筛选出 15 个小菜蛾雌虫交配效应蛋白。龄期表达模式分析结果显示, *PxCTSF1* 在雌蛹和雌成虫中特异性高表达。组织表达模式分析结果显示, *PxCTSF1* 在雌成虫下生殖系统中特异性高表达, 且主要在交配囊和受精囊中特异性高表达。利用 CRISPR/Cas9 技术获得了 3 个突变品系(-2、-7 和-22 bp)。生测结果表明, *PxCTSF1* 影响小菜蛾的交配行为, 二日龄突变体雌虫交配指数显著性降低。表明 *PxCTSF1* 对维持小菜蛾雌成虫的性接受能力至关重要。

关键词: 小菜蛾; 交配效应蛋白; 组织蛋白酶 F; 交配行为

*基金项目: 国家自然科学基金项目(32172404); 福建农林大学杰出青年基金项目(kxjq19003)

**通讯作者, E-mail: penglu819@fafu.edu.cn

管氏肿腿蜂卵巢发育及体内激素水平的动态变化

李国红 蒋玉洁 李 莉*

(贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550000)

摘要:【目的】以管氏肿腿蜂 *Sclerodermus guani* 雌成蜂为研究对象, 探究不同生理状态下, 雌成蜂卵巢和激素的动态变化, 为进一步明确雌成蜂内部生理变化与行为之间的联系奠定基础。【方法】本研究基于实验室前期进展, 选取了与雌成蜂抚育行为过程密切关联的 11 种生理状态 (抚育前 5 种、抚育中 5 种、抚育后 1 种), 利用昆虫解剖学和化学分析 (LC-MS) 等方法, 验证了不同生理状态下雌成蜂卵巢的数量性状, 并定性定量相应过程中保幼激素 (Juvenile hormones, JH) 和 20-羟基蜕皮酮 (20-hydroxyecdysone, 20 E, 简称蜕皮激素) 的滴度变化。【结果】11 个生理状态下, 雌成蜂体内均含 JH III 和 20 E。抚育前期, JH III 滴度先升高后下降, 20 E 滴度在取食和产卵高峰期下降, 产卵初期上升; 雌成蜂交配后卵巢开始发育, 产卵高峰期之前, 卵巢长宽度逐渐上升, 于产卵高峰期下降, 取食寄主后雌成蜂怀卵量达 100%。抚育期间, JH III 的滴度在 $0.18\pm0.03\sim4.05\pm0.11$ ng/mg 范围内浮动, 而雌成蜂 20 E 滴度仅在抚育低龄幼虫和老熟幼虫时较低, 其余状态下, 20 E 滴度在 $26.16\pm0.67\sim28.52\pm0.21$ ng/mg 范围内浮动, 并且随着发育的进行怀卵雌成蜂比例下降; 抚育吐丝幼虫及高龄幼虫的雌成蜂卵巢长度和宽度分别显著高于其他时期 (但长度与抚育高龄幼虫雌成蜂无显著差异)。在抚育后期, 雌成蜂 JH III 滴度达到最高值 71.79 ± 0.63 ng/mg, 20 E 滴度与抚育茧蛹初期的雌成蜂相比没有显著差异; 此时, 卵巢长宽度与取食期雌成蜂相似, 并且仍有少量个体具有怀卵现象。【结论】抚育行为前、中、后雌成蜂的生理状态不同, 并贯穿着 JH III 和 20 E 水平的动态变化, 影响其内部卵巢发育过程, 还随着子代发育进度和抚育被需求程度的不同, 雌成蜂体内 JH III 和 20 E 的含量呈交替性动态变化。

关键词: 管氏肿腿蜂; 卵巢发育; 激素变化; 抚育行为

*通讯作者

Pyrokinin 信号系统通过调控褐飞虱 20-羟基蜕皮激素的生成控制蜕皮和生殖

罗序梅¹ 周耐明^{1*} 张传溪^{2*}

(1. 浙江大学生物化学研究所, 杭州 310058; 2. 宁波大学植物病毒学研究所,

浙江宁波 315201)

摘要:【目的】本文探究了 pyrokinin-1 (PK1/DH-like) 信号系统对褐飞虱生理功能的调节作用。【方法】通过体内 RNAi 对 pyrokinin 及 NIA36 的敲降探究 pyrokinin 信号系统对褐飞虱若虫蜕皮和雌虫卵巢发育及生殖的影响; 通过体外功能鉴定, 在 HEK293T 和 Sf9 细胞中探究 NIPK1 介导的细胞信号转导模式。【结果】RNAi 介导的 pyrokinin 及 NIA36 在第 3 或第 4 龄末期若虫和初羽化雌性成虫的基因敲降, 分别导致了因无法完成第 4-5 龄或第 5-成虫过渡的若虫的死亡率增加和显著抑制了雌虫的卵巢发育和繁殖力, 注射 20-羟基蜕皮激素 (20E) 可以部分地挽救这些抑制作用。通过 ELISA 分析得出的数据显示, 与 dsGFP 处理组相比, dsNIPK 和 dsNIA36 处理导致若虫体内 20E 滴度显著下调; 在雌性成虫中, NIPK 和 NIA36 的敲降导致 NIVg 和 NIVg-likes 的转录水平以及 Vg 蛋白水平在卵巢中显著下调, 在脂肪体中显著上调。组织 qRT-PCR 及原位 HCR 分析显示, pyrokinin 基因的最高转录水平定位于咽下神经节。此外, 体外功能鉴定表明, NIPK1 通过偶联 Gq 蛋白特异性激活 NIA36, 导致 PLC-Ca²⁺-PKC 信号级联。【结论】PK1 (DH-like) 信号系统通过直接控制 20-羟基蜕皮激素的生成, 在调控褐飞虱若虫蜕皮和雌性繁殖方面起着关键作用。

关键词: 褐飞虱; pyrokinin; GPCR; 20-羟基蜕皮激素

*共同通讯作者

埃及伊蚊表皮蛋白基因 *AaCPR100A* 对表皮发育的功能研究*

陈 静 吴雨宸 陈久凯 韩 谦 廖承红**

(海南大学生命科学学院, 海南 海口, 570228)

摘要:【目的】埃及伊蚊是一种完全变态发育的昆虫, 对埃及伊蚊表皮蛋白的研究, 不仅可揭示表皮合成机制, 还可为蚊虫的防控提供新的靶标。本文以其表皮蛋白基因 *AaCPR100A* 为研究对象, 探究其对表皮发育的功能研究。【方法】免疫组化和实时荧光定量 PCR 方法分析 *AaCPR100A* 表达谱; RNA 干扰技术探究其在埃及伊蚊整个生长周期的作用, 扫描电镜技术观察蚊卵表面结构变化; 转录组测序筛选 *AaCPR100A* 表达水平降低后, 编码表皮组成成分基因的表达水平的变化, 并探究其对表皮发育的影响。【结果】*AaCPR100A* 蛋白主要分布于埃及伊蚊腹部表皮和卵巢节间膜等柔性表皮部位, 其低表达导致幼虫和成蚊出现高致死性(死亡率高达 90%), 影响幼虫内表皮的形成和渗透平衡; 存活成蚊的产卵时间和蚊卵的黑化速度延迟, 蚊卵的孵化率降低至 55%; 且 *AaCPR100A*-dsRNA 处理组蚊卵表面结构发生改变, 较对照组更为光滑, 中央结节(CT)彼此聚集, 外周结节(PT)和外绒毛膜网络则消失, 可能影响卵的通透性; 转录组测序结果发现 *AaCPR100A* 降低后脂肪酸延伸酶 *AeELO2*、*AeELO8*、*AeELO9* 和 *AeELO13* 有显著变化, RNA 干扰实验发现 *AeELO2* 表达降低后, 导致 32% 的幼虫蜕皮异常, 生长发育减慢(化蛹时间晚 1-2 d), 而 *AeELO8* 和 *AeELO13* 表达降低后, 幼虫的生长速度反而加快(化蛹时间早 1-2 d); 油红 O 染色检测发现, *AeELO2*-dsRNA 组虫体脂肪类物质减少, 而 *AeELO8*-dsRNA 和 *AeELO13*-dsRNA 两组虫体脂肪类物质则增多, 并且 *AeELO2* 和 *AeELO9* 表达降低后导致成蚊表皮的延伸性和渗透平衡遭到破坏。【结论】*AaCPR100A* 基因对埃及伊蚊幼虫和成虫具有强致死性, 影响幼虫和蚊卵的表皮结构; *AaCPR100A* 协同表达基因 *ELO* 在埃及伊蚊的生长发育和繁殖力等方面发挥重要作用, 不同家族成员功能作用也不尽相同。本研究结果将为蚊虫的生物防控提供潜在的靶标。

关键词: 埃及伊蚊; *AaCPR100A*; *ELO*; RNA 干扰; 蚊卵; 表皮结构

*基金资助: 国家自然科学基金(31960703, U22A20363); 海南省重大科技计划(ZDKJ2021035)

**通讯作者, E-mail: liaochh@hainanu.edu.cn

miR-305 靶向 AcGP 调控褐色桔蚜翅发育的分子机制*

卢金明^{1,2} 尚 峰^{1,2} 王进军^{1,2} 豆 威^{1,2**}

(1. 昆虫学与害虫控制工程重庆市重点实验室, 西南大学植物保护学院, 重庆 400715; 2. 长江上游农业生物安全与绿色生产教育部重点实验室, 西南大学农业科学研究院, 重庆 400715)

摘要: 翅可塑性是蚜虫在扩散危害过程中的一种表型可塑性现象, 无翅蚜繁殖能力较强, 有翅蚜能依靠翅广泛传播。褐色桔蚜 *Aphis citricidus* (Kirkaldy), 隶属于蚜科蚜属, 是重要的柑桔害虫, 也是柑桔衰退病病毒的主要传播媒介。本研究基于小 RNA 组学筛选到褐色桔蚜翅发育关键时期下调的 miRNA (miR-305), 结合靶基因预测、翅发育关键时期转录组、过表达 miR-305 转录组联合分析, 确定了糖原磷酸化酶(AcGP)和 3-酮酯酰 coA 硫解酶(AcKAT)两个候选靶基因。通过 RT-qPCR 技术分析 miR-305 及候选靶基因在褐色桔蚜不同发育阶段的表达模式, 发现 miR-305 在有翅成蚜阶段显著下调, 而 AcGP 和 AcKAT 与 miR-305 表达模式相反, 在有翅成蚜阶段显著上调。过表达/抑制 miR-305 的表达量后 AcGP 和 AcKAT 也呈现相反的表达模式, 说明 miR-305 在转录水平负调控候选靶基因的表达。利用蛋白质免疫印迹技术检测过表达或抑制 miR-305 表达后候选靶基因的蛋白水平, 发现候选靶基因的蛋白表达量变化与定量结果一致。通过双荧光素酶报告系统和 RNA 结合蛋白免疫沉淀技术分别确定了 miR-305 与 AcGP 在体外和体内的靶向结合关系, 利用原位杂交共定位技术, 发现 miR-305 和 AcGP 共同在褐色桔蚜翅基部高表达。进一步通过 miRNA 过表达和 RNAi 技术研究 miR-305 和 AcGP 对褐色桔蚜翅发育的影响, 饲喂 miR-305 mimic 使 miR-305 表达量上调 3.3 倍, 褐色桔蚜翅畸形比例达 48.65%; 饲喂 dsGP 后, 沉默效率为 65.84%, 褐色桔蚜翅畸形比例达 34.21%。我们的研究确定了 miR-305 靶向 AcGP 调控褐色桔蚜翅发育的分子机制, 为今后褐色桔蚜翅可塑性等相关研究奠定了分子基础。

关键词: 褐色桔蚜; 翅发育; miR-305

*基金项目: 国家自然科学基金重点国际(地区)合作研究项目(32020103010); 国家自然科学基金面上项目(32272526)

**通讯作者, E-mail: douwei80@swu.edu.cn

转录因子 Zfh1 调控稻飞虱翅型分化分子机制研究*

张金利 徐海君**

(浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058)

摘要:【目的】昆虫翅多型是指具有相同基因型的昆虫在应对复杂多变环境时产生的两种或多种明显不同翅型的现象,是昆虫适应性进化的重要方面。虽然对昆虫翅多型的发生机制已有半个多世纪的研究,但对其仍知之甚少。【方法】基于比较转录组分析和 RNA 干扰技术,鉴定调控稻飞虱翅型分化的关键转录因子。利用转录组比较分析、基因敲入、免疫沉淀、双基因干扰等实验,深入探究转录因子调控稻飞虱翅型分化的分子机制。【结果】鉴定了 123 个转录因子在褐飞虱翅型分化敏感期显著差异表达;确定了锌指转录因子 Zfh1 是调控稻飞虱翅型分化的主宰基因;当敲降 Zfh1 的表达后,超过 90%的短翅型稻飞虱发育为长翅型。进一步研究,发现 Zfh1 能够直接与叉头框转录因子 FoxO 启动子区域结合并调控其转录,从而控制稻飞虱的长短翅型分化。【结论】本文提出了 Zfh1 和胰岛素信号通路下游基因 FoxO 分别在转录和蛋白翻译后修饰水平上协同调控稻飞虱长短翅型分化的全新模型。本研究不仅有助于人们理解昆虫如何通过改变保守蛋白的活性而产生多种表型,而且对理解昆虫的适应性进化也具有非常重要的意义。

关键词: 稻飞虱;翅二型分化;Zfh1;FoxO;转录调控

*基金项目:国家自然科学基金(31972261;32272519;31772158;32102186);浙江省自然科学基金重点项目(LZ21C140002)和重大病虫害综合防治技术开发与示范项目(2021YFD1401100)

**通讯作者, E-mail: haijunxu@zju.edu.cn

褐飞虱调控翅型分化的 FoxO/Rotund 蛋白复合体的鉴定

陈孙杰 徐海君

(浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058)

摘要: 【目的】水稻重要害虫褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 是一种翅二型昆虫, 遗传背景相同的若虫能发育成长翅型和短翅型两种形态的成虫, 长翅型善于迁飞, 短翅型的繁殖力更强, 这一特性加剧了褐飞虱的危害。近年来调控褐飞虱的翅型分化的关键基因被逐渐挖掘, 然而具体机制依然不明确, 本文旨在进一步揭示褐飞虱翅型分化的机制。【方法】通过对褐飞虱长翅与短翅种群的比较转录组分析鉴定差异表达的转录因子, 利用 RNAi 沉默进行表型筛选; 通过 CRISPR/Cas9 基因编辑和 RNAi 沉默, 明确靶标基因的功能; 利用免疫共沉淀和双分子荧光互补实验, 揭示靶标基因的互作机制。【结果】比较转录组分析筛选到了 123 个差异表达的转录因子, RNAi 发现沉默转录因子 *NIRn* 导致长翅褐飞虱转变为中翅型。在胰岛素途径持续激活的突变体 (*NIInR2^{E4}*) 中沉默 *NIRn* 能完全逆转 *NIInR2^{E4}* 的长翅表型, 导致若虫羽化为中翅型而非长翅型。构建了 *NI*FoxO 的敲除突变体 (*NI*FoxO^{E2}), 该突变体为 100% 长翅, 在该突变体中沉默 *NIRn* 同样能完全逆转 *NI*FoxO^{E2} 的长翅表型。免疫共沉淀和双分子荧光互补试验发现了 *NIRn* 与 *NI*FoxO 之间存在互作。【结论】*NIRn* 能够调控褐飞虱的翅型分化, *NIRn* 通过与 *NI*FoxO 互作形成复合体共同完成调控。

关键词: 褐飞虱; 翅型分化; 蛋白互作; *Rotund*; *FoxO*

摄取花粉对雄性地熊蜂 (*Bombus terrestris*) 寿命及糖摄取的影响*

刘 冬 方美娟 张 恒 王玉波** 何晓庆**

(河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北衡水 053000)

摘要:【目的】明确花粉对雄性地熊蜂 *Bombus terrestris* 寿命及糖摄入的影响, 探索花粉在雄性地熊蜂生存及糖摄取中的作用。【方法】以 4 h 内羽化的雄性地熊蜂为供试虫源, 设终生提供花粉、羽化后提供 72 h 花粉和终生仅取食糖液 3 个处理, 分析不同花粉供给处理间供试蜂的寿命以及各处理供试蜂在 3、4、10 日龄及终生糖摄取量的差异。各处理均持续供给蔗糖溶液 (浓度 50%, 糖、水比例为 1:1)。【结果】终生提供花粉和提供 72 h 花粉的雄性地熊蜂寿命分别为 44.23 ± 1.67 d 和 43.84 ± 1.79 d, 二者差异不显著 ($P > 0.05$), 但二者寿命显著高于终生不取食花粉供试蜂的寿命 (36.94 ± 1.09 d, $P < 0.05$)。各处理供试蜂在 3 日龄时的糖液摄入量差异不显著 (终生提供花粉: 1.20 ± 0.02 g; 羽化后提供 72 h 花粉: 1.14 ± 0.02 g、终生仅取食糖液: 1.14 ± 0.03 g) ($P > 0.05$); 终生提供花粉处理的供试蜂在 4 和 10 日龄时的糖液摄入量 (4 日龄: 1.56 ± 0.03 g; 10 日龄: 3.36 ± 0.06 g) 均显著高于另外两个处理 (4 日龄, 羽化后提供花粉 72 h: 1.46 ± 0.03 g、4 日龄, 仅提供糖液: 1.46 ± 0.03 g; 10 日龄羽化, 羽化后提供花粉 72 h: 3.08 ± 0.05 g、10 日龄, 仅提供糖液: 3.00 ± 0.07 g) ($P < 0.05$), 但另外两个处理在相同日龄时的糖液摄取量无显著差异 ($P > 0.05$)。各处理间供试蜂的糖液摄入总量差异显著 (终生提供花粉: 17.48 ± 0.49 g、羽化后提供 72 h 花粉: 16.07 ± 0.40 g、终生仅取食糖液: 13.39 ± 0.35 g, $P < 0.05$)。【结论】人工环境下, 摄入花粉有利于雄性地熊蜂的生存。在羽化后 72 h 内摄入的花粉, 可能会满足其一生的花粉需求, 即使在此后停止花粉摄入也不会对其寿命产生负面影响。羽化后至 3 日龄是雄性蜂糖摄取的关键时期, 此时的糖摄入量不受花粉有无的影响, 此后, 摄入花粉对糖的摄入量有促进作用。

关键词: 地熊蜂; 花粉; 糖; 寿命

*基金项目: 河北省产业体系衡水蔬菜综合试验站 (HBCT2023100402)

**通讯作者, E-mail: wybnky@126.com; hxqzm@163.com

中国草地贪夜蛾细胞系的建立

佟 岩 靳雯怡 秦启联 郭 琳 张 寰*

(中国科学院动物研究所, 北京 100101)

摘要: 昆虫细胞系的应用非常广泛, 不仅可以用于农业领域的生物农药和重组蛋白表达系统的研究, 还可以用于医学研究中。本研究以近年传入我国的农业害虫草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 云南种群的蛹卵巢组织为材料, 建立了一株新的细胞系 IOZCAS-Sf-1。鉴定发现, 该细胞系的线粒体 COI 基因序列与中国草地贪夜蛾云南种群一致, 但与常用的草地贪夜蛾来源的细胞系 Sf9 的对应序列存在差异。形态特性观察和流式细胞测定发现, IOZCAS-Sf-1 个体较小 ($14.68 \pm 1.717 \mu\text{m}$), 为四倍体, 而 Sf9 个体相对较大 ($19.59 \pm 1.704 \mu\text{m}$), 是八倍体。IOZCAS-Sf-1 体积较小的特性在大规模悬浮培养表达重组蛋白的应用中, 有利于应对较强的剪切力, 具有一定的优势, 同时, 在商业化应用中也能避开专利保护的限制。病毒敏感性测定表明, IOZCAS-Sf-1 对苜蓿银纹夜蛾核型多角体病毒 (*Alphabaculovirus aupalifonicae*, AcMNPV) 的敏感性与 Sf9 相当, 而对草地贪夜蛾核型多角体病毒 (*Alphabaculovirus spofrugiperdae*, SfMNPV) 的敏感性则显著高于 Sf9。综上所述, 在特异性 SfMNPV 的研究和重组蛋白表达的商业化应用中, IOZCAS-Sf-1 比 Sf9 具有更大的优势。

关键词: 草地贪夜蛾; 昆虫细胞系; AcMNPV; SfMNPV; 杆状病毒表达系统

*通讯作者, E-mail: zhanghuan@ioz.ac.cn

应用比较转录组分析不同剂量的氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾的毒理学作用*

徐 鹿^{1**} 赵 钧² 徐德进¹ 徐广春¹ 张亚楠³

(1. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014; 2. 河南省农业科学院烟草研究所, 河南许昌 461000; 3. 淮北师范大学生命科学学院, 河南淮北 235000)

摘要:【目的】邻甲酰胺基苯甲酰胺类氯虫苯甲酰胺是防治鳞翅目害虫的高效杀虫剂, 草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith)) 是原产美洲的重大害虫, 于 2019 年侵入中国并快速地扩散, 然而草地贪夜蛾暴露于氯虫苯甲酰胺下的毒理学机制尚不清晰。【方法】采用饲料表面涂药法测定氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾致死和亚致死浓度, 通过构建测序文库进行比较转录组分析草地贪夜蛾响应氯虫苯甲酰胺暴露的差异基因和通路, 利用酶活力测定分析草地贪夜蛾响应氯虫苯甲酰胺的相关酶活力差异, 利用实时荧光定量 PCR 验证草地贪夜蛾响应氯虫苯甲酰胺的相关解毒基因表达差异。【结果】氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾的亚致死浓度 LC₁₀ 和 LC₃₀ 分别为 0.73 和 2.49 mg/L。与去离子水对照组相比, 草地贪夜蛾暴露 LC₁₀ 呈现 1 266 个差异表达基因, 其中 578 个上调表达, 688 个下调表达; LC₃₀ 处理引起 3 637 个差异表达基因 (1 545 个上调和 2 092 个下调)。相比 LC₁₀ 处理组, LC₃₀ 处理导致差异表达基因数量显著增加, 表现出剂量效应。富集分析鉴定差异表达基因属于碳水化合物代谢、氨基酸代谢、脂质代谢、能量代谢、外源物降解与代谢、信号转导和转录后修饰通路。当在 LC₁₀ 和 LC₃₀ 的处理下, 富集通路上的酶活力显著地被改变, 这与转录组分析相匹配以介导毒理学机制。实时荧光定量 PCR 证实差异表达的相关基因表达量与转录组测序数据高度匹配。【结论】比较转录组分析结果首次在分子水平上揭示了氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾的毒理学作用机制, 为草地贪夜蛾对氯虫苯甲酰胺抗性研究提供了分子基础。

关键词: 草地贪夜蛾; 氯虫苯甲酰胺; 毒理学机制; 转录组分析; 亚致死浓度; 酶活

*基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31972309); 江苏省农业科学院基本科研业务专项资金项目 (ZX(22)4132); 安徽省教育厅高校自然科学研究项目 (KJ2021ZD0059)

**E-mail: xulupesticide@163.com

桔小实蝇 ABC 转运蛋白 B 和 C 亚家族基因的鉴定及功能初探*

王 霖^{1,2} 黄瀚钦^{1,2} 孙 君^{1,2} 王进军^{1,2} 魏丹丹^{1,2**}

(1. 昆虫学与害虫控制工程重庆市重点实验室, 西南大学植物保护学院, 重庆 400715; 2. 长江上游农业生物安全与绿色生产教育部重点实验室, 西南大学农业科学研究院, 重庆 400715)

摘要: 桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是我国重要的入侵性果蔬害虫, 由于化学农药长期不合理使用, 导致其对多种杀虫剂产生了不同程度的抗性。解析桔小实蝇的抗性机制对其可持续抗性治理至关重要。ABC 结合盒转运蛋白 (ATP-binding cassette transporter, ABC transporter) 是一种能够利用 ATP 使物质逆浓度梯度跨膜转运的蛋白, 能转运多种底物, 如激素、脂类、次级代谢物以及外源有毒物质等, 在昆虫生长发育和解毒代谢等生理过程中发挥着重要作用。本研究基于桔小实蝇基因组和转录组数据, 鉴定获得 7 个 ABC 转运蛋白 B 亚家族基因 (*BdABCB1-7*) 和 8 个 C 亚家族基因 (*BdABCC1-8*)。序列分析发现, ABCB 亚家族由 4 个半转运蛋白和 3 个全转运蛋白组成, 大小范围在 673~1 302 aa; 而 ABCC 均为全转运蛋白, 大小范围在 1 137~2 521 aa。基于 qPCR 技术分析 *BdABCB/C* 的时空表达模式结果表明, 两个亚家族的大部分基因都集中在蛹期和成虫期高表达, 且在成虫的中肠、马氏管和脂肪体等解毒代谢组织中显著高表达, 其中 *BdABCB5* 和 *BdABCC1* 在中肠的表达量分别是脑的 27.7 和 3.9 倍、是卵巢的 73.2 和 2 倍。同时, 在阿维菌素、高效氯氰菊酯和马拉硫磷 3 种药剂的处理下, *BdABCB1-5*、*BdABCB7*、*BdABCC1*、*BdABCC2*、*BdABCC4* 和 *BdABCC6* 等 10 个基因的表达量均显著上调, 暗示 *BdABCB/C* 两个亚家族在桔小实蝇应对杀虫剂的转运或代谢过程中发挥了重要作用。进一步, 通过 RNA 干扰技术, 成功沉默 *BdABCB* 和 *BdABCC* 基因 (除 *BdABCC5* 外), 且沉默效率在 33.7%~77.0% 之间。结合时空和药剂诱导表达的结果, 在降低 *BdABCB5* 和 *BdABCC1* 的转录表达量后, 分别用高效氯氰菊酯和阿维菌素处理桔小实蝇成虫, 结果发现其成虫死亡率均显著升高, 证实 *BdABCB5* 和 *BdABCC1* 分别参与了桔小实蝇对高效氯氰菊酯和阿维菌素的转运或代谢过程。上述研究结果为理解桔小实蝇抗药性的形成机制奠定基础数据, 并为挖掘桔小实蝇防控新靶点和制定新的防治策略提供思路。

关键词: 定量 PCR; RNA 干扰; 抗药性; 时空表达; 药剂诱

*基金项目: 国家重点研发项目 (2022YFC2601002); 重庆市自然科学基金面上项目 (cstc2020jcyj-msxmX0494)

**通讯作者, E-mail: weidandande@163.com

表皮蛋白 BgCPLCP1 通过内表皮增厚提高德国小蠊杀虫剂穿透抗性

张 凡 蔡 彤 张玉婷 高慧媛

(山东师范大学生命科学学院, 济南 250000)

摘要: 德国小蠊 *Blattella germanica* 俗称蟑螂, 是分布极广、极难治理的世界性室内卫生害虫之一。作为病原媒介昆虫, 它能够携带多种病原和引发严重的机体过敏。化学杀虫剂在蟑螂防治中的广泛应用, 造成德国小蠊抗药性问题日渐突出, 因此抗药性机制的研究变得尤为重要。表皮作为昆虫抗杀虫剂的第一道防线, 对杀虫剂毒力的发挥有很大的影响。表皮蛋白是表皮的主要作用成分之一, 本研究首次利用 5'RACE 技术从德国小蠊体内分离出第一个 CPLCP 家族的表皮蛋白 BgCPLCP, 并获得了全长为 1 568 bp 的基因全序列; 为进一步确定 BgCPLCP 基因的进化地位, 对 22 个其他物种和德国小蠊表皮蛋白氨基酸序列进行系统进化树分析。结果显示, 德国小蠊与等翅目的堆砂白蚁亲缘关系最近; 通过透射电镜结合荧光组织定位技术, 发现 BgCPLCP1 位于德国小蠊的跗骨、胫骨、胸腔、腹部、角质层、前肠、后肠、气管和腹侧神经索中, 上述所有结构都起源于胚胎外胚层; 利用 qRT-PCR 技术验证 BgCPLCP1 在敏感品系 (S) 和抗性品系 (R) 的表达差异, 结果显示, 胫节处差异最显著, 其次为中胸腹板和腿节处, R 品系比 S 品系分别升高 14.878%, 13.531% 和 13.253% ($P < 0.05$); 使用伊红 Y 染色的方法测量两品系角质层透过率, 发现 R 品系平均着色光密度显著低于 S 品系 ($P < 0.05$); 利用 RNAi 技术证实 BgCPLCP1 沉默能显著降低德国小蠊的角质层厚度 (R: S; 14.3%~15%: 18%~19%, $P < 0.05$); 通过对干扰后的德国小蠊进行生物测定, 表明低表达 BgCPLCP1 会显著降低两品系德国小蠊对高效氯氰菊酯的耐受力, 存活率分别降低 20% 和 14.4% ($P < 0.05$)。表皮蛋白 BgCPLCP1 的鉴定不仅为抗性监测提供新的生物标志物, 指导合理用药, 还有利于进一步揭示害虫穿透抗性机制, 为开发新型高效的杀虫剂提供便利。

关键词: 德国小蠊; 表皮穿透抗性; BgCPLCP1; 高效氯氰菊酯

纳米硒对丹参作物品质及抗虫性的影响

张艳华¹ 张 桐¹ 潘彦彦¹ 马龙霞¹ 方 勇² 潘灿平³

强 毅¹ 曹晓燕¹ 徐红星^{1*}

(1. 陕西师范大学生命科学学院西北濒危药材资源开发国家工程实验室; 2. 湖南省农业科学院湖南农业生物技术研究所; 3. 中国农业大学理学院应用化学系农药研究创新中心)

摘要: 丹参 (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) 是多年生药用草本, 其干燥的根茎为我国的大宗中药材。随着丹参需求量的增加, 野生丹参资源消耗殆尽, 人工种植面积不断增加, 进而造成丹参病虫害严重、药材品质下降。适量施用硒元素对谷物、蔬菜和水果等植物的生长和抗性具有良好的促进作用, 但其中的机制还不甚清楚。本研究以丹参为研究对象, 探索了纳米级硒肥对丹参生长发育、次生代谢和抗虫性等方面的影响。通过叶面喷施不同浓度的纳米硒, 我们发现 10 mg/L 的纳米硒能够显著促进丹参的生长, 抗氧化能力及次生代谢物的积累。随着纳米硒施用时间的增加, 丹参的生物量、营养物质和丹参酮类化合物的含量均逐渐增加, 但丹酚酸类化合物的含量具有先显著增加后逐渐减少的趋势。转录组分析发现纳米硒对丹参的促进作用可能是由于纳米硒增强了丹参的光合作用, 激活了植物激素信号传导和抗氧化能力。丹参中丹参酮和丹酚酸类化合物的增加可能是由于纳米硒通过茉莉酸和水杨酸信号途径激活了下游 AP2/ERF 和 WRKY 家族的转录因子。通过蚜虫生测实验发现, 纳米硒处理的丹参能够明显抑制蚜虫危害诱导的叶片萎黄, 显著降低蚜虫的存活和繁殖能力, 并对蚜虫具有一定的趋避作用。因此, 本研究为纳米硒在提高药用植物品质和抗虫性方面应用提供了参考。

关键词: 纳米硒; 丹参; 次生代谢产物; 蚜虫; 植物激素; 转录因子

*通讯作者

柑桔全爪螨对溴虫氟苯双酰胺的抗性选育和风险评估

李珂^{1,2} 刘巽燕^{1,2} 任奕亭^{1,2} 王进军^{1,2} 袁国瑞^{1,2*}

(1. 昆虫学与害虫控制工程重庆市重点实验室, 西南大学植物保护学院, 重庆 400715;

2. 长江上游农业生物安全与绿色生产教育部重点实验室, 西南大学农业科学研究院,
重庆 400715)

摘要: 柑桔全爪螨 *Panonychus citri* (McGregor), 是一种重要的世界性害螨。目前化学防治仍然是控制螨类猖獗危害的主要手段。长期大量、不合理用药, 加之柑桔全爪螨生活史特点, 导致其对有机磷、有机氯、拟除虫菊酯类等杀螨剂产生高水平抗性。开发安全、高效, 作用方式新颖的杀虫(螨)剂十分迫切。溴虫氟苯双酰胺作为双酰胺类杀虫剂具有作用靶标新颖、持效期长、与传统农药无交互抗性等优点。但溴虫氟苯双酰胺应用于田间害虫防控产生抗性的风险报道仍较缺乏。室内毒力测定显示, 溴虫氟苯双酰胺对实内敏感品系柑桔全爪螨雌成螨和卵的 LC_{50} 分别为 9.769、4.576 mg/L, 毒力显著高于炔螨特 (LC_{50} 85.580 mg/L) 和溴虫睛 (LC_{50} 460.337 mg/L)。相对于对照组, 亚致死浓度 (LC_{10} 、 LC_{20} 、 LC_{30}) 处理的雌成螨产卵量和寿命显著降低, 处理后的雌成螨的 F1 代幼螨期显著性缩短, 寿命显著性降低, 产卵量呈下降趋势。相对室内敏感品系, 经过 35 代的溴虫氟苯双酰胺持续筛选, 抗性倍数达 30 (LC_{50} 300 mg/L), 持续三大解毒酶 (CarE、GSTs、MFO) 活力测定发现, GSTs 酶活力相较于敏感品系显著性提升。上述结果表明溴虫氟苯双酰胺对柑桔全爪螨具有较好的杀螨活性, GSTs 酶活力增高可能参与了柑桔全爪螨对溴虫氟苯双酰胺的抗性形成。

关键词: 柑桔全爪螨; 溴虫氟苯双酰胺; 亚致死效应; 抗性筛选

*通讯作者, E-mail: ygr@swu.edu.cn

灰飞虱对氟虫腈抗性的遗传机制研究

马文婧 徐海君

(浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058)

摘要:【目的】探究 γ -氨基丁酸受体 RDL 亚基第二跨膜区 (TM2) 上的 A2^N 的突变与灰飞虱对氟虫腈的耐药性以及适合度代价的关联, 为揭示苯基吡唑类农药的抗性机制提供重要的理论价值。【方法】利用 CRISPR/Cas9 (Clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein 9) 基因组编辑技术, 构建灰飞虱 RDL 亚基 A2^N 的突变体种群 $LSRDL^{A/N}$; 采用稻苗浸渍法, 对四龄的野生型灰飞虱和 $LSRDL^{A/N}$ 种群若虫进行了氟虫腈抗性测定; 检测 A2^N 突变对灰飞虱的卵和若虫的发育历期、产卵量和孵化率的影响。【结果】对灰飞虱的 RDL 亚基 TM2 上 A2^N 位点进行精确编辑, 将野生型的 (GCC) 编辑成 (AAC), 导致丙氨酸 (A) 突变为天冬氨酸 (N)。氟虫腈毒力测定显示野生型灰飞虱的致死中浓度为 0.332 mg/L, $LSRDL^{A/N}$ 的致死中浓度为 402.114 mg/L, 抗性倍数达到 1 211 倍。与野生型相比, $LSRDL^{A/N}$ 卵期和若虫期分别延长了 0.5 和 1.2 d, 平均产卵量和卵孵化率分别降低了 47.5% 和 41.9%。【结论】 γ -氨基丁酸受体 RDL 亚基第二跨膜区 (TM2) 上的 A2^N 的突变赋予了灰飞虱对氟虫腈的高抗性, 并导致了明显的适合度代价。

关键词: 灰飞虱; 氟虫腈; CRISPR/Cas9; RDL 基因; 抗性机制

基于转录组学和代谢组学的综合分析揭示环氧虫啉对红火蚁的缓效作用和非驱避性的分子基础*

杜澄举¹ 蒋开彬² 王磊³ 陈洁⁴ 王偲^{1**}

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642; 2. 广东省林业科学研究院, 广州 510520; 3. 华南农业大学植物保护学院, 广州 510642; 4. 广东省农业科学院植物保护研究所, 广州 510640)

摘要: 社会性群居害虫红火蚁 *Solenopsis invicta* 是危害性极大的入侵生物, 严重危害入侵地的公共安全、农业、林业和生态环境。环氧虫啉 (Cycloxaprid) 是一种新型顺式新烟碱类杀虫剂, 已被证明是对红火蚁有效, 且具有缓效作用和非驱避性的杀虫剂。本研究拟利用转录组学和代谢组学揭示环氧虫啉对红火蚁具有缓效作用和非驱避性的分子基础, 为应用环氧虫啉防治红火蚁提供理论依据。红火蚁分别暴露在 $0.3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 环氧虫啉环境和无毒对照环境中 12, 24 和 48 h, 利用 RNA-seq 和 UPLC-MS/MS 对红火蚁工蚁样本进行了基因测序和代谢物检测。差异分析结果表明, 在 12、24 和 48 h 分别有 275、323 和 536 个显著差异表达基因。功能注释与富集分析结果表明, 在 12 h, 差异基因主要富集在脂质代谢和能量代谢相关的通路中; 在 24 h, 差异基因主要富集在蛋白质水解和糖代谢相关通路中; 在 48 h, 差异基因主要富集在脂质代谢、能量代谢和氧化还原反应相关通路中。此外, 在 12 h, 22 个嗅觉相关的通路基因出现了显著差异表达; 在 3 个时间点分别有 2、5、18 个与解毒功能有关的基因 (*CYP450*、*GST*) 出现了显著差异表达。代谢组学结果表明, 显著差异代谢物与显著差异表达基因从变化趋势和功能种类方面均具有较强的相关性, 有效支持了转录组学结果的可靠性。总体而言, 脂质代谢、能量代谢和解毒相关基因表达水平的动态变化是环氧虫啉对红火蚁工蚁具有缓效作用的关键原因; 嗅觉相关基因表达水平的变化则是环氧虫啉对红火蚁工蚁具有非驱避性的关键原因。本研究对新型新烟碱杀虫剂用于防治社会性害虫的有效性提供了新的理解, 为应用新型新烟碱杀虫剂环氧虫啉防治社会性害虫红火蚁提供了理论依据。

关键词: 红火蚁; 社会性害虫; 新烟碱杀虫剂; 转录组; 代谢组

*基金项目: 国家重点研发计划资助 (No. 2021YFD1000500)

**通讯作者, E-mail: wangcai@scau.edu.cn

云南生物农药产业的发展概况*

吴文伟^{1**} 尹可锁¹ 李榆庆² 吴永丽¹ 王学林² 何成兴¹
颜高俊² 番华彩¹ 安燕萍²

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 2. 昆明农药有限公司, 昆明 650401)

摘要: 生物农药的定义存在广义和狭义之分。广义的生物农药, 即生物源农药 (biogenic pesticide) 是指直接利用生物活体或生物代谢过程产生的具有生物活性的物质, 或从生物体提取的物质, 以及人工合成的与天然化合物结构相同的物质, 作为防治农林作物病、虫、草、鼠害的农药; 狭义的生物农药, 是指直接利用生物活体作为农药的才定义为生物农药。截止 2021 年初, 中国已登记的生物农药产品合计 1 220 种, 而我国有效期内登记的农药产品共计 41 614 种, 生物农药产品数量仅占总农药产品的 2.9%; 我国生物农药防治覆盖率约 10%, 发达国家为 20%~60%。2007 年云南获农药生产定点企业有 23 家, 占全国农药企业的 1%; 2018 年至今, 云南只有 8 家企业获得农药生产许可证 (从事过生物农药研发的有 7 家), 我省仅占全国 2 130 家农药企业的 0.3%。2022 年 12 月统计, 云南企业在有效期内获得杀虫剂登记证的产品为 47 种、杀菌剂 40 种、除草剂 17 种、植调剂 12 种, 其产品数量合计为 116 种。云南充分利用丰富的生物农药资源, 开展了除虫菊素、印楝素、烟碱、苦参碱、阿维菌素、芽孢杆菌、木霉菌、轮枝菌、多抗霉素、春雷霉素等研发, 已获 10 种农用杀虫剂、4 种卫生杀虫剂、13 种杀菌剂的农药登记证。据云南省植保站统计, 2009—2019 年, 云南每年农药使用总量为 4.5~5.5 万吨 (制剂), 其中化学农药占 90%, 生物农药占 10%; 近年来, 云南农作物种植面积 1.06 亿亩, 有害生物防治达 2.2 亿亩次; 我省农药生产企业只能满足近 20% 市场需求, 而 80% 农药产品仍依赖国内外进口; 云南只是农药生产小省, 却是农药使用大省。根据世界新农药研发趋势, 结合云南打造一流“绿色食品品牌”和国家“农药减量增效”的实施, 同时针对农作物有害生物绿色防控技术的推广应用, 生物源农药的研发日益受到重视。农业农村部已将生物源农药纳入“十四五”农药产业发展规划并作重点发展。2022 年 5 月, 云南省科技厅批准了重大科技专项计划“生物源农药生产关键技术研究及高效绿色农药新产品开发”的立项支持, 该项目由云南省农科院环资所牵头, 省内外 12 家科研院所、高校、企业等参加实施, 这将对我省生物农药产业发展起到极大的促进作用, 必将为云南高原特色现代农业产业绿色发展和乡村振兴建设提供强有力的科技支撑, 可取得显著的经济、社会和生态效益。

关键词: 生物农药; 生物源农药; 农药产业; 绿色防控技术; 云南

*基金项目: 云南省重大科技专项计划 (202202AE090010; 202102AE090004)

**通讯作者, E-mail: kmny2000@163.com

湘中地区蔬菜上蓟马发生情况调查

郑慧新 张余杰 张尚志 朱雄梅 金晨钟

(湖南人文科技学院农业与生物技术学院, 湖南娄底, 417000)

摘要: 近年在湖南地区多种蔬菜上发现蓟马为害, 严重威胁蔬菜产量, 造成重大经济损失。为明确湘中地区蔬菜上蓟马发生种类, 本研究对娄底市 2022—2023 年多地区蔬菜上蓟马发生情况进行了调查, 并利用线粒体 CO I 分子标记技术对采集到的蓟马种类进行了鉴定。分子标记鉴定结果显示豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* (Bagnall)、棕榈蓟马 *Thrips palmi* Karny、黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* (Morgan)、牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* (Haliday)、桑蓟马 *mulberry thrips* 等 5 种蓟马为主要种群, 其中豆大蓟马占有 13 个种群, 约占到 81%, 为娄底市蓟马害虫优势种群。棕榈蓟马占有 7 个种群, 约占到 43%。黄胸蓟马占有 3 个种群, 约占到 18%。牛角花齿蓟马占有 2 个种群, 约占到 12%。桑蓟马占有 1 个种群, 约占到 6%。本研究结果明确了近年在湘中地区蔬菜上蓟马发生种类, 为蓟马的绿色防控提供了科学依据。

关键字: 蔬菜害虫; 豆大蓟马; 棕榈蓟马; 黄胸蓟马; 牛角花齿蓟马; 桑蓟马

云南高原湖泊径流区粳稻主要病虫草害绿色防控技术集成与示范推广*

吴文伟^{1**} 赵国珍² 李贵勇² 吴永丽¹ 何成兴¹ 杨从党²

陈于敏² 龙瑞平² 李进斌¹

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 2. 云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明 650205)

摘要: 水稻是云南省的主要粮食作物, 常年种植约 100 万 hm^2 , 粳稻和籼稻各占 50%。在我省滇池、洱海、抚仙湖等九大高原湖泊径流区每年种植水稻约 3 万 hm^2 , 品种以粳稻为主。针对其稻瘟病、白叶枯病、稻曲病、水稻螟虫、稻纵卷叶螟、稻飞虱及禾本科、莎草科和阔叶类杂草等主要病虫草害, 坚持“预防为主, 综合防治”的植保方针, 结合预测预报, 集成使用了生态调控、生物防治、理化诱控及高效低毒农药等绿色防控技术, 其结果如下: (1) 进行烟稻等水旱轮作。(2) 选择优质多抗粳稻品种, 使用 25%噻虫·咯·霜灵悬浮种衣剂进行浸种以防治恶苗病及蓟马等。(3) 移栽前在秧苗上喷淋 18.7%丙环·嘧菌酯 SC 60 $\text{mL}/667 \text{ m}^2$ 防治稻瘟病, 喷淋 40%氯虫·噻虫嗪 WG 10 $\text{g}/667 \text{ m}^2$ 防治稻螟虫等。(4) 秧苗返青期喷雾 100 g/L 氰氟草酯 EC 100 $\text{mL}/667 \text{ m}^2$ 防治禾本科和莎草科等杂草。(5) 在分蘖期, 采用 70%甲基硫菌灵 WP 120 $\text{g}/667 \text{ m}^2$ 喷雾防治稻叶瘟, 其药后 10 d 在洱海和抚仙湖径流区防效均为 85% 以上; 采用 9%甲维·茚虫威 SC 20 $\text{mL}/667 \text{ m}^2$ 喷雾防治稻螟虫、稻纵卷叶螟等, 药后 10 d 在上述稻区防效为 90% 以上; 分蘖后期, 稻田释放赤眼蜂 1 次 (10 000 个卵/ 667 m^2)。(6) 理化诱控 (灯诱、性诱): 每 2 hm^2 稻田安装 1 台太阳能杀虫灯防控粳稻害虫; 稻螟虫、稻纵卷叶螟始见期, 连片设置性诱剂和诱捕器 (2~3 套/ 667 m^2), 第 30 d 平均诱捕蛾量 15.3 头/套。(7) 在抽穗期和灌浆期, 破口前选用 20%井冈霉素 WP 60 $\text{g}/667 \text{ m}^2$ 或 75%肟菌·戊唑醇 WG 15 $\text{g}/667 \text{ m}^2$ 喷雾防治稻曲病; 采用 72%农用硫酸链霉素 SP 300 $\text{g}/667 \text{ m}^2$ 喷雾防治白叶枯病; 选用 2%春雷霉素 AS 100 $\text{mL}/667 \text{ m}^2$ 喷雾防治穗颈瘟, 药后 10 d 在上述稻区防效为 80% 以上。(8) 结实期调查, 赤眼蜂释放区粳稻白穗率 0.67%, 显著低于对照区白穗率的 2.14%。近年来, 项目每年在我省高原湖泊径流区开展粳稻主要病虫草害绿色防控技术集成与示范推广 1.5 万 hm^2 ; 其中, 2022 年在大理市喜洲镇、澄江市龙街镇分别进行百亩和千亩连片示范, 经专家测产验收, 平均产量分别为 810.5、854.8 $\text{kg}/667 \text{ m}^2$, 已取得显著经济、社会和生态效益。

关键词: 水稻; 云南高原湖泊径流区; 粳稻; 主要病虫草害; 绿色防控技术

*基金项目: 云南省重大科技专项计划 (202102AE090004; 202202AE090010)

**通讯作者, E-mail: kmny2000@163.com

草地贪夜蛾在云南边境地区发生规律及种群分布特征*

何成兴^{1**} 吴文伟^{1**} 王 群¹ 郭志祥¹ 吴永丽¹ 秦得强¹ 杨显刚⁴
沈文武³ 黄 奎² 陈和新² 韦加贵² 周显刚³

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 2. 富宁县植保植检站, 云南富宁 616400; 3. 建水县植保植检站, 云南建水 654300; 4. 普洱市思茅区植保植检站, 云南普洱 665000)

摘要: 云南属低纬度高原内陆地区, 地势西北高、东南低, 自北向南呈阶梯状逐级下降, 为山地高原地形, 山地面积占全省面积的 92.6%, 东部与贵州、广西为邻, 北部与四川相连, 西北部紧依西藏, 西部与缅甸接壤, 南部和老挝、越南毗邻, 边境线长为 4 060 km。草地贪夜蛾在高空迁飞过程中形成空中高速通道, 迁飞方向与太平洋暖湿气流密切相关。因此, 云南成为全国主要虫源地, 受西太平洋副热带高压的控制, 虫源地上空存在草地贪夜蛾远距离迁飞降落的大气动力学环境, 我国广东、广西地区草地贪夜蛾可能从云南北部地区迁入。草地贪夜蛾自 2019 年 1 月份在云南普洱市江城县为害冬玉米以来, 目前主要在全省海拔 1 600 m 以下玉米种植区域定殖为害, 并逐步扩散至其他省份, 日趋加重。云南也成为草地贪夜蛾入侵的重要虫源地, 其发生为害特点及种群分布对我国玉米产区草地贪夜蛾的动态有明显影响。2019 年 4 月至 2022 年 8 月, 在云南边境地区八个地州 9 个边境县进行了草地贪夜蛾发生规律监测和种群分布特征调查。结果表明, 调查区域均发生草地贪夜蛾为害, 玉米田间虫株率为 50.7%, 百株虫量为 110.7 头; 不同玉米生长期 (苗期和穗期) 的虫株率和百株虫量差异显著, 苗期大喇叭口期虫株率和百株虫量 (84.9%和 201.1 头), 显著高于苗期小喇叭口初期 (53.2%和 114.7 头) 和抽雄期 (14.2%和 16.2 头); 田间虫株率和百株虫量之间的幂函数模型为 $y = 0.8428x^{1.2125}$ 。因此, 要进一步加强与云南相关部门的合作, 掌握云南草地贪夜蛾发生和为害动态, 为我国草地贪夜蛾的监测与防控提供依据。

关键词: 草地贪夜蛾; 云南边境地区; 发生规律; 种群分布

*基金项目: 云南省重大科技专项计划 (202202AE090010; 2018YFD0200705)

**通讯作者, E-mail: 何成兴 hechengxing69@163.com; 吴文伟 kmny2000@163.com

内蒙古通辽黄太平果园桃小食心虫越冬茧分布特征^{*}

吴秀花^{1**} 王莉英¹ 张嘉益¹ 张颖¹ 常桐² 敖特根²

(1. 内蒙古自治区林业科学研究院, 呼和浩特 010010; 2. 通辽市有害生物防治站, 内蒙古通辽 028000)

摘要:【目的】桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham 是蔷薇科及鼠李科等多种果树的重要害虫, 以幼虫蛀食寄主植物的果实, 防治困难, 对林果生产造成严重损失。本文对桃小食心虫的越冬茧分布进行调查, 以明确种群分布特点。【方法】以内蒙古通辽上年桃小食心虫发生较重的黄太平果园为研究地点, 采用分层、定向、定体积挖土筛茧的方法, 调查桃小食心虫越冬茧分布。【结果】以果树干为中心, 东南西北 4 个方向向外延伸, 桃小食心虫越冬茧在土壤中的分布是不同的, 南向最多, 占 47%, 西向最少, 占 4%, 东向和北向接近, 分别占 24%和 25%; 水平方向以树干为起点, 越冬茧在土壤中分布以 0~30 cm 最多, 3000 cm³ 体积土壤中 13.1 头, 30~60 cm 分布 6.7 头, 60~150 cm 接近, 每 30 cm 分布分别为 5.3、5.4 和 5.8 头, 150~210 cm 向外每 30 cm 平均分布不足 1 头, 总体上分布于树冠以内下部; 垂直方向以树干基部为起点, 越冬茧在土壤中分布以向下 0~5 cm 最多, 为 12.4 头, 向下 5~10 cm 次之, 为 8.5 头, 10 cm 再向下平均 4.8~3.6 头, 越向下越少, 35 cm 以下基本无越冬茧分布。越冬茧的分布与土壤硬度成负相关, 土壤硬度越大, 越冬茧分布越少。【结论】通过对通辽黄太平果园桃小食心虫越冬茧分布数据分析, 初步掌握了桃小食心虫越冬茧的分布特征, 为桃小食心虫预测预报和有效防控奠定基础。

关键词: 桃小食心虫; 越冬茧; 分布特征; 相关分析

*基金项目: 林业科研能力提升项目

**E-mail: wuxiuhua-73@163.com

广西桑园主要病虫害种类及其防控技术研究

黄立飞 姜建军 曹雪梅 王欢廷 杨 朗*

(广西农业科学院植物保护研究所/广西作物病虫害生物学重点实验室/农业农村部华南果蔬绿色防控重点实验室, 南宁 530007)

摘要: 广西桑树种植面积居全国第一, 桑园目前面积已超 300 万亩, 成为脱贫攻坚、乡村振兴的主要支柱产业。然而, 桑树病虫害发生和为害趋势逐年加重, 某些年份暴发成灾。为有效防控桑园病虫害, 我们开展了主要病虫害的调查及防控技术研究。广西地处亚热带, 在桑树生长季节桑园的小气候一般闷热、潮湿, 这气候有利于桑树病虫害的繁殖与蔓延, 因此广西桑园中发生的病虫种类较多, 共有 109 种。主要害虫发生为害规律: 连续 5 年调查统计分析各结果表明桑树上主要害虫种类发生在 4—10 月间, 桑蓟马以 5—7 月份为高峰期, 桑螟是 6 和 9 月为高峰期, 桑粉虱是 7—9 月发生高峰, 桑螨是 7 和 10 月各有 1 个高峰期。捕食螨与桑螨、桑粉虱和桑螟的种群数量上有一个较为明显的跟随现象; 蜘蛛和桑螟有一个较为明显的跟随现象。主要病害发生流行规律: 低温、多湿有利于桑褐斑病和桑椹菌核病的发生, 特别多湿且日照少的条件下更有利于此病的发生; 而一般情况下在地势较低地下水位高, 排水不良的桑园桑赤锈病发病较重, 如在潮湿的沿海、沿江及山间峪地的桑园, 桑赤锈病常暴发成灾; 在干旱的丘陵、坡地的桑园, 桑叶白粉病则发生较重。在我们多年调查的结果发现, 主要桑病害在广西发生消长有尔长彼消的情况。通过配套应用天敌友好型诱虫板、害虫性诱剂与自动变频太阳能杀虫灯; 结合选用抗性品种、桑园适当生草以保护天敌、释放捕食螨以控制害螨; 结合应用土壤消毒剂石灰氮、微生物菌肥等, 建立桑园绿色生态种植新模式; 采用桑园农药的减量使用模式, 应急选用高效低毒、无残留农药, 实施科学、精准用药, 维护桑园生态环境持续控制桑园病虫害。综合技术田间综合防治效果明显: 每亩桑园用药减少 10% 以上, 完好桑叶产量提高 10%~15%, 桑叶亩产值增幅达 5% 以上。

关键词: 桑园; 病虫害; 消长规律; 防控技术

*通讯作者, E-mail: yang2001lang@163.com

不同温度下长刺钝绥螨两性生命表的构建*

汪维华^{1,2} 陈俊谕^{2**} 郑丽旧^{1,2} 韦秀女² 张方平² 符悦冠^{2**}

(1. 海南大学植物保护学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 5711011)

摘要: 【目的】六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus* 是我国海南、云南、广东等植胶区橡胶树上的重要害螨, 长刺钝绥螨 *Neoseiulus longispinosus* 是在我国热区有分布的优势本土捕食性天敌, 对叶螨生物防治具有较好的应用前景。本研究旨在探究以六点始叶螨为靶标猎物时, 温度对长刺钝绥螨生长发育情况和种群参数的影响, 为六点始叶螨的生物防治应用提供理论参考依据。【方法】在人工气候箱 21±1℃、24±1℃、27±1℃、30±1℃, 光照 L: D=14:10 条件下, 以六点始叶螨第二若螨为食物, 观察长刺钝绥螨个体的发育历期、存活率、成虫寿命和产卵量, 构建其两性生命表。【结果】温度对长刺钝绥螨的生长发育和繁殖具有显著影响。总体上随着温度升高, 长刺钝绥螨的发育历期逐渐缩短, 在 27±1℃ 下的发育历期最短, 为 4.36 d, 在 21℃ 下的发育历期最长, 为 6.61 d。世代存活率随着温度升高逐渐降低, 在 21±1℃、24±1℃、27±1℃、30±1℃ 条件下长刺钝绥螨从卵发育到成虫的存活率分别为 88%、82%、84%、76%。成虫寿命和单雌产卵量均为在 27±1℃ 条件下最大, 分别为 25.75 d 和 40.77 粒/雌, 显著高于其他温度条件下。通过组建两性生命表, 结果表明, 在 21℃~27℃ 条件下, 长刺钝绥螨的净增殖率和内禀增长率随温度升高而增大, 在 27℃ 条件下种群净增殖率和内禀增长率分别为 25.280 和 0.418。【结论】以六点始叶螨为靶标猎物时, 21-30℃ 条件下长刺钝绥螨均可完成个体发育和繁殖。27±1℃ 条件对长刺钝绥螨的种群增长最有利。该结果可为利用长刺钝绥螨防控六点始叶螨的田间应用提供参考依据。

关键词: 长刺钝绥螨; 六点始叶螨; 温度; 两性生命表

*基金项目: 国家天然橡胶产业技术体系虫害防控岗位 (No.CARS-33-BC2); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No.1630042022006)

**通讯作者, E-mail: 陈俊谕 jychencn@163.com; 符悦冠 fygcata@163.com

蛀茎害虫石斛萋象的形态特征及发生规律

张萌萌 李 莉

(贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550025)

摘要:【目的】铁皮石斛是一种重要的药用经济作物,在我国许多地区被广泛种植。石斛萋象 *Nassophasis* sp.是近年来对石斛造成严重危害的一种钻蛀性害虫,目前该虫的生物学习性仍不明确。为了进一步明确该虫的生物学特性和危害特征。【方法】本研究通过野外调查和室内饲养(25.5±0.5℃, 75%±5%RH, 10L:14D)对石斛萋象的幼虫龄期、生活史以及为害特征进行调查,利用体视显微镜和扫描电镜观察其外部形态和触角感受器形态,最后通过生物测定观察石斛萋象对铁皮石斛的趋向。【结果】结果显示,石斛萋象一年发生三代,世代重叠,成虫 11 月在铁皮石斛根部越冬,次年 3 月中旬出土。在生物测定实验中,石斛萋象成虫能够迅速找到寄主石斛,对不同健康状态(健康、虫害、机械损伤)的石斛表现出正趋向,且成功选择率均高于 60%。成虫可取食石斛茎叶,在野外呈聚集分布,常将卵单粒产于石斛茎中。幼虫钻蛀为害石斛茎,受害初期难以辨认,随着为害程度的增加,石斛茎出现软腐现象,受害茎中空,日久干枯,此时幼虫可进行转株为害,严重时造成石斛整株枯死。幼虫分为三龄,其头壳宽度符合 Dyar 法则与 Crosby 生长法则并呈显著的线性回归关系($P<0.0001$)。共 5 种触角感受器,包含 9 个亚型:毛形感器(2 个亚型)、刺形感器、刷形感器、锥形感器(4 个亚型)、柱形感器。触角端部感受器数量最多,可能是因为参与了寄主植物的定位。感受器的种类和数量在雌雄成虫间无明显差异。【结论】本研究明确了石斛萋象的年生活史和发生特征,研究结果可为对石斛萋象进行有效的生物防治提供了重要理论基础。

关键词: 石斛萋象; 石斛; 为害特征; 生活史; 形态特征

寄主植物对草地贪夜蛾生殖及肠道菌群的影响*

张丽娜^{1,2,3} 刘媛^{1,2,3} 王浩^{1,2,3} 伍一娟^{1,2,3} 侯有明^{1,2,3**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 生物农药与化学生物学教育部重点实验室, 福州 350002; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002; 3. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福州 350002)

摘要:【目的】明确寄主植物对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 生殖及肠道菌群的影响, 为解析草地贪夜蛾暴发为害机制提供理论依据。【方法】测定取食玉米、水稻、大豆的草地贪夜蛾各项生殖指标及精卵巢发育情况, 并采用 16S rDNA 测序技术分析玉米、水稻的草地贪夜蛾中肠肠道菌群结构及多样性。【结果】取食玉米、水稻、大豆的草地贪夜蛾生殖力存在显著差异。同取食水稻和大豆相比, 取食玉米的草地贪夜蛾产卵前期显著缩短, 为 2.07 ± 0.77 d; 产卵期显著延长, 为 5.63 ± 0.87 d; 单雌产卵量显著提高, 为 $1\ 080.33 \pm 232.98$ 粒/雌; 雌成虫寿命显著缩短, 为 11.11 ± 1.59 d; 产卵效率显著提高, 为 99.15 ± 24.52 。取食玉米、水稻、大豆的卵巢管长度分别为 62.26 ± 5.63 、 24.66 ± 8.34 、 36.52 ± 13.26 mm; 卵巢管宽度分别为 $1\ 044.13 \pm 73.08$ 、 437.90 ± 36.47 、 541.60 ± 62.62 μm ; 卵粒直径分别为 $1\ 036.25 \pm 54.35$ 、 717.05 ± 110.79 、 989.42 ± 57.49 μm ; 抱卵量分别为 $1\ 331 \pm 126$ 、 373 ± 137 、 488 ± 76 粒/雌; 精巢长轴长度分别为 $3\ 008.26 \pm 225.35$ 、 $2\ 394.43 \pm 327.54$ 、 $2\ 739.50 \pm 99.01$ μm ; 精巢宽轴长度分别为 $2\ 523.27 \pm 216.31$ 、 $2\ 153.80 \pm 380.60$ 、 $2\ 450.99 \pm 191.80$ μm 。同时发现取食玉米、水稻的草地贪夜蛾中肠肠道菌群结构及多样性存在显著差异。 α 多样性指数分析发现, 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾初羽化成虫肠道细菌多样性高低顺序为玉米>水稻。在菌群组成上, 两者的草地贪夜蛾优势肠道菌门主要为变形菌门 Proteobacteria 和厚壁菌门 Firmicutes, 占总细菌的 98.5% 以上, 但属水平上的物种在两者间存在较大差异, 取食玉米的草地贪夜蛾肠道优势菌属为肠球菌属 *Enterococcus* 和沙雷氏菌属 *Serratia*, 相对丰度分别为 29.17%、26.22%; 取食水稻的草地贪夜蛾肠道优势菌属为肠球菌属 *Enterococcus* 和肠杆菌属 *Enterobacter*, 相对丰度分别为 30.30%、30.24%。【结论】取食玉米、水稻、大豆的草地贪夜蛾生殖及肠道菌群存在显著差异, 这为深入探讨草地贪夜蛾对寄主的适应性机制提供了理论依据。

关键词: 草地贪夜蛾; 寄主植物; 肠道菌群; 生殖

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601405; 2017YFC1200605); 福建省科技重大专项 (2017NZ0003-1-6)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

短时高温处理对新产出中华甲虫蒲螨的影响*

李立涛 许长新 焦蕊 贺丽敏**

(河北省农林科学院昌黎果树研究所, 河北昌黎 066600)

摘要:【目的】明确不同高温处理对新产出中华甲虫蒲螨 *Pyemotes zhonghuaajia* Yu, Zhang & He 爬行能力、寄生能力和繁殖能力的影响, 为中华甲虫蒲螨夏季的田间释放策略提供理论依据。【方法】分别在 35℃、38℃和 41℃ 3 个高温条件下, 对新产出的中华甲虫蒲螨雌成螨处理 1、2、4 和 6 h, 以存活率、爬行回收率、寄生率、杀虫毒力和繁殖力 5 个指标, 观察评价短时高温处理对活动态蒲螨的影响。【结果】在 35℃条件下, 对蒲螨存活率影响较小, 处理 6 h 后的存活率为 96.28%; 38℃和 41℃, 处理时长大于 4 h 时, 对蒲螨存活率影响显著, 38℃处理 6 h, 存活率仅为 18.25%, 而 41℃处理 6 h, 蒲螨无法存活。短时高温处理会导致蒲螨爬行能力的减弱, 爬行回收率随着处理温度升高和时长的延长而减少。35℃处理 1~4 h, 蒲螨爬行回收率虽有减少, 但与对照回收率为 30.14%差异不显著, 处理 6 h 时, 蒲螨爬行回收率显著减少, 降为 25.19%,; 在 38℃和 41℃条件下, 这种变化更为显著, 38℃处理 6 h 和 41℃处理 4 h 后, 爬行回收率降到了 10%左右。高温长时间处理对蒲螨繁殖能力有一定的影响, 在 38℃处理 6 h, 41℃处理大于 2 h 时, 表现为显著的降低, 最低平均单雌产后代量 96.70 头, 对照后代量为 120.90 头。与对照相比, 35℃下各处理寄生成功率差异并不显著; 在 38℃下, 处理长于 2 h, 和 41℃下各处理寄生成功率显著降低, 尤其是 38℃处理 6 h, 寄生成功率只有 23.81%。随着处理温度升高和处理时长延长, 单头蒲螨杀死寄主的数量逐渐减少, 平均最少只有 2.75 头, 只有在 35℃处理 1 h 时, 平均杀死寄主数量 4.63 头与对照 5.75 头相比差异不显著。【结论】温度高于 38℃, 处理时间大于 4 h, 会对中华甲虫蒲螨产生显著的不利影响。

关键词: 中华甲虫蒲螨; 短时高温; 爬行能力; 寄生能力

*基金项目: 河北省农林科学院创新工程课题 (2022KJCXZX-CGS-8); 河北省重点研发计划项目 (20326517D)

**通讯作者, E-mail: helimin122@163.com

土壤深度和光照对枸杞实蝇越冬蛹羽化出土的影响

魏红爽 刘 赛 乔海莉 郭 昆 徐 荣 徐常青*

(中国医学科学院药用植物研究所, 北京 100193)

摘要:【目的】枸杞实蝇 *Neoceratitis asiatica* (Becker) 是宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 果期危害严重的蛀食害虫。其成虫具有发达的产卵器, 产卵于果内, 而幼虫生活周期内在果内取食为害, 难以有效防治。枸杞实蝇成虫是生产中造成枸杞果为害的关键因子。阻断枸杞实蝇羽化出土是生产中防控该虫的重要一环, 因此, 明确枸杞实蝇越冬蛹羽化出土影响因素是当务之急。【方法】利用 2 mm 厚的载土透明玻璃板统计埋于土壤深度 1、3、5 和 7 cm 下枸杞实蝇越冬蛹的羽化出土率, 并通过体视镜观察其羽化成虫的形态特征与出土路径。通过给与载土透明板不同方位的光照, 观察枸杞实蝇羽化出土情况。【结果】枸杞实蝇越冬蛹于 30℃、土壤湿度 10% 条件下约 21 d 开始羽化, 羽化持续 30 d 左右; 其羽化出土特点是离蛹在土壤中羽化为成虫, 成虫以双翅抱握状态快速出土。其中埋于土壤深度 7 cm 的越冬蛹在羽化前 10 d 的羽化率 ($22\% \pm 0.05\%$) 相对其他组较高 (土壤深度 1 cm, $16\% \pm 0.04\%$; 3 cm, $16\% \pm 0.02\%$ 和 5 cm, $8\% \pm 0.04\%$), 但是越冬蛹整个羽化期内在各个土壤深度下的羽化率没有明显差异, 均高达 84%~88%。实验中发现土壤深度 7 cm 的越冬蛹的羽化成虫的翅膀畸型率占羽化率的 $11.86\% \pm 0.04$, 且其羽化出土率 ($88.14\% \pm 0.05$) 相对其他组 (均为 100%) 偏低。此外, 我们发现光线影响枸杞实蝇羽化出土: 当白光打在土壤表层时, 实蝇能快速顺利地出土; 但当白光打在载土透明板的一侧时, 实蝇呈现转圈打转状态, 不能成功出土。【结论】研究明确土壤深度和光照影响枸杞实蝇越冬蛹的羽化出土, 可为进一步田间科学防控该实蝇提供指导意义。

关键词: 宁夏枸杞; 枸杞实蝇; 越冬蛹; 土壤深度; 光照; 羽化出土

*通讯作者

橘小实蝇雄性交配能力对繁殖适度的影响*

陈 启 易小龙 兰泰辉 郑霞林 陆 温 王小云**

(广西农业环境与农产品安全重点实验室, 广西大学农学院, 南宁 530004)

摘要: 橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 由于其在世界范围内的扩散和繁殖能力, 是一种重要的农业害虫。目前对橘小实蝇的绿色防控技术中, 性诱剂 (如甲基丁香酚) 诱杀雄性以控制种群是一个主要的策略。但橘小实蝇的交配能力可能限制了性诱剂的效果。因此, 本文研究了橘小实蝇的多次交配和连续交配能力。结果表明, 橘小实蝇雄性平均能交配 11 次, 雌性只有 1.93 次, 10.81% 的雄性能交配 20 次以上。橘小实蝇雄性的繁殖能力只有在连续交配 4~5 次后才显著下降。在一妻多夫制、一妻一夫制、一次交配后间隔两周再次交配制、交配一次后独居制四种不同的交配模式下, 一妻多夫制的繁殖适合度并非最好, 而间隔交配下繁殖繁殖适合度更好。本研究通过行为学证据揭示了橘小实蝇性引诱作用的局限性。因此, 橘小实蝇性诱剂是否能诱杀更强交配能力的雄性可能是其应用的一个关键因素。

关键词: 甲基丁香酚; 多次交配; 间隔交配; 繁殖适性; 种群构成

*基金项目: 广西创新驱动发展专项 (桂科 AA17202017); 国家自然科学基金 (32201270); 广西自然科学基金项目 (2023GXNSFBA026131)

**通讯作者, E-mail: wxy8771@163.com

马铃薯块茎蛾肠道微生物多样性及淀粉代谢菌株筛选

张梦迪 闫俊杰 高玉林*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193)

摘要:【目的】马铃薯是继小麦、玉米、水稻之后的第四大主粮作物, 在保障我国粮食安全和乡村振兴中发挥至关重要的作用。马铃薯块茎蛾 (*Phthorimaea operculella* Zeller) 属鳞翅目 (Lepidoptera) 麦蛾科 (Gelechiidae), 是一种世界性茄科害虫, 在马铃薯上危害尤为严重, 已成为马铃薯生产的主要制约因素之一。马铃薯块茎蛾适应取食马铃薯的长期进化过程中, 马铃薯块茎蛾作为一种寡食性害虫, 如何适应高淀粉含量的马铃薯。我们猜测马铃薯块茎蛾肠道微生物在淀粉降解过程中发挥潜在作用。【方法】结合高通量测序及肠道细菌的体外分离培养技术, 首先追踪不同龄期幼虫肠道微生物多样性, 明确肠道菌株种类; 聚焦在 4 龄暴食期, 分离纯化肠道菌株, 进而筛选出淀粉高效降解菌株。【结果】高通量测序结果表明, 不同龄期肠道微生物种类存在差异性, 为后期菌株分离提供了可靠的依据; 另外, 结合高通量注释结果和菌株传统分离培养技术, 发现 4 龄幼虫肠道内存在降解淀粉的菌株, 个别菌株降解效率高度 90% 以上。【结论】肠道微生物在马铃薯块茎蛾适应高淀粉含量过程中扮演着重要的角色, 为后期从菌株基因层面探究降解机制及开发害虫绿色防控技术提供依据。
关键词: 马铃薯块茎蛾; 肠道微生物; 宏基因组; 分离培养; 淀粉降解

*通讯作者, E-mail: gaoyulin@caas.cn

茶小绿叶蝉共生微生物群落结构及其相关环境影响因子

张 勇¹²³ 黄雪妤¹ 龙雁华² 杨云秋^{1*}

(1. 安徽农业大学, 茶树生物学与资源利用国家重点实验室, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036; 3. 西北农业科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:【目的】茶小绿叶蝉 *Matsumurasca onukii* Matsuda 是茶园主要害虫之一。昆虫共生微生物群落通过多种方式影响宿主的各项生命活动。研究昆虫与其共生微生物群落之间的相互关系为揭示昆虫如何适应外界多变的环境和为害虫的防止提供新的思路。【方法】使用 16S rRNA 扩增子测序方法对来自 20 个不同地理位置茶园的茶小绿叶蝉的共生细菌群落结构进行系统的调查; 使用 ITS1 扩增子测序方法对 18 个不同茶区的茶小绿叶蝉共生真菌群落进行调查。【结果】不同地区的茶小绿叶蝉携带的细菌群落结构有显著差异, 且 *Wolbachia*、*Pseudomonas*、*Acinetobacter*、*Pantoea*、*Enterobacter* 和 *Methylobacterium* 的相对丰度变化较大; 茶小绿叶蝉种群可能携带 *Wolbachia*、*Rickettsia*、*Asaia*、*Serratia*、*Arsenophonus* 和 *Cardinium* 六种兼性共生菌, 相对丰度差异较大; 相关性分析证实海拔因子是影响茶小绿叶蝉共生细菌群落结构的关键环境因子; 茶小绿叶蝉的共生真菌群落主要由 Ascomycota 和 Basidiomycota 组成, 其中多数被认为是植物的内生菌或病原菌, 包括 *Cladosporium*、*Fusarium*、*Alternaria* 和 *Gibberella*。【结论】我们的实验结果表明茶小绿叶蝉携带复杂而多变的微生物群落, 并受到海拔和气候相关因素的影响。我们的研究为茶小绿叶蝉的共生微生物群落以及相关环境影响因子提供新的见解。

关键词: 茶小绿叶蝉; 微生物群落; 扩增子测序; 海拔

*通讯作者

施钾与蓟马为害对苜蓿叶片 JA 和 SA 及防御酶活性的影响

胡桂馨¹ 周生英¹ 甘辉林² 张 航¹ 温雅洁¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 2. 张掖市草原工作站, 甘肃张掖 734000)

摘要:【目的】为了探究施钾与牛角花齿蓟马为害对苗期苜蓿的诱导抗性。【方法】本研究以甘农 3 号为试验材料, 以北方苜蓿蓟马类优势害虫牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* 为研究对象, 在网室盆栽条件下, 设置“不接虫+不施钾”、“不接虫+施钾”、“接虫+不施钾”和“接虫+施钾”4 个处理, 分别记为 K0CK、K2CK、K0 和 K2。于苜蓿 5 叶 1 心期, 接虫处理苜蓿按 3 头/株接入牛角花齿蓟马成虫, 处理后第 1、3、5、7 和 9 d 时, 评价接虫处理 K0 和 K2 处理苜蓿的受害程度; 摘取 4 个处理苜蓿的上部叶和下部叶, 测定叶片中茉莉酸 (JA)、水杨酸 (SA) 以及苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 和脂氧合酶 (LOX) 的含量。【结果】施钾苜蓿的受害指数显著低于未施钾苜蓿的受害指数。除第 5 天 K2 处理上部叶的 LOX 活性低于 K0 处理上部叶的 LOX 活性外, 各时期、各处理苜蓿上部叶和下部叶的 LOX 和 PAL 活性以及 JA 和 SA 含量大小顺序均为: K2>K0>K2CK>K0CK, K2 处理下苜蓿上部叶的 LOX 的活性峰值出现时间最早。施钾与蓟马为害均能激发 JA 和 SA 信号传递途径, 二者在受害初期具有协同作用, 而随着时间的持续, JA 与 SA 互相拮抗。苜蓿上部叶的 LOX 和 PAL 活性明显高于下部叶的 LOX 和 PAL 活性, 尤其是“施钾+接虫”(K2) 处理和“不施钾+接虫”(K0) 处理; 各处理苜蓿上部叶片的 JA 与 SA 的信号强于下部叶片。【结论】牛角花齿蓟马为害可诱导苜蓿叶片防御酶 LOX 和 PAL 的活性, 促进了 JA 和 SA 的合成积累, 而施钾处理增强了诱导效应, 提高了苜蓿对蓟马的抗性。

关键词: 钾; 紫花苜蓿; 牛角花齿蓟马; 为害; 诱导防御

茶翅蜡对猕猴桃的为害特征及规律研究

罗正玉^{1,2,3} 高丽萍^{1,2} 陈菊红¹ 张 峰¹ 王香萍² 张金平^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业农村部—CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193; 2. 农林病虫害预警与调控湖北省工程技术中心, 长江大学农学院昆虫研究所, 湖北荆州 434025)

摘要:【目的】猕猴桃被誉为水果皇后在我国大面积种植。茶翅蜡 *Halyomorpha halys* (Stål) 是猕猴桃生产中最重要害虫之一, 然而, 茶翅蜡对猕猴桃的为害特征, 为害规律尚无研究报道。为了明确猕猴桃果实的受害特征, 从而准确评价其受害程度, 开发有效的防治策略。

【方法】本文通过田间网罩试验测定了不同虫态、不同密度茶翅蜡对 3 种猕猴桃果实 („海沃德“, „徐香“和„金猕“) 的为害特征和规律。于猕猴桃坐果初期将 60 μm 面积为 100 cm $\times$ 80 cm 的网罩在带有猕猴桃果实的枝条上, 并根据不同的接虫密度/虫态/时期将茶翅蜡接入网罩内, 48 h 后将茶翅蜡取出, 待猕猴桃果实收获季节检查网罩内果实的受害情况。【结果】茶翅蜡成虫和龄若虫刺吸为害猕猴桃果实的为害特征无差异, 果实受害后在表面无明显可见斑, 去掉果皮可见绿色或白色水浸状斑, 3 种果实均能观察到这两种斑点单独或混合发生, 但两种受害斑在不同的品种和不同时期的果实上所占的比例有所差异。„金猕“的主要为白色斑单独存在或者少数混有绿色受害斑, 没有单独的绿色斑存在。„海沃德“主要为绿点斑单独发生, 没有单独的白色斑存在, 部分果实在 6 月发现了两种受害斑混合发生, 并且混合发生所占比例在 8 月有所增加。„徐香“的受害特征主要为绿色斑, 其次为两种受害斑混合发生或白色斑单独发生, 混和斑的比例随着果实的发育有所增加。猕猴桃在坐果初期便可遭受茶翅蜡为害, 但果实不同生长发育阶段的受害率及受害程度差异显著, 7 月 (快速生长阶段) 为受害最敏感阶段, 果实受害率随着茶翅蜡比例的增加而增加。

关键词: 茶翅蜡; 猕猴桃果实; 绿肉; 黄肉; 受害特征

*通讯作者, E-mail: j.zhang@cabi.org

三种诱集方法对梨园桔小实蝇种群动态监测及诱集效果评价*

李星星 杨国辉 顾秋月 高 洁 陈国华 张晓明**

(云南农业大学植物保护学院/云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

摘要:【目的】为明确梨园桔小实蝇发生动态和不同诱集方法对其的诱集效果, 为梨园桔小实蝇的综合防治提供科学依据。【方法】采用五点取样法系统调查了梨园桔小实蝇种群性别、性成熟状态及种群动态, 评价了甲基丁香酚、黄板、食诱剂 3 种诱集方法对桔小实蝇的诱集效果, 采用四分位法分析了桔小实蝇的发生时期。【结果】结果表明, 甲基丁香酚诱集法对桔小实蝇雄虫的诱集效果较好, 诱集的虫量为 189.64 头/装置, 显著高于黄板和食诱剂诱集方法 ($P<0.05$), 食诱剂诱集法对桔小实蝇性成熟雌虫的诱集效果较好, 诱集的虫量为 8.42 头/装置, 显著高于黄板诱集方法 ($P<0.05$)。桔小实蝇在梨园的发生期为 7—10 月, 主要发生时期为 9 月到 10 月初, 雄虫的主要发生时期与发生最高峰早于雌虫, 雌虫主要发生期比雄虫主要发生期长。梨园桔小实蝇于 7 月中旬始见, 种群数量较少, 8 月中旬出现 1 个小高峰 (甲基丁香酚为 21.25 头/装置、黄板为 3.20 头/板、食诱剂为 3.94 头/装置), 之后桔小实蝇种群数量减少。甲基丁香酚诱集法于 9 月下旬到达到种群数量的峰值, 为 33.8 头/装置, 黄板诱集法于 10 月初到达到种群数量的峰值, 为 14.40 头/板, 食诱剂诱集法于 9 月中旬到达到种群数量的峰值, 为 8.62 头/装置, 10 月上旬后种群数量一直较低。【结论】食诱剂诱集法对桔小实蝇的诱集更灵敏, 甲基丁香酚诱集法次之, 黄板诱集法最弱。田间监测时应注意多种方式搭配, 达到监测与诱杀的目的。

关键词: 桔小实蝇; 种群动态; 诱集效果; 诱集方法

*基金项目: 云南省重大科技专项 (202102AE090006); 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目 (202105AC160071); “云南省高层次人才培养支持计划”青年拔尖人才专项 (YNWRNBJ2020291); 第十七批昆明市中青年学术和技术带头人后备人才项目 (KMRCH2019023)

**通讯作者: E-mail: zxmalex@126.com

红火蚁诱饵活性物质筛选及嗅觉识别机制研究^{*}

沈嘉程^{1,2} 侯有明^{3,2**}

(1. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 生物农药与化学生物学教育部重点实验室, 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002)

摘要: 为筛选对红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 具有高引诱效果的火腿肠种类, 为后续分析监测诱饵的风味成分, 优化诱饵配方提供科学依据, 本文选择了 5 种福州常见市售火腿肠, 对火腿肠片和火腿肠碎肉在室内外的诱蚁量进行了比较。结果表明: 在田间, 火腿肠碎肉相比于火腿肠片短时间内的诱蚁量均显著提高。在室内, 优级火腿肠处理前后对诱蚁量无显著影响, 而玉米风味火腿肠碎肉的诱蚁量显著高于肉片。并对玉米风味火腿肠的香气物质进行了分析和鉴定。上述火腿肠诱饵的室内外实验结果为进一步的诱饵挥发物分析提供了基础, 为后续研发精准高效的红火蚁监测专用诱饵提供重要信息。

关键词: 外来入侵生物; 红火蚁; 火腿肠诱饵; 挥发物

^{*}基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD100503)

^{**}通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

橘小实蝇、瓜实蝇和南亚实蝇卵共生菌多样性及差异分析

敖国富^{1,2} 贾平凡¹ 季清娥¹ 郑敏琳^{1*}

(1. 福建农林大学生物防治研究所/闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室/生物农药与化学教育部重点实验室/联合国粮农组织-国际原子能机构实蝇防控中国合作中心, 福州 350002; 2. 安顺学院农学院黔中特色高效农业植保信息化重点实验室, 贵州安顺 561000)

摘要:【目的】为探究橘小实蝇、瓜实蝇和南亚实蝇卵共生菌群落结构、多样性及其在不同种群间的差异。【方法】利用 Illumina NovaSeq 6000 测序技术分析 3 种实蝇卵共生菌的 16S rDNA V3~V4 高变区序列。【结果】研究表明, 7 个实蝇种群的卵共生菌序列共注释 3 495 个操作分类单元 (*operational taxonomic units*, OTUs), 注释到界、门、纲、目、科和属水平的比例分别为 96.08%、76.37%、74.48%、70.99%、61.09%和 41.46%。放线菌门主要在南亚实蝇卵中聚集, 拟杆菌门主要在橘小实蝇卵中聚集, 而厚壁菌门和变形菌门细菌属在 3 种实蝇卵中均有聚集。从 3 种实蝇实验室种群和橘小实蝇福州种群第 6~10 代卵共生菌中筛选到相对丰度差异的细菌属为沙雷氏菌属、普罗威登斯菌属、漫游球菌属、*Cosenzaea*、米勒氏菌属、乳球菌属和肠球菌属。橘小实蝇安顺种群与橘小实蝇福州种群第 10 代、南亚实蝇安顺种群和南亚实蝇实验室种群的卵共生菌 Simpson 指数和 Shannon 指数差异显著。【结论】沙雷氏菌属、普罗威登斯菌属、肠球菌属和乳球菌属为 3 种实蝇卵共生菌的优势属, 本研究可为 3 种实蝇卵引诱活性菌筛选及其功能研究提供参考。

关键词: 橘小实蝇; 瓜实蝇; 南亚实蝇; 卵; 共生菌

*通讯作者

意大利蜜蜂对甜瓜花朵挥发物的电生理和行为响应*

张江超¹ 姜玉锁¹ 马卫华^{3**} 赵慧婷² 武文卿³ 雷 佳³ 宋怀磊³

(1. 山西农业大学动物科学学院, 山西太谷 030801; 2. 山西农业大学生命科学学院, 山西太谷 030801; 3. 山西农业大学园艺学院, 太原 030031)

摘要: 【目的】意大利蜜蜂 *Apis mellifera Ligustica* 和地熊蜂 *Bombus terrestris* 是设施甜瓜重要的传粉昆虫。为探讨不同蜜蜂对甜瓜花朵挥发物的电生理和行为响应。【方法】顶空固相微萃取 (HS-SPME) 和气相色谱质谱 (GC-MS) 联用技术对甜瓜花朵挥发物进行分析, 并采用触角电位技术 (EAG) 和行为测试 (Y 管嗅觉仪) 研究花朵挥发物对意蜂和熊蜂的影响。

【结果】甜瓜雌花和雄花中共检出 77 种挥发性化合物, 其中醛类化合物相对含量最高 (61.34%; 82.09%)。意蜂对 E-2-己烯醛、E-2-辛烯醛和 1-壬醛有较强的 EAG 响应; 熊蜂对 E-2-己烯醛、E-2-辛烯醛、2, 5-二甲基苯甲醛、苯甲醛和苯丙醛有较强的 EAG 响应。在行为试验中, E-2-己烯醛 (200 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 和 E-2-辛烯醛 (300 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 对意蜂的吸引率最高, 吸引率均为 33.33%; E-2-己烯醛 (10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 和 2,5-二甲基苯甲醛 (100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 对熊蜂的吸引率最高, 吸引率分别为 53.33%、43.33%。此外, 与熊蜂相比, E-2-己烯醛和 E-2-辛烯醛 (10、100 和 200 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 对意蜂的吸引率更高。【结论】意蜂和熊蜂对甜瓜花挥发物的电生理和行为响应存在不同, 本试验有望为设施内意蜂和地熊蜂授粉提供理论和技术支持。

关键词: 意大利蜜蜂; 地熊蜂; 花朵挥发物; 触角电位; 嗅觉行为; 甜瓜

*基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-44-KXJ22); 山西省基础研究计划项目 (202103021224150)

**通讯作者, E-mail: mawh1997@163.com

蜜蜂和熊蜂对番茄花朵挥发物的 EAG 反应与行为选择差异研究^{*}

刘晋佳¹ 马卫华^{2**} 张江超¹ 赵慧婷³ 姜玉锁^{1**} 雷 佳²

宋怀磊² 武文卿² 申晋山²

(1. 山西农业大学动物科学学院, 山西太谷 030801; 2. 山西农业大学园艺学院, 太原 030031;

3. 山西农业大学生命科学学院, 山西太谷 030801)

摘要:【目的】尽管蜜蜂对番茄花的吸引力不如熊蜂,但是熊蜂和蜜蜂对番茄授粉至关重要。人们对番茄花朵挥发物如何影响蜜蜂和熊蜂的觅食行为了解很少。【方法】本研究采用气相色谱质谱法测定番茄花朵挥发物。采用触角电位(EAG)和Y型嗅觉计比较了意大利蜜蜂和地熊蜂对选定的挥发物在触角和行为反应上的差异。【结果】从番茄花朵挥发物中共检测出46种化合物。在检测出的16种化合物中,意大利蜜蜂对3种化合物(1-壬醛、(+)-二氢香芹酮和甲苯)的触角反应较强,而地熊蜂对7种化合物表现出明显的EAG响应(1,3-二甲苯、(+)-二氢香芹酮、甲苯、吡啶酮、亮氨酸、1-壬醛和罗勒烯)。另外,1-壬醛和(+)-二氢香芹酮对意大利蜜蜂有明显的趋避行为,但对地熊蜂没有明显的趋避行为。综上所述,与蜜蜂相比,熊蜂对番茄花挥发物更敏感,蜜蜂对番茄花挥发物中的某些化合物表现出不喜欢。【结论】结果表明,花朵挥发物化合物显著影响蜜蜂和熊蜂对番茄的觅食偏好。**关键词:** 蜜蜂; 地熊蜂; EAG; 行为; 番茄挥发物

*基金项目: 山西省基础研究计划项目(202103021224150); 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-44-KXJ22)

**通讯作者, E-mail: mawh1997@163.com; jiangys—001@163.com

梨花和油菜花朵特征对蜜蜂访花偏爱性的影响^{*}

张江超¹ 刘 强² 黄家兴³ 马卫华^{4**} 姜玉锁^{1**}

宋怀磊⁴ 武文卿⁴ 雷 佳⁴

(1. 山西农业大学动物科学学院, 山西太谷 030801; 2. 延安市桥北国有林管理局, 陕西延安 716000; 3. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 农业部传粉昆虫生物学重点实验室, 北京 100093; 4. 山西农业大学园艺学院, 太原 030031)

摘要:【目的】探究蜜蜂访花偏爱性与花朵特征之间的相互关系。【方法】本研究进行了砀山酥梨、巴梨、黄梨和油菜蜜蜂访花行为的观察, 及其花朵特征: 花蜜糖含量(液相色谱示差折光检测法)、花粉中 18 种氨基酸含量(氨基酸自动分析仪法)及挥发性物质(固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术)的检测和分析。【结果】9:00-17:00, 油菜的访花蜜蜂数量数量多于砀山酥梨; 7:00-17:00, 巴梨的访花蜜蜂数量均高于黄梨和砀山酥梨; 油菜的蜜蜂访花频率(28.35 朵/min)显著高于巴梨(19.91 朵/min)、黄梨(18.02 朵/min)、砀山酥梨(11.72 朵/min), 且巴梨、黄梨的显著高于砀山酥梨($P<0.05$)。巴梨花蜜蔗糖含量为 0.001 mg/mL, 显著低于砀山酥梨和黄梨(0.194、0.112 mg/mL)。花粉氨基酸各组分占比基本相同, 巴梨半胱氨酸(Cys)高于其他, 砀山酥梨精氨酸(Arg)高于油菜。黄梨、砀山酥梨、巴梨和油菜的花朵分别检测出 21、21、28 和 22 种挥发性物质。其中萜烯类(40.23%)、柠檬烯(6.58%) 在油菜中相对含量最高, 仅在油菜中检测到石竹烯(8.67%)、 α -法呢烯(2.42%), 只在巴梨中检测到芳樟醇(4.43%)。【结论】蜜蜂可能偏爱访问花蜜蔗糖含量少、花粉中低含量的 Cys 和高含量的 Arg 的花朵, 而且蜜蜂的访花偏爱性可能与萜烯类、柠檬烯、芳樟醇、石竹烯等物质在挥发性物质中的相对含量有关。这为下一步诱导蜜蜂为问题作物梨花授粉提供理论参考。

关键词: 蜜蜂; 访花偏爱性; 梨; 油菜; 花朵特征; 访花行为

*基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-44-KXJ22)

**通讯作者, E-mail: 马卫华 mawh1997@163.com; 姜玉锁 jiangys-001@163.com

黄翅绢野螟对不同植物的取食和产卵选择*

蒋 婷 樊春丽 王彤彤 王晓宇 徐冬英 蒋卓恩

杨志强 谭德锦 卢艳春**

(广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532415)

【目的】黄翅绢野螟 *Diaphania caesalis* Walker, 鳞翅目 Lepidoptera, 螟蛾科 Pyralidae, 绢野螟属 *Diaphania* Hübner。主要为害菠萝蜜 *Artocarpus heterophyllus*、榴莲蜜 *Artocarpus integer*、面包果 *Artocarpus altilis* 等热带作物, 是一种极具破坏的钻蛀性害虫, 几乎所有的菠萝蜜种植区域都有不同程度的发生, 为了明确黄翅绢野螟对不同植物的取食和产卵选择性。

【方法】采用叶碟法、叶面积法和室内观察等方法比较分析了黄翅绢野螟对 3 个菠萝蜜品种, 马来西亚 1 号, 海大 1 号, 四季菠萝蜜, 榴莲蜜、面包果、木瓜榕和 2 个果桑品种, 长果桑, 四季果桑的取食和产卵选择性, 取食面积及初孵幼虫取食不同植物后的存活率。【结果】各龄期幼虫的取食选择偏好总体表现为 3 种菠萝蜜 > 榴莲蜜 > 面包果和木瓜榕 > 2 种果桑, 其中黄翅绢野螟 1~2 龄幼虫对菠萝蜜的取食偏好不明显, 对不同植物的取食选择率差异不大; 随着龄期的增长, 3~5 龄幼虫逐渐表现出偏好取食菠萝蜜。黄翅绢野螟在不同植物上的日均产卵量之间没有显著差异, 偏好在菠萝蜜和面包果上产卵, 在马来西亚 1 号上着卵量占所有供试植物上的总产卵数的 19.67%。各龄期幼虫对不同植物的取食量随着龄期的增高而逐渐增大, 5 龄进入暴食期, 对 3 个菠萝蜜品种、榴莲蜜、面包果和木瓜榕的取食量无显著差异, 但显著高于 2 个果桑品种。初孵幼虫取食不同植物 48 h 后的存活率存在显著差异, 取食马来西亚 1 号菠萝蜜存活率最高 (98.51%), 取食长果桑存活率最低 (0.37%)。【结论】黄翅绢野螟偏好选择菠萝蜜属植物进行取食和产卵, 对榕属木瓜榕存在转移为害潜在威胁, 对桑属果桑潜在为害风险较低, 研究结果可为黄翅绢野螟在不同植物上的为害风险监测和防控提供参考。

关键词: 黄翅绢野螟; 菠萝蜜; 取食选择; 产卵选择; 存活率

*基金项目: 广西自然科学基金项目 (2022GXNSFBA035584; 2023GXNSFAA026406); 广西崇左市科技计划项目 (崇科 20210725); 广西农科院稳定资助科研团队项目 (桂农科 2021YT168); 广西农科院基本业务费项目 (桂农科 2022YM28)

**通讯作者, E-mail: 260543450@qq.com

红火蚁治理后的本地蚂蚁群落发生动态*

倪美虹 杨欣怡 郑奕然 蒋明星**

(浙江大学昆虫科学研究所, 农业农村部农业昆虫学重点实验室, 浙江省作物病虫生物学
重点实验室, 杭州 310058)

摘要: 外来蚂蚁入侵可对当地蚂蚁群落产生影响, 同时一些本地蚂蚁能对外来蚂蚁的定殖和扩张起到抑制作用。研究红火蚁治理之后本地蚂蚁群落的发生动态, 不仅是认识红火蚁入侵生态影响、评价防控措施生态风险的需要, 而且可为利用本地蚂蚁抑制红火蚁提供参考。为此, 2019—2022年, 作者选择浙江龙游、金华等地红火蚁重发生区域, 对治理之后本地蚂蚁的发生动态开展了系统调查。在龙游, 调查涉及林地、荒草地、绿化带、田埂等不同生境, 累计投饵3100多个, 诱到本地蚂蚁14万余头, 隶属3亚科8属10种。总体而言, 本地蚂蚁物种多样性与丰富度在不同生境之间无明显差异, 但大都有明显的季节性变化, 以8~9月份相对较高, 此后下降。治理后许多生境中首先出现的蚂蚁为中华小家蚁*Monomorium chinense* Santschi和无毛凹鼻蚁*Ochetellus glaber* Mayr; 随着时间推进, 许多本地蚁的数量出现明显波动, 诱得无毛凹鼻蚁的比例大幅下降, 而中华小家蚁的发现概率一直维持在较高水平, 尤其是绿化带的草皮中。不同生境中有不同的蚂蚁优势种, 在长有小乔木、灌木且杂草丛生的林地中以布氏尼氏蚁*Nylanderia bourbonica* Forel和无毛凹鼻蚁为优势种, 且含有其他生境中未发现的种类。在荒草地, 扁平虹鼻蚁*Iridomyrmex anceps* Roger是治理之后最早出现的种类, 而且此后成为该生境中的优势种。在田埂上, 本地蚁的种类相对较少, 以布氏尼氏蚁和草地铺道蚁*Tetramorium caespitum* L.为主。由此可见, 扁平虹鼻蚁、中华小家蚁和布氏尼氏蚁在红火蚁治理之后占有数量优势。为此, 我们于室内进一步观察了它们遇到红火蚁时所采取的竞争策略: 扁平虹鼻蚁快速离开从而避免与红火蚁接触, 红火蚁则抬起腹部呈防御姿势; 中华小家蚁会攻击红火蚁, 而红火蚁选择避免与其接触; 布氏尼氏蚁则采取攻击行为。在金华调查发现, 中华小家蚁和布氏尼氏蚁是出现于红火蚁活动边缘地带的主要种类, 治理后不久, 两者即在红火蚁原有蚁巢附近快速建立种群。表明中华小家蚁和布氏尼氏蚁对红火蚁具一定竞争能力, 可考虑在红火蚁防控中加以利用。

关键词: 红火蚁; 本地蚂蚁群落; 生境; 发生动态; 竞争

*基金项目: 浙江省科学技术厅重点研发计划(2023C02025)

**通讯作者, E-mail: mxjiang@zju.edu.cn

重大入侵生物红棕象甲幼虫体外挥发物的组分及免疫效能分析*

蒲宇辰^{1,2} 丁灿辉¹ 郑宗炜¹ 侯有明^{2**}

(1. 闽南师范大学生物科学与技术学院, 闽台特色园林植物福建省高校重点实验室, 福建漳州 363000; 2. 福建农林大学植物保护学院, 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 生物农药与化学生物学教育部重点实验室, 福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002)

摘要: 【目的】红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* 是入侵我国南方的一种重大检疫性林业有害生物, 对棕榈科园林植物造成毁灭性的危害。探讨该虫的虫体挥发物对病原菌的抑制效果, 有助于深入了解红棕象甲的体外免疫防御策略及种群的适应性变异机制, 并为开发基于免疫调控的害虫防治新技术提供指导。【方法】采用固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术 (SPME-GC-MS) 提取红棕象甲幼虫的体外挥发物, 定性和定量分析鉴定其中各种化学成分及含量, 同时观察虫体释放的挥发物对病原微生物金龟子绿僵菌的孢子萌发的抑制情况。进而通过比较不同龄期幼虫体外挥发物成分、含量、抑菌活性等方面的差异, 筛选出可能发挥体外免疫作用的活性物质, 并使用孢子萌发法和牛津杯法分别测定化合物纯品对真菌和细菌的抑制活性。【结果】红棕象甲幼虫体外挥发物是由醇、酚、醌、醛、酸、萜、酮、酯、烷烃、吡啶和芳香烃等化合物组成的混合物。其中, 5、7、9、11 龄幼虫分别鉴定出 37、38、37 和 35 种挥发物成分, 共有成分有正壬醇、2-苯乙醇、4-乙基愈创木酚、愈创木酚、4-乙基苯酚、苯乙醛、己醛、苯甲醛、癸醛、 α -蒎烯等。与 5 龄幼虫相比, 7、9 和 11 龄幼虫释放的挥发物的总峰面积分别显著增加了 0.97、4.15 和 3.83 倍, 而它们对金龟子绿僵菌的孢子萌发率分别显著下降了 45.01%、82.91%和 85.86%。在这些挥发物组分中, 2-苯乙醇、正壬醇和 4-乙基愈创木酚不仅能够显著抑制金龟子绿僵菌孢子的萌发, 而且 0.1 g/mL 的标准品也显著抑制细菌的生长, 它们对大肠杆菌的平均抑菌圈直径分别为 29.86、8.97 和 33.17 mm, 对金黄色葡萄球菌的平均抑菌圈直径分别为 29.18、17.69 和 36.86 mm。【结论】红棕象甲幼虫的体外挥发物具有免疫效能, 因此在该虫抵御病原菌侵染的过程中扮演着重要的角色。这些挥发物的组分种类多样, 相对含量差异较大, 而 2-苯乙醇、正壬醇和 4-乙基愈创木酚皆为发挥体外免疫功能的活性成分。

关键词: 红棕象甲, 病原菌, 虫体挥发物, 体外免疫, 抑菌效能

*基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32102203); 福建省自然科学基金面上项目 (2021J01994); 闽南师范大学校长基金项目 (KJ2020018)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

害虫防治新策略——携带显性不育归巢驱动基因的昆虫释放系统

陈为哲 郭家良 刘亦然 Jackson Champer

(北京大学生命科学学院, 北大-清华生命科学联合中心, 北京 100084)

摘要: 基因驱动技术在害虫防治方面有巨大应用前景, 其原理是驱动等位基因通过超孟德尔遗传实现在种群中传播。基于 CRISPR 的归巢基因驱动是目前最被广泛研究的一种基因驱动系统, 其通过在驱动基因杂合子生殖细胞系中发生 CRISPR 切割、同源定向修复, 将野生型等位基因转化为驱动等位基因完成“归巢”, 实现超孟德尔遗传。在本研究中, 我们设计了基于 3-gRNA CRISPR 的归巢基因驱动系统, 靶向黑腹果蝇性别决定基因 *doublesex* 的雌性特异性外显子, 并发现携带被破坏的 *doublesex* 基因 (包括同源定向修复插入驱动元件的驱动等位基因和末端连接修复形成的抗 Cas9 等位基因) 的雌性果蝇会出现雄性表型和显性不育。这可能是由于 *doublesex* 雌性特异性剪接识别位点被破坏, 错误剪接形成雄性转录本, 引起雌性果蝇性别发育紊乱。但在雄性果蝇中, 驱动元件的插入不影响 *doublesex* 的剪接和功能, 且驱动元件可在其生殖系细胞中发生归巢, 实现超孟德尔遗传。基于此, 本研究提出了一种新的害虫种群抑制系统“携带显性不育归巢基因驱动的昆虫释放 (RIDD) 策略”。该系统通过持续向野生种群释放携带靶向 *doublesex* 的驱动基因的雄性果蝇, 增加种群中驱动等位基因频率, 逐渐使种群中所有雌性携带被破坏的 *doublesex* 基因, 最终雌性不育, 种群崩溃。我们通过笼子实验测试 RIDD 系统, 每周向叠代笼子种群释放携带驱动基因的雄果蝇。实验结果表明, 随着该系统的驱动基因频率逐渐上升至 100%, 雌性不育率在第 29 周达到 100%, 3 周后种群灭绝。由于驱动基因可通过雄性传播, 该系统比目前常用的“携带显性女性致死等位基因的昆虫释放系统 (fsRIDL)”更加高效。本研究提出的 RIDD 系统结合了归巢基因驱动系统和 fsRIDL 系统的优点, 既能高效传播特定基因实现种群抑制又具有地域自限性, 未来可应用于地域针对性害虫防治。

关键词: 害虫防治; 归巢基因驱动; *doublesex* 基因; 黑腹果蝇; 种群抑制; CRISPR

孟氏隐唇瓢虫对几种重要热带作物粉蚧的捕食能力观察*

杨书美^{1,2} 王春燕¹ 符诃顺¹ 朱俊洪^{**} 张方平^{2**}

(1. 海南大学植物保护学院/热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海口 570228;
2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/海南省热带作物病虫害生物防治工程技术研究中心/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海口 571101)

摘要: 【目的】在观察孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant 对木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus* Williams & Granara de Willink、大洋臀纹粉蚧 *Pseudococcus minor* Maskell、柑橘臀纹粉蚧 *Planococcus citri* Risso 等几种重要粉蚧捕食量的基础上, 明确该瓢虫对几种重要热带作物粉蚧的控害能力。【方法】通过室内观察孟氏隐唇瓢虫的 1~4 龄幼虫及成虫分别对大洋臀纹粉蚧、木瓜秀粉蚧和柑橘臀纹粉蚧的 1~3 龄若虫及成虫的日捕食量, 比较该瓢虫对几种粉蚧的控害能力。【结果】孟氏隐唇瓢虫对供试的 3 种粉蚧均表现出捕食行为; 孟氏隐唇瓢虫 1 龄幼虫能捕食上述 3 种粉蚧的 1 龄若虫、2 龄若虫, 2 龄瓢虫能捕食粉蚧的 1~3 龄若虫; 瓢虫捕食的能力为成虫>4 龄幼虫>3 龄幼虫>2 龄幼虫>1 龄幼虫; 同一龄期瓢虫对不同龄期粉蚧的捕食量为 1 龄粉蚧若虫>2 龄粉蚧若虫>3 龄粉蚧若虫>粉蚧成虫。【结论】孟氏隐唇瓢虫对木瓜秀粉蚧、大洋臀纹粉蚧、柑橘臀纹粉蚧等 3 种重要热带作物粉蚧有较强的控害能力, 生产上可应用该瓢虫对上述 3 种粉蚧进行生物治理。

关键词: 孟氏隐唇瓢虫; 粉蚧; 捕食能力; 热带作物

*基金项目: 海南省重点研发项目 (ZDYF2023XDNY085); 海南省自然科学基金项目 (321RC623, 321RC458); 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-33-GW-BC2)

**通讯作者, E-mail: 朱俊洪 junhonz@163.com; 张方平 fangpingz97@163.com

短时高温对果蝇锤角细蜂寄生能力的影响^{*}

陈 强^{1#} 田 焱^{1#} 钱贵珍¹ 张金龙¹ 陈国华^{1**} 张晓明^{1**}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

摘要:【目的】果蝇锤角细蜂是斑翅果蝇的重要寄生性天敌, 为明确短时高温对果蝇锤角细蜂寄生能力的影响。【方法】本研究在室内条件下(光周期 L: D=14: 10, 湿度 $60 \pm 10\%$), 设置了 5 个温度处理水平, 分别为 27℃(对照)、29℃、31℃、33℃和 35℃, 记录果蝇锤角细蜂在不同温度下处理 12 h 后的寄生量, 通过 Holling II 功能反应模型、搜寻效应模型和 Hassell-Varley 模型拟合果蝇锤角细蜂的寄生功能反应、搜寻效应和自身密度干扰效应。【结果】不同温度处理下果蝇锤角细蜂的寄生功能反应均符合 Holling II 型功能反应, 同一温度处理下, 寄生蜂的寄生量随寄主密度增加而增加, 但当寄主密度达到一定数量后, 寄生量趋于平缓; 短时高温处理后, 寄生蜂的瞬时攻击率随温度升高而减小, 均小于 27℃; 寄生蜂的处理时间也随温度升高而延长, 均长于 27℃; 短时高温处理下, 果蝇锤角细蜂的搜寻效应均低于 27℃, 且随着温度升高其搜寻效应降低; 寄生蜂的自身密度干扰效应也受温度影响, 随着处理温度升高, 其干扰系数变大, 搜寻常数变小。【结论】短时高温处理下果蝇锤角细蜂的寄生功能反应模型符合 Holling II 型, 与 27℃处理相比, 短时高温处理后寄生蜂的瞬时攻击率变小, 寄生蜂的处理时间延长, 随着温度升高, 寄生蜂的搜寻效应降低, 种内个体间的相互干扰也增大。

关键词: 果蝇锤角细蜂; 斑翅果蝇; 生物防治; 寄生功能反应; 搜寻效应

^{*}基金项目: 云南省基础研究专项农业联合重点项目(202101BD070001-015); 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目(202105AC160071); “云南省高层次人才培养支持计划”青年拔尖人才专项(YNWRQNBJ2020291)

[#] 共同第一作者, E-mail: cqsgchenqiang@qq.com; tianyelee@126.com

^{**} 通讯作者, E-mail: chenghkm@126.com; zxmalex@126.com

马六甲肉食螨在不同氮气浓度下的生长发育及锻炼研究*

王士博^{1,2} 薛丁榕¹ 伍 祎^{1,2**}

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 粮食储运国家工程研究中心, 北京 100037;

2. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093)

摘要: 在储粮害虫防治中, 马六甲肉食螨 *Cheyletus malaccensis* (Oudemans) 是一种生态长效的天敌防治技术, 氮气气调是一种快速高效的物理防控技术, 为了结合两种防控技术的优势, 本研究探索马六甲肉食螨与氮气气调联合防治储粮害虫的可行性。本文在氮气浓度分别为 90%、95%和 98%条件下, 以烟草甲 *Lasioderma serricorne* (Fabricius) 卵为猎物, 进行为期 30 d 的马六甲肉食螨的耐受试验, 观察不同氮气浓度下马六甲肉食螨的存活、捕食及繁殖情况。结果表明, 98%氮气浓度下, 18 h 时马六甲肉食螨的死亡率为 100%。浓度 95%氮气浓度下, 30 d 时马六甲肉食螨的死亡率为 46.66 % , 单头平均捕食量为 37 粒, 单头平均产卵量为 6 粒, 卵的平均孵化率为 4.7 % , 马六甲肉食螨能建立小规模种群; 而 90%氮气浓度下, 30 d 时马六甲肉食螨的死亡率为 13%, 单头平均捕食量为 32 粒, 单头平均产卵量为 13 粒, 卵的平均孵化率为 77 % , 马六甲肉食螨能正常建立种群。为了提高马六甲肉食螨在逆境下的控害能力, 进一步探索马六甲肉食螨在高浓度氮气下的锻炼研究。在氮气浓度 98%条件下, 对马六甲肉食螨进行 2 h/d 的氮气胁迫锻炼。30 d 后, 98 %氮气浓度下处理 3 h, 对照组的死亡率达到 56%, 锻炼组为 22%; 对照组在 18 h 时全部死亡, 锻炼组在 24 h 时死亡率达到 100%。且 6-18 h 内对照组与实验组死亡率总趋势差异范围约为 10%。总之, 马六甲肉食螨在 98 %的高浓度氮气下难以存活, 但在 90%~95%的抑虫浓度下, 部分马六甲肉食螨可以完成生活史, 建立一定规模的种群, 并具备一定捕食能力; 同时通过高浓度氮气的锻炼和驯化, 马六甲肉食螨可以建立氮气耐受品系并具有与氮气气调联合应用的可行性。

关键词: 马六甲肉食螨; 氮气气调; 联合防治; 种群增长; 逆境锻炼

*基金项目: 国家粮食和物资储备局科学研究院自主选题 (JY2308, ZX2201)

**通讯作者, E-mail: wuyi@ags.ac.cn

斜纹夜蛾侧沟茧蜂对两种新寄主的适应性评价*

林柳滢^{1,2,3} 王亚如^{1,2,3} 黄鹭泉^{1,2,3} 高 鸽^{1,2,3} 蔡香云^{1,2,3} 侯有明^{1,2,3**}

- (1. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福建农林大学, 福州 350002;
2. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福建农林大学, 福州 350002;
3. 福建农林大学植物保护学院, 福建农林大学, 福州 350002)

摘要: 为研究斜纹夜蛾侧沟茧蜂 *Microplitis prodeniae* Rao and Kurian 在草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 和粘虫 *Mythimna separata* 这两种新寄主中的适应能力和选择偏好性, 初步探索斜纹夜蛾侧沟茧蜂应用于这两种害虫生物防治的可行性, 本研究构建了草地贪夜蛾品系的斜纹夜蛾侧沟茧蜂 SfMp 和粘虫品系的斜纹夜蛾侧沟茧蜂 MsMp, 采用选择性和非选择性 2 种实验方法, 比较寄生率、结茧率、羽化率和发育历期等方面的差异。结果显示, SfMp 对 2 龄和 3 龄草地贪夜蛾的寄生率较高, 分别为 24.76% 和 24.45%; MsMp 对不同龄期粘虫的寄生率较为相似, 仅 2 龄的寄生率偏高, 为 19.94%; 斜纹夜蛾侧沟茧蜂在寄生 1 龄、2 龄寄主时, 对两种寄主均未表现出明显的选择偏好性, 而在寄生 3 龄寄主时, 对草地贪夜蛾有明显的选择偏好性; SfMp 在草地贪夜蛾上的寄生率、结茧率和羽化率均显著高于粘虫, 且在草地贪夜蛾体内的发育历期比在粘虫体内短 0.88 ± 0.22 d; MsMp 在两种寄主上的寄生率、结茧率和羽化率大致相同, 而在草地贪夜蛾体内的发育历期比在粘虫体内短 0.45 ± 0.08 d; MsMp 的体长和后足胫节长均比 SfMp 的长。综上所述, 2 龄、3 龄的草地贪夜蛾和 2 龄粘虫繁育斜纹夜蛾侧沟茧蜂的效果较好; 斜纹夜蛾侧沟茧蜂在寄生 3 龄寄主时, 表现出对草地贪夜蛾有明显的选择偏好性; SfMp 对草地贪夜蛾的适应性较好, 而 MsMp 对两种寄主均有较好的适应性; 与 SfMp 相比, MsMp 的体型更大。本研究可为未来有效开发斜纹夜蛾侧沟茧蜂防治草地贪夜蛾和粘虫的生物防治技术提供理论依据。

关键词: 斜纹夜蛾侧沟茧蜂; 草地贪夜蛾; 粘虫; 适应性

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601405); 福建省科技重大专项 (2017NZ0003-1-6)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

三种赤眼蜂在番茄潜叶蛾上的生长发育和繁殖特性及控害潜能评价*

蒋正雄 陈 恒 王杨颖 周顺文 孙 英 陈国华 张晓明**

(1.云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

摘要: 番茄潜叶蛾作为我国的重大恶性外来入侵物种, 对本地番茄产业造成了巨大的损失。而明确我国常见的三种赤眼蜂, 即玉米螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂、松毛虫赤眼蜂对番茄潜叶蛾的寄生能力及生长发育、繁殖, 可为我国番茄潜叶蛾的生物防控提供基础。因此, 本研究在实验室条件下利用两性生命表、功能反应方程分析三种赤眼蜂对番茄潜叶蛾卵的寄生能力, 进而筛选出最有效的卵寄生蜂种类。结果表明, 寄生番茄潜叶蛾后的三种赤眼蜂中, 玉米螟赤眼蜂雌成虫和雄成虫的寿命均显著高于其他两种赤眼蜂, 且玉米螟赤眼蜂净生殖率(R_0)、总繁殖率(GRR)、内禀增长率(r)、周增长率(λ)均为最高, 相反, 松毛虫赤眼蜂最低。在理想状态下, 种群基数为 10 粒卵的玉米螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂、松毛虫赤眼蜂可分别繁殖生产 10049.28、5516.15、1964.90 个后代。此外, 三种赤眼蜂均符合 Holling II 型, 且玉米螟赤眼蜂的寄生量 (25 粒/皿: 18.600 粒)、处理猎物时间 (0.012 d)、控害效能 (84.833)、日寄生上限 (83.333 粒) 和搜寻效应均表明其对番茄潜叶蛾的寄生能力强于螟黄赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂。玉米螟赤眼蜂或可作为我国防治番茄潜叶蛾的优势寄生蜂之一。

关键词: 番茄潜叶蛾; 赤眼蜂; 两性生命表; 捕食功能; 搜寻效应

*基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1400200); 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目 (202105AC160071); “云南省高层次人才培养支持计划”青年拔尖人才专项 (YNWRQNB2020291)

**通讯作者, E-mail: zxmalex@163.com

不同猎物对马六甲肉食螨生物学特性及捕食作用的影响*

韩银彪^{1,2} 薛丁榕¹ 伍 祎^{1,2**}

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 粮食储运国家工程研究中心, 北京 100037; 2. 河南工业大学粮食和物资储备学院, 粮食储藏安全河南省协同创新中心, 郑州 450001)

摘要: 采用天敌捕食螨控制储粮物害虫是一项具有重要意义的绿色储粮技术, 为明确马六甲肉食螨以椭圆食粉螨、甜果螨、烟草甲卵、谷蠹卵及长角扁谷盗卵 5 种猎物为食的适应性, 本实验以构建生命表和捕食功能反应的方式来评价马六甲肉食螨对 5 种猎物的控害能力。结果表明, 以 5 种不同猎物为食的马六甲肉食螨的体态颜色、发育历期、存活率、寿命及繁殖能力等生物学指标存在差异, 除长角扁谷盗卵组以外, 其他猎物为食的马六甲肉食螨均能完成世代发育; 成螨前的发育时间依次为: 谷蠹卵组 15.81 d、长角扁谷盗卵组 15.06 d、椭圆食粉螨组 13.18 d、烟草甲卵组 12.94 d、甜果螨组 11.67 d; 马六甲肉食螨产卵期前 10 d 内的产卵量依次为甜果螨组 166.67 粒、烟草甲卵组 133.50 粒、椭圆食粉螨组 112.74 粒、长角扁谷盗卵组 39.70 粒、谷蠹卵组 36.73 粒; 表明马六甲肉食螨能够以甜果螨、烟草甲卵及椭圆食粉螨作为替代猎物实现扩繁。此外, 针对甜果螨、烟草甲卵及谷蠹卵 3 种适应性较强的猎物, 在实验室条件下测定马六甲肉食螨雌成螨对 3 种猎物的捕食功能反应和搜寻能力。结果显示, 马六甲肉食螨雌成螨对 3 种猎物的捕食功能反应均符合 Holling II 型圆盘方程; 马六甲肉食螨雌成螨对甜果螨、烟草甲卵及谷蠹卵的日最大捕食量分别为 26.31 头、19.23 粒、6.80 粒, 瞬间攻击率分别为 1.20、0.93、1.04, 处理时间分别为 0.04、0.05、0.15 d, 控害效能分别为 31.66、17.94、7.08。表明马六甲肉食螨雌成螨对甜果螨、烟草甲卵及谷蠹卵均具有控害能力, 但对不同猎物的控害效能差异较大。本研究明确 5 种不同猎物对马六甲肉食螨的生长发育及繁殖的影响, 评价了马六甲肉食螨雌成螨对 3 种猎物的防治潜力。为进一步实现马六甲肉食螨规模化扩繁和有效的防治方案提供理论参考。

关键词: 马六甲肉食螨; 年龄-阶段两性生命表; 生物防治; 功能反应; 天敌猎物

*基金项目: 国家粮食和物资储备局科学研究院自主选题 (JY2308, ZX2201)

**通讯作者: E-mail: wuyi@ags.ac.cn

低频超声辅助苏云金芽孢杆菌发酵提高伴孢晶体蛋白产量的研究^{*}

沈凯慧 崔素芬^{**} 葛葭葭 刘文卓 王一戎 鲁玉杰

(江苏科技大学粮食学院, 江苏镇江, 212100)

摘要:【目的】苏云金芽孢杆菌 (*Bacillus thuringiensis*, 简称 Bt) 作为一种生物杀虫剂在害虫防治领域中被广泛应用, 其主要有效成分是伴孢晶体蛋白。因此, 提高 Bt 伴孢晶体蛋白的产量对于促进这种生物杀虫剂的有效应用具有重要意义。【方法】通过研究不同参数条件下低频超声对 Bt 生物量及其伴孢晶体蛋白产量的影响; 利用现代分析手段如 SEM、TEM、CLSM、HPLC/MS 等对 Bt、伴孢晶体蛋白结构、发酵产物进行分析; 同时, 以玉米象、绿豆象为对象, 研究 Bt 伴孢晶体蛋白的生物学毒性。【结果】获得最优超声处理条件: 处理阶段为对数生长期 (8 h), 超声温度为 37 °C、超声频率为 40 kHz、超声功率为 176 W, 连续超声 45 min。经此超声条件处理后, 继续培养至 26 h 时, Bt 培养液的 OD₆₀₀ 值和伴孢晶体蛋白产量显著提高, 分别提高了 9.6% 和 58.3%; Bt 细胞膜通透性增加, 芽孢萌发率提高; Bt 菌体变长, 繁殖能力提高, 生存时间延长; 伴孢晶体产量提高、粒径增加。经过超声处理后, Bt 代谢产物发生改变, 一些代谢物如肌醇、乌头酸等含量降低, 而另一些代谢物如柠檬酸、缬草酸、白藜芦酸、肉桂酸、谷氨酸等含量升高。经过超声处理后, Bt 伴孢晶体蛋白对玉米象、绿豆象表现出较好的防治效果, 且其杀虫效果与施药浓度成正比。当伴孢晶体含量为 30 mg/g, 处理时间为 10 d, 玉米象、绿豆象的死亡率接近 100%。【结论】根据低频超声对 Bt 代谢、繁殖以及伴孢晶体蛋白特性的研究, 可以看出, 低频超声能够明显增强 Bt 代谢及繁殖能力, 提高目标产物伴孢晶体蛋白的产量, 而且伴孢晶体蛋白防虫效果较好; 实验过程简单、易操作, 绿色无污染。该研究可以为 Bt 工程菌改造与应用提供线索与依据。

关键词: 低频超声; 苏云金芽孢杆菌; 伴孢晶体蛋白; 结构表征; 生物杀虫剂

^{*}基金项目: 国家自然科学基金项目(32202294)

^{**}通讯作者, E-mail: sufен18@just.edu.cn.

红棕象甲致病性株的分离鉴定*

钟宝珠 吕朝军** 李文莲 李朝绪 陈 拓

(中国热带农业科学院椰子研究所/国家热带棕榈种质资源圃, 海南文昌 571339)

摘要: 【目的】红棕象甲 *Rhyncophorus ferrugineus* Olivier 原产于南亚和美拉尼西亚, 是国际上重要的检疫性害虫, 具有危害性大、致死性高、危害前期难发现等特点。为筛选有效的红棕象甲生物防治资源, 本实验分离鉴定了一株对红棕象甲具有较高致病力的菌株, 研究结果为红棕象甲生物防治资源的选择和生物防治技术的制定提供参考。【方法】从患病的黄粉虫蛹上分离的 1 个菌株进行了划线培养, 纯化后的菌株命名为 HJ-01。采用室内生物测定的方法对红棕象甲幼虫进行致病性测定; 并对菌株 HJ-01 的形态学、生理生化特性和 16S rDNA 的同源性进行鉴定。【结果】结果表明, 采用 HJ-01 菌株的 1.0×10^8 cfu/mL 菌悬液处理红棕象甲幼虫可杀死 82.22% 的个体。接种后红棕象甲幼虫后行动迟缓、食欲减退, 逐渐死亡, 随后虫体变红变软, 随着时间的延长, 虫体腐烂流出红色液体。该菌株在基础培养基上培养 24 h 开始产生红色素, 菌落凸起, 呈鲜红色, 湿润且粘稠, 中心不透明, 边缘不规则, 且有臭味; 在显微镜下观察, 菌体短杆状, 具鞭毛, 大小为 $(1.2 \sim 1.8) \mu\text{m} \times (1.0 \sim 1.2) \mu\text{m}$ 。经生理生化特性鉴定该菌为粘质沙雷氏菌。通过提取该菌株的基因组 DNA, 扩增该菌的 16S rDNA 后得到的序列长度为 1 445 bp, 与粘质沙雷氏菌的序列相似度为 99.72%, 经系统进化树分析, 进一步确定菌株 HJ-01 为粘质沙雷氏菌 *Serratia marcescens*。【结论】本实验所分离的菌株经生物学、生理生化特性和分子鉴定确认为粘质沙雷氏菌, 该菌对红棕象甲幼虫具有一定的致病力。

关键词: 粘质沙雷氏菌; 16S rDNA; 灵菌红素; 红棕象甲; 生物防治

*基金项目: 海南省重大科技计划项目 (zdkj201817)

**通讯作者, E-mail: lcj5783@126.com

苏云金芽孢杆菌致敏红棕象甲对其生殖的影响及潜在机理*

李鹏举^{1,2} 张 鹤^{1,2} 彭 露^{1,2**} 侯有明^{1,2**}

(1.闽台作物害虫生态防治国家重点实验室; 2.福建农林大学福建省昆虫生态重点实验室,
福州, 350002)

摘要: 【目的】红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier 是一种严重危害我国棕榈科植物的高危性入侵检疫害虫。前期研究发现红棕象甲对苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 存在特异性致敏现象, 而其中免疫代价与生殖权衡机理尚不明确。【方法】通过生理指标的测定探索了 Bt 致敏红棕象甲对其生殖的影响, 从激素调控的角度利用生理生化及分子生物学研究方法探索了 Bt 致敏影响红棕象甲生殖的潜在机理。【结果】用热杀死 Bt 对雌虫进行致敏后的 1 d, 相较于 PBS 处理产卵量下降 36.3%, 随后差异逐渐增大; Bt 致敏 1 d 后卵巢 Vg 蛋白含量下降 18.5%, 卵巢保幼激素含量下降 57.2%, 而蜕皮激素和胰岛素含量未出现显著性差异变化。保幼激素合成通路基因 *JHAMT* 表达量显著下调 56.8%。Bt 致敏使卵巢 Vg 基因表达量显著下降, 且对 *JHAMT* 进行 RNA 干扰后, Vg 表达量也显著下调 53.0%。【结论】Bt 致敏红棕象甲能降低雌虫的生殖力, 从而产生免疫-生殖权衡, 该调控机理可能涉及保幼激素介导的生殖过程。

关键词: 红棕象甲; Bt 致敏; 免疫代价; 保幼激素; 生殖权衡

*基金项目: 国家自然科学基金 (U1705223, 31872033)

**通讯作者, E-mail: 彭露 penglu819@fafu.edu.cn; 侯有明 ymhou@fafu.edu.cn

昆虫肠道微生物在茶园生产中防治小贯小绿叶蝉（半翅目：叶蝉科）侵扰的作用：综述

赵元琦^{1,2} 宋庆发^{1,2} 宋月华^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001)

摘要: 小贯小绿叶蝉 *Empoasca onukii* Matsuda 为植食性昆虫, 属半翅目叶蝉科, 以刺吸茶树叶片汁液为生, 是茶园生境中常见的经济害虫, 对农业生产和环境脆弱地区生态环境的危害极大, 传统的物理和化学防治仍然是对其防治的主要方法。因此, 制定有害昆虫的管理策略非常重要。近年来的研究表明, 病原真菌与肠道微生物相互作用诱导宿主死亡, 而肠道微生物对宿主具有显著的控制作用。基因组编辑技术的进步也是害虫管理领域的新技术。本文综述了昆虫肠道菌群的多样性、功能和研究方法, 讨论了小贯小绿叶蝉的防治方法以及昆虫肠道微生物在害虫防治中的重要性。与传统的农药和物理防治相比, 以球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 为代表的病原真菌与肠道微生物相互作用, 参与病虫害治理, 对寄主产生生理应激, 符合现代农业绿色发展的新要求, 对生态环境脆弱地区(喀斯特地区)具有明显的保护作用。从这个角度来看, 探索其他病原真菌参于害虫管理, 并充分利用昆虫肠道微生物群的特定特征来实现“以菌治虫”将是一种很有前途的管理策略。

关键词: 昆虫肠道微生物; 小贯小绿叶蝉; 害虫防治; 茶园; 喀斯特地区

转录因子 StuA 乙酰化对球孢白僵菌生防潜能的影响

蔡 青^{1*} 谢甲涛¹ 姜道宏¹ Nemat O. Keyhani²

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 美国佛罗里达大学微生物与细胞科学系, 盖恩斯维尔 FL-32608)

摘要: 球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 是重要的农业害虫生防真菌, 其生物菌剂已被开发并应用于农业害虫的防治, 是我国微生物农药的重要发展对象。分生孢子是白僵菌剂的主要活性成分, 也是白僵菌侵染害虫的基本单元。提高分生孢子的产量和侵染毒力是提升白僵菌剂生防潜能的关键。前期研究通过对球孢白僵菌乙酰化蛋白组的解析, 鉴定到转录因子 StuA 的两个赖氨酸乙酰化位点, 即 K241 和 K272。通过对 StuA 乙酰化位点进行突变, 获得了 StuA 两个位点的正向或负向突变菌株, 并产孢能力和侵染能力进行了测定。结果表明, K241 或 K272 乙酰化状态的失活均导致球孢白僵菌产孢量和杀虫效率大幅下降, 其中 K272 乙酰化的作用较 K241 更为显著。而且, K241 和 K272 乙酰化状态的同时失活, 对菌株产孢和毒力的影响与 K272 单独失活的效果几乎无差异, 显示出 K272 在调控白僵菌产孢和毒力方面的主导作用。总之, 本研究通过对球孢白僵菌转录因子 StuA 乙酰化修饰现象的研究, 明确了 StuA 赖氨酸乙酰化位点 K241 和 K272 在调控该菌产孢和毒力方面的作用, 为白僵菌剂的改良和田间应用提供了理论依据。

关键词: 球孢白僵菌; 转录因子 StuA; 乙酰化; 产孢; 毒力

*通讯作者, E-mail: caiqing@mail.hzau.edu.cn

昆虫病原线虫防治红火蚁的应用方法研究*

汤华涛^{1,2} 吴升晏^{1,2} 侯有明^{1,2**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002;

2. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002)

摘要:【目的】本研究拟筛选有效控制红火蚁的优势昆虫病原线虫物种, 进一步评估利用该线虫侵染制成的虫尸剂(感染 EPNs 的大蜡螟)对红火蚁的控害效果, 从而为红火蚁的有效防控寻找新型且高效的技术方法。【方法】首先, 在室内采用生物学测定法, 对高效防治红火蚁的优势昆虫病原线虫进行筛选; 其次, 通过改进施用方式, 探索对红火蚁高效防治的昆虫病原线虫施用最佳方法。【结果】1) 斯氏线虫 *Steinernema riobrave* 和异小杆线虫 *Heterorhahditis bacteriophora* 两种昆虫病原线虫对红火蚁工蚁致死效果分别达 49% 和 56%; 2) 混合 *S. riobrave* 和 *H. bacteriophora* 的水溶液处理组红火蚁死亡率(80%)显著高于单独施用 *S. riobrave* 水溶液死亡率(20%)或单独使用 *H. bacteriophora* 水溶液死亡率(24%); 3) *S. riobrave* 虫尸剂与 *H. bacteriophora* 虫尸剂与其对应的水溶液处理红火蚁对比, *S. riobrave* 虫尸剂致死效果显著高于其水溶液。【结论】1) *S. riobrave* 和 *H. bacteriophora* 昆虫病原线虫相较于其他线虫对红火蚁防治效果较好; 2) 混合施用 *S. riobrave* 和 *H. bacteriophora* 两种昆虫病原线虫水溶液较单独施用任意一种线虫水溶液控制红火蚁效果更佳; 3) 昆虫病原线虫侵染的虫尸剂对红火蚁的控害效果明显高于昆虫病原线虫水溶液。由此推断, 虫尸剂相较于施用大量水溶液具有节约水资源、保持线虫活性和功效持久的特点, 这使其在红火蚁的防控上具有长远的应用前景与价值, 从而为红火蚁的生物防治提供理论方法和科学依据。

关键词: 红火蚁; 昆虫病原线虫; 虫尸剂; 水溶液

*基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1000503)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

草地贪夜蛾外源共生菌 *Wolbachia* 的筛选、转染及存留效果*

刘 媛^{1,2,3} 张丽娜^{1,2,3} 蔡香云^{1,2,3} 侯有明^{1,2,3**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 生物农药与化学生物学教育部重点实验室, 福州 350002; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002; 3. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福州 350002)

摘要:【目的】实现外源共生菌 *Wolbachia* 在草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 体内的转染、存留, 从而操纵新宿主的生物学效应, 形成新的害虫可持续绿色防控策略。【方法】筛选同受体昆虫亲缘关系较近的外源 *Wolbachia* 供体昆虫, 并利用显微注射将分离、纯化的外源 *Wolbachia* 菌液转染至受体草地贪夜蛾体内, 以检测其转染及存留情况。【结果】优先选择供体昆虫米蛾, 它感染唯一内共生菌 *Wolbachia*, 感染率 100%, 且滴度高, *Wolbachia wsp* 及 MLST (*gatB*、*coxA*、*hcpA*、*ftsZ*、*fbpA*) 系统发育分析显示属于 B 大组 wPip 株系, 序列型 (ST) 为 41。同注射 SPG 缓冲液相比, 外源 *Wolbachia* 菌液 1×10^8 浓度转染至受体草地贪夜蛾体内时, 可显著诱导草地贪夜蛾 Toll 信号通路基因 *SPZ*、*GST*, 模式识别受体基因 *PGRP-Lb_a*、*RhoG17-X2*、*Integrin aPS4-X1*、*Integrin-β1*、*Draper*、*SRCR2*, 抗菌肽基因 *Cecropin F2*、*Lebocin-4_b* 表达量上调。同时发现受体草地贪夜蛾 F0、F1 代均有 *Wolbachia* 的表达, 且 F0、F1 代感染率分别为 100%, 58%, 与供体昆虫米蛾体内的 *Wolbachia* 同源性 100%。【结论】供体昆虫米蛾体内的 *Wolbachia* 可以在受体草地贪夜蛾世代间存留, 该发现可为探索草地贪夜蛾新的防治技术提供策略与思路。

关键词 *Wolbachia*; 草地贪夜蛾; 显微注射; 转染; 存留

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601405; 2017YFC1200605); 福建省科技重大专项 (2017NZ0003-1-6)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

球孢白僵菌 Bb455 对草地贪夜蛾的致病力及互作转录组分析

汪寅昊^{1,2} 吴晨源^{1,2} 胡本进¹ 徐丽娜¹ 胡 飞^{1*} 张 琛^{2*}

(1. 安徽省农业科学院植物保护研究所, 合肥 230000; 2. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230000)

摘要:【目的】草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 是世界粮农组织全球预警的重大农业害虫, 2019 年初确证入侵中国, 并迅速在全国蔓延, 因其具有食性杂、分布广、适应性和迁飞能力强等特点, 给我国农业生产造成巨大威胁。球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 作为一类广谱性昆虫病原真菌, 环境友好且宿主不易产生抗性, 筛选对草地贪夜蛾高致病力的球孢白僵菌菌株并分析其与宿主的互作机制, 有望为进一步开发利用虫生真菌防治草地贪夜蛾提供基础。

【方法】本研究以实验室保存的球孢白僵菌菌株为材料, 依据菌株生物学性状、靶标害虫生物测定筛选获得草地贪夜蛾高效致病菌 Bb455, 进而选用 Bb455 浓度为 1×10^8 个/mL 孢子悬浮液对草地贪夜蛾幼虫进行处理, 以 0.05% Tween-80 水溶液为对照, 处理后 36 h 和 48 h 后收集被感染幼虫, 基于转录组测序技术筛选 Bb455 侵染及致病相关基因和草地贪夜蛾幼虫染菌后的免疫及代谢相关基因, 以期为进一步开发利用球孢白僵菌 Bb455 开展草地贪夜蛾防治提供理论依据。【结果】对 76 株球孢白僵菌进行生物学弹性及致病力测定, 筛选获得高毒力菌株 Bb455, 其半致死浓度为 1.84×10^6 个/mL, 处理 14 d 后最大累计校正死亡率为 71.74%。球孢白僵菌 Bb455 处理后 36 h 组与对照组之间有 3 505 个差异显著基因 (上调 1 902 个, 下调 1 603 个), 处理后 48 h 组与对照组之间有 875 个差异显著基因 (上调 359 个, 下调 516 个)。对差异表达基因进行 Gene Ontology (GO) 功能分类以及富集分析发现, 36 h 和 48 h 差异表达基因均被注释到了代谢过程、细胞过程、催化活性、结构分子活性、转运活性、抗氧化活性等功能上。对差异表达基因进行 KEGG Pathway 分类及富集分析发现, 差异表达基因富集的 KEGG 通路包括: 运输和分解代谢、细胞生长与死亡、信号分子与相互作用、细菌染病、免疫系统等, 这些基因可能在白僵菌侵染草地贪夜蛾的过程中, 参与草地贪夜蛾的相关免疫应答过程。【结论】分析发现抗菌肽、免疫相关蛋白和肽聚糖识别蛋白在寄主免疫应答中起到了重要作用。研究结果为阐明草地贪夜蛾抵御真菌侵染的防御机制和球孢白僵菌对草地贪夜蛾的致病机理奠定基础。

关键词: 草地贪夜蛾; 球孢白僵菌; 防御机制; 转录组

*通讯作者

针对草地贪夜蛾的高毒力 AcMNPV 毒株的连续传代筛选和分子机制解析

靳雯怡 秦启联 郭琳 佟岩 张寰*

(中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 自入侵中国以来, 对我国多地农作物生产造成了巨大的生态和经济损失。杆状病毒作为一类环境友好的生物农药, 在害虫的生物防控中得到了广泛应用。其中, 苜蓿银纹夜蛾核型多角体病毒 *Alphabaculovirus aupalifonicae* (AcMNPV) 作为一种潜在的生物防治剂, 能够感染多种鳞翅目昆虫。然而, 既往的研究发现, AcMNPV 对草地贪夜蛾的口服感染能力较差, 这限制了其在田间防治中的应用。本研究旨在通过连续传代方法筛选出对草地贪夜蛾具有高毒力的 AcMNPV 毒株, 并探索其增强毒力的分子机制。结果显示, 以致死速度为筛选条件, 将 AcMNPV-Wt-Ha (Wt) 在草地贪夜蛾幼虫中连续传代 10 次后, 筛选得到 AcMNPV-ac34Mut-Sf (Mut) 毒株对草地贪夜蛾的致死率显著提高, 且能够更快地致死幼虫。此外, Mut 毒株在产生出芽病毒 (BVs) 时具有更高的产量, 而多角体 (OBs) 的增殖能力与 Wt 毒株相似。进一步的研究发现, Mut 毒株的单个多角体中核衣壳数量增多, 直径也增加。通过对 Mut 毒株进行突变分析, 发现了 ac34 中存在 3 个氨基酸突变位点。进一步构建重组病毒 vAc^{ac34KO}-Ac34(Wt)-EGFP 和 vAc^{ac34KO}-Ac34(Mut)-EGFP, 结果表明 ac34 突变导致了极晚期基因 *p10* 的表达量增加, 并显著提高了病毒 BVs 的增殖能力。这些结果表明 ac34 的突变在 Mut 毒株的毒力增强中起到了关键作用。综上所述, 本研究通过连续传代筛选方法, 成功获得了对草地贪夜蛾具有高毒力的 Mut 毒株, 这一研究成果为应对草地贪夜蛾危害的紧迫需求提供了重要的解决途径。同时揭示了突变的 ac34 在毒力增强中的分子机制, 为杆状病毒毒力演化的分子机制提供了重要的理论基础。

关键词: 草地贪夜蛾; AcMNPV; 跨宿主传播; ac34; 病毒适应性

*通讯作者, E-mail: zhanghuan@ioz.ac.cn

球孢白僵菌与食诱剂对西花蓟马的联合作用

钟绍忆 高玉林 王海鸿*

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要:【目的】西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* Pergande 属缨翅目 *Thysanoptera* 蓟马科 *Thripidae* 是一种重要的世界性害虫, 可通过取食, 产卵和传播病毒等方式为害多种农作物, 随着化学农药的大量使用, 西花蓟马全球抗药性问题已突显, 开发生物防治、理化诱控等绿色防控技术已迫在眉睫。【方法】本研究在温室内测定了食诱剂相对球孢白僵菌接种装置的不同位置对蓟马引诱量和装置周围蓟马侵染量的影响: 利用黄色粘条统计食诱剂与装置的不同距离吸引蓟马的数量; 洗脱法和血球计数板法测定食诱剂与装置不同距离下装置周围西花蓟马的获菌量。测定食诱剂与球孢白僵菌接种装置的不同位置对蓟马在种群中传播真菌分生孢子的影响。【结果】室内结果表明: 添加食诱剂的装置上西花蓟马吸引量均显著高于对照组, 当食诱剂距接种装置 0 cm 时, 接种装置吸引到的蓟马数量最高。装置周围蓟马侵染效果显示: 添加食诱剂的装置周围西花蓟马获菌量均显著高于对照组, 食诱剂距接种装置 10 cm 时, 装置周围植株上蓟马获菌量最高, 且显著高于其他处理。各处理间的蓟马获菌量无显著差别, 同时, 随着时间的延长, 添加食诱剂的接种装置周围植株上蓟马获菌量逐渐增加。食诱剂与球孢白僵菌接种装置结合, 能吸引更多的蓟马接触球孢白僵菌, 利用真菌对蓟马的侵染性和传播潜能, 通过接触到真菌孢子的蓟马将致病真菌传染给其他个体, 实现真菌在蓟马种群中的自动传播。【结论】食诱剂与接种装置内的球孢白僵菌分生孢子联合应用, 提高了西花蓟马对真菌繁殖体(孢子)的接触效率, 球孢白僵菌和食诱剂可建立起“诱集-侵染-传播”系统, 促进了真菌在蓟马群体间自动传播。本研究结果为提供一种高效低成本的西花蓟马绿色防控体系奠定了基础。

关键词: 球孢白僵菌; 食诱剂; 西花蓟马; 接种装置; 吸引量; 获菌量; 绿色防控

*通讯作者, E-mail: hhwang@ippcaas.cn

松墨天牛抗菌肽通过 ERK/MAPK 信号通路诱导松材线虫的氧化应激和生殖缺陷

余璐 张飞萍* 胡霞*

(福建农林大学林学院, 福州 350002)

摘要:【目的】明确人工合成松墨天牛抗菌肽 S-defensin 对松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 的杀线机制, 可为松材线虫的绿色防治提供理论依据。【方法】通过人工合成松墨天牛抗菌肽 S-defensin 处理松材线虫, 观察其死亡率、头部摆动频率、产卵量、种群数量和体内活性氧含量等生理指标, 明确 S-defensin 对松材线虫生理活性的影响; 通过观察 S-defensin 处理松材线虫的扫描电镜和透射电镜图像, 明确 S-defensin 对松材线虫形态结构的影响; 通过分析 S-defensin 处理松材线虫的转录组数据, 找到关键通路和基因, 明确 S-defensin 对松材线虫分子层面的影响; 通过 RNA 干扰, 观察松材线虫死亡率、产卵量、种群数量、取食量和活性氧含量等生理指标, 明确关键基因的功能。【结果】S-defensin 导致线虫死亡, 线虫出现皱缩、孔洞、细胞膜溶解和肌肉萎缩等现象。此外, 线虫的繁殖也受到 S-defensin 的影响, 随着处理浓度的增加, 它的繁殖量以浓度依赖的方式减少。相比之下, 体内的活性氧以浓度依赖的方式增加。我们通过转录组分析了 S-defensin 处理线虫的基因表达的变化, 发现显著富集的 ERK/MAPK 信号通路。利用 RNA 干扰验证了四个关键基因 (*Let-23*、*Let-60*、*Mek-2* 和 *Lin-1*) 在该通路中的功能。结果显示, 这些基因的敲除明显降低了线虫的存活率、繁殖量和取食量, 同时增加了活性氧含量。【结论】抗菌肽 S-defensin 对松材线虫的生存和繁殖有显著的抑制作用, 通过调节 ERK/MAPK 信号通路, 表现为细胞膜损伤和细胞内生物氧化应激。这表明 S-defensin 在松材线虫中存在靶点, 可以针对这个靶点开发新的绿色靶标农药。

关键词: 松材线虫; 抗菌肽; 杀线机制; RNA 干扰; 转录组

*通讯作者

昆虫病原线虫的蛔貳信息素对觅食行为的调控研究*

张 忱^{1,2,3} 吴升晏^{1,2,3} 侯有明^{1,2,3**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 生物农药与化学生物学教育部重点实验室, 福州 350002; 2. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福州 350002; 3. 福建农林大学植物保护学院, 福建省昆虫生态重点实验室, 福州 350002)

摘要:【目的】昆虫病原线虫 (Entomopathogenic nematodes) 是一种在农林牧草、花卉和卫生等领域被广泛使用的害虫防治剂。为提高其在田间应用的效果, 研究昆虫病原线虫的觅食行为及其调控机制十分必要。前期研究结果发现, 混合昆虫病原线虫物种能提升其自身觅食行为。另外, 线虫所分泌的外代谢物中含有一系列传递信号的重要物质, 如蛔貳信息素, 它们能诱导线虫的发育及社会化行为, 而且在觅食行为中或许也发挥着关键作用, 但具体发挥什么作用以及相关分子机制尚不明确。【方法】本研究利用 2 种异小杆线虫属 *Heterorhabditid* 和 5 种斯氏线虫属 *Steinernematid* 线虫的外代谢物, 刺激小卷蛾斯氏线虫 *S. carpocapsae*, 从而探究外代谢物对觅食行为的影响; 其次对 7 种昆虫病原线虫外代谢物中的 8 种蛔貳信息素进行定性和定量分析, 从而确定差异蛔貳信息素; 然后将差异蛔貳信息素进行回补验证。【结果】1) 在斯氏线虫 *S. riobrave* 和异小杆线虫 *H. bacteriophora* 外代谢物的刺激下, *S. carpocapsae* 的寻找寄主效率提高了两倍。同时, *S. riobrave* 的外代谢物显著提高了 *S. carpocapsae* 的扩散能力 (20%)。另外, *H. bacteriophora* 的外代谢物也显著提高了 *S. carpocapsae* 的跳跃能力 (20%)。2) 通过靶向代谢组学发现 *S. riobrave* 和 *S. carpocapsae* 外代谢物中的 Ascr#11、Ascr#12、Ascr#14、Ascr#16 和 Ascr#18 的含量存在差异; 而 *H. bacteriophora* 和 *S. carpocapsae* 外代谢物中的 Ascr#9、Ascr#12、Ascr#14 和 Ascr#16 的含量存在差异。3) 不同浓度梯度的单一蛔貳信息素对 *S. carpocapsae* 的觅食行为无明显作用。【结论】不同种类的昆虫病原线虫能通过外代谢物进行交流, 从而影响它们的扩散效率和觅食能力。但是单一蛔貳信息素没有明显效果, 这可能是由于自然环境中蛔貳信息素是在混合的条件下才能发挥作用。

关键词: 昆虫病原线虫; 蛔貳信息素; 觅食行为

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601405); 国家自然科学基金 (32202374); 福建省科技厅 (2021I0006)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

寄主挥发性物质对小卷蛾斯氏线虫觅食策略的机制研究*

唐凡希^{1,2,3} 吴升晏^{1,2,3} 侯有明^{1,2,3**}

(1. 福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002; 2. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福州 350002; 3. 福建农林大学植物保护学院, 福州, 350002)

摘要:【目的】昆虫病原线虫 (Entomopathogenic nematodes, EPNs) 是昆虫的专性寄生天敌, 主要包括斯氏线虫属 *Steinernematid* 和异小杆线虫属 *Heterorhabditid*, 可应用于害虫可持续治理。EPNs 寄生昆虫受到多种因素的影响, 而其中它的觅食策略 (即搜寻寄主的方式) 是重要因素之一。不同觅食策略的 EPNs 对寄主昆虫有不同的偏好。因此, 选择适宜的 EPN 物种用于防治相关农业害虫具有十分重要的意义。前人研究指出, EPNs 采取的觅食策略可能会受到寄主产生的挥发性物质的影响而有所改变。然而, 是哪些相关的化合物导致的, 以及其背后影响的机制, 这一答案尚不清楚。本研究旨在探究寄主产生的挥发性物质对小卷蛾斯氏线虫 *S. carpocapsae* 觅食策略的影响。【方法】通过顶空固相微萃取 (HS-SPME) 与气相质谱联用 (GC-MS) 技术对红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* 幼虫产生的挥发性物质进行分析, 结合文献筛选出候选物质; 其次, 设计实验探究候选物质对 *S. carpocapsae* 觅食策略的影响。随后我们将进一步分析 BHT 对 *S. carpocapsae* 的扩散、移动等方面能力的影响。同时, 从基因层面探究导致 *S. carpocapsae* 觅食行为发生改变的原因。【结果】1) 红棕象甲幼虫能产生较高的 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚 (2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol, BHT)。通过生物学测试, 移动受限制的大蜡螟 *Galleria mellonella* 在 200、20、2、0.2、0.02 ng BHT 的处理下, 与对照组相比, 200 ng BHT 处理的大蜡螟身上得到的 *S. carpocapsae* 数量是对照组的两倍 ($P = 0.02$), 说明 200 ng BHT 能显著诱导 *S. carpocapsae* 发现该移动受限制的寄主。2) 不同浓度的 BHT 均可增强 *S. carpocapsae* 的跳跃能力。【结论】BHT 可能具备调控 *S. carpocapsae* 觅食策略的潜力。本研究成果将有助于扩大 EPNs 的寄主范围, 为害虫防治技术提供新的思路。

关键词: 寄主挥发物; 小卷蛾斯氏线虫; 觅食行为

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601405); 国家自然科学基金 (32202374); 福建省科技厅 (2021I0006)

**通讯作者, E-mail: ymhou@fafu.edu.cn

两种寄主植物对淡足侧沟茧蜂的引诱作用及挥发物成分分析*

张彤瑶^{1,3} 蒋杰贤³ 张 浩³ 王金彦³ 尤春梅³ 陈义娟^{2,3**} 季香云^{3**}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海润庄农业科技有限公司, 上海, 201403; 3. 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403)

摘要: 挥发性物质是调控植物-害虫-天敌昆虫相互作用关系的重要通讯物质。为了更好的了解寄主植物和甜菜夜蛾幼虫对淡足侧沟茧蜂趋向行为的影响, 本文选用玉米和苋菜两种寄主植物, 采用“Y”型嗅觉仪测定了淡足侧沟茧蜂雌蜂对正常植物和幼虫-植物复合体的行为反应, 并对其释放的挥发性物质进行了 GC-MS 分析与鉴定。结果表明, 正常的玉米和苋菜对淡足侧沟茧蜂雌蜂无明显引诱作用, 而幼虫-玉米复合体和幼虫-苋菜复合体均有显著的吸引作用, 并且相对于幼虫-苋菜复合体, 幼虫-玉米复合体对该寄生蜂的引诱作用更强。GC-MS 检测结果显示在正常玉米中含有 22 种化合物, 主要为烷烃和芳香烃类化合物; 幼虫-玉米复合体中有 31 种化合物, 以烷烃和醇类化合物为主; 在正常苋菜检测到的 16 种化合物中烷烃类化合物含量最高, 约占 54.75%; 而幼虫-苋菜复合体中含有 55 种化合物, 其中以烷烃、芳香烃、烯烃、酸类和醛类物质含量相对较高。另外, 与正常植物相比, 顺-3-己烯-1-醇、2-己烯醛、(+)-柠檬烯、 α -石竹烯、DMNT、 α -雪松烯等化合物仅在幼虫-植物复合体中产生或含量明显升高, 其中顺-3-己烯-1-醇在幼虫-玉米复合体中的相对含量急剧增加, 而在幼虫-苋菜复合体中则明显下降。以上结果将为进一步明确寄主植物与害虫及其释放的挥发物调控寄生蜂选择行为的化学通讯机制提供重要数据支撑。

关键词: 玉米; 苋菜; 淡足侧沟茧蜂; 甜菜夜蛾; 引诱作用; GC-MS

*基金项目: 上海市青年科技启明星计划 (21QB1404100); 上海市农业科学院卓越创新团队 (2022 (017))

**通讯作者, E-mail: juanych99@163.com; hwfy2002@163.com

异色瓢虫对草地贪夜蛾性信息素的响应与感受机制*

战一迪 王姣姣 孔晓娜 刘 勇**

(山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

摘要:【目的】寄主或猎物释放的信息素可作为天敌对其栖境定位的化学线索, 捕食性天敌昆虫可利用害虫性信息素对其进行定位捕食。异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 是草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的主要捕食性天敌, 通过明确其对草贪性信息素的行为响应与感受机制, 可为信息素在天敌昆虫对害虫控制中的应用提供新途径。【方法】基于触角电位技术和 Y 型管生物测定试验, 研究了异色瓢虫对草贪性信息素 Z7-12:Ac 和 Z9-14:Ac 2 种成分的电生理和行为反应; 并对已鉴定的异色瓢虫气味结合蛋白 HaxyOBPs 进行了三维建模和分子对接, 由此探究气味分子与 OBPs 的结合机制。【结果】雌性和雄性异色瓢虫对草贪性信息素 Z9-14:Ac 均表现出显著的电生理 (EAG) 和行为反应, 而对 Z7-12:Ac 反应不显著。Z9-14:Ac (0.0001、0.001、0.01 和 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 能够引起雌、雄异色瓢虫显著的 EAG 反应, 其对 0.001、0.01、0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ Z9-14:Ac 具有趋向性。雌、雄异色瓢虫对比例为 1:100 的 Z7-12:Ac 和 Z9-14:Ac 的二元混合物 (0.0001、0.001、0.01 和 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) 均表现出显著的电生理和行为反应, 而在 1:9 的比例下对异色瓢虫的行为无显著影响。异色瓢虫气味结合蛋白 HaxyOBPs 的三维建模和分子对接结果显示, HaxyOBP12 与 Z9-14:Ac 具有良好的亲和力, 而 HaxyOBPs 与 Z7-12:Ac 之间无较好的结合作用。Z9-14:Ac 通过氢键和疏水相互作用与 HaxyOBP12 结合。【结论】异色瓢虫可以感知草贪性信息素 Z9-14:Ac, 并可将其作为定位猎物栖息地的化学线索。我们推测, 在猎物与捕食者长期演化过程中, Z7-12:Ac 可能对异色瓢虫的猎物定位具有一定的拮抗作用, 这也提高了草地贪夜蛾在天敌存在下的种群适应性。

关键词: 信息素; 捕食性天敌; 草地贪夜蛾; 气味结合蛋白; 群体适应性

*基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFE0115600)

**通讯作者, E-mail: liuyong@sdau.edu.cn

椰扁甲啮小蜂毒液器官中的毒液小体的特性分析*

周 焱^{1,2} 陈 沛^{1,2} 孟 娥^{1,2} 侯有明^{1,2} 汤宝珍^{1,2**}

- (1. 福建农林大学, 闽台生物有害生物防控国家重点实验室, 福州 350002;
2. 福建农林大学植物保护学院, 福建省昆虫生态学重点实验室, 福州 350002)

摘要:【目的】椰扁甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* (Ferrière) 可有效防治我国南方棕榈科植物重大入侵害虫水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* (Maulik), 其主要寄生因子为毒液。前期研究表明椰扁甲啮小蜂的主要毒液蛋白 4-香豆酸辅酶 A 连接酶 (*T. brontispae* 4-coumarate: CoA ligase 4, Tb4CL4) 和脑啡肽酶 (*T. brontispae* neprilysin-like, TbNEP) 可以显著抑制寄主铁甲蛹浆血细胞的延展和包裹能力, 但这两种毒液蛋白如何进入寄主血细胞发挥功能仍未知。细胞外囊泡 (extracellular vesicles) 可通过运输不同种类的生物分子, 介导细胞的各种生理和病理过程。本文主要探究椰扁甲啮小蜂毒液器官中是否也存在细胞外囊泡 (毒液器官中特称为毒液小体), 这些毒液小体是否携带主要毒液蛋白。【方法】透射电镜观察毒液器官中的毒液小体, 并通过密度梯度离心法和差速离心法分离提纯毒液小体, 分析其中包含的蛋白成分。【结果】椰扁甲啮小蜂的毒囊中存在两种毒液小体, 一种位于毒囊肌肉层, 呈圆形, 直径为 50 nm 左右, 并集中在一个包涵体结构中, 另一种位于毒囊腔内, 直径为 250~500 nm, 椭圆形或杆状, 核区电子高度致密, 其余为白色低密度区。毒液小体中包含主要毒液蛋白 Tb4CL4 和 TbNEP, 同时还包含其他毒液蛋白。【结论】椰扁甲啮小蜂主要毒液蛋白 Tb4CL4 和 TbNEP 可能通过毒液小体进入寄主血细胞内发挥功能。

关键词: 椰扁甲啮小蜂; 水椰八角铁甲; 毒液小体; 毒液蛋白

*基金项目: 椰扁甲啮小蜂寄生诱导的水椰八角铁甲蛹组织蛋白酶 L 的表达及其对脂肪体的裂解机制 (32072492); 福建省自然科学基金 (2020J01595)

**通讯作者, E-mail: tangbaozhen@fafu.edu.cn