



刘佰明, 王芳, 刘茹, 杨泽众, 白义川, 谷希树. 亚致死剂量溴氰虫酰胺对 MED 烟粉虱取食行为及传播 TYLCV 的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 537–544.

亚致死剂量溴氰虫酰胺对 MED 烟粉虱取食行为及传播 TYLCV 的影响

刘佰明, 王芳, 刘茹, 杨泽众, 白义川, 谷希树*

(天津市农业科学院植物保护研究所, 天津 300384)

摘要: 取食是烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 传播植物病毒最重要的途径之一。本研究利用昆虫刺探电位 (EPG) 技术研究了杀虫剂溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 对携带番茄黄化曲叶病毒 (TYLCV) MED 烟粉虱取食行为和传毒效率的影响。结果表明, 溴氰虫酰胺对未携毒和携毒 MED 烟粉虱的亚致死浓度 (LC_{15}) 分别为 1.52 mg/kg 和 1.75 mg/kg, 差异不显著。携毒烟粉虱在溴氰虫酰胺亚致死浓度处理的番茄苗上取食, 第一次刺探起始时间显著推迟, 是对照番茄苗上的 3.7 倍。在韧皮部取食阶段, 处理组烟粉虱在韧皮部分泌唾液平均时间、吸食汁液总时间和平均时间均显著缩短, 分别是对照组的 0.10 倍、0.14 倍和 0.10 倍, 韧皮部取食能力显著降低。qPCR 试验研究表明, 溴氰虫酰胺亚致死浓度处理极显著的降低了烟粉虱的传毒效率, 携毒烟粉虱取食 48 h 的番茄苗培养 10 d 后, TYLCV 相对含量仍接近于 0, 表明溴氰虫酰胺对烟粉虱传播 TYLCV 具有良好的控制潜力。研究结果为科学合理的使用化学农药防治烟粉虱及其传播的双生病毒病提供理论依据。

关键词: 溴氰虫酰胺; 烟粉虱; 取食行为; 传毒; 亚致死剂量

中图分类号: Q965.9; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 03-0537-08

Effects of sublethal dose cyantraniliprole on feeding behavior and TYLCV transmission of *Bemisia tabaci* MED

LIU Bai-Ming, WANG Fang, LIU Ru, YANG Ze-Zhong, BAI Yi-Chuan, GU Xi-Shu* (Institute of Plant Protection, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China)

Abstract: Feeding is one of the most important way for *Bemisia tabaci* to transmit plant virus. In this study, the effects of sublethal concentration (LC_{15}) of cyantraniliprole on feeding behavior and virus transmission efficiency of *B. tabaci* MED vectored tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) were studied using electrical penetration graph (EPG) techniques. The results indicated that the sublethal concentration (LC_{15}) of cyantraniliprole for non-viruliferous and viruliferous *B. tabaci* was 1.52 mg/kg and 1.75 mg/kg, respectively. There was no significant difference between the two sublethal concentrations. When fed on tomato plants treated with LC_{15} of cyantraniliprole, *B. tabaci* start probing much more delayed, and with 3.7 multiple than on the control plants. In the phloem feeding phase, the mean and total duration of saliva secretion, mean duration of phloem sap ingestion were significant shortened, they were 0.10, 0.14 and 0.10 multiple than control groups respectively. This indicated that phloem feeding ability was significantly decreased. Experiment by qPCR showed that the LC_{15} of

基金项目: 国家自然科学基金 (31772171); 国家重点研发计划支持项目 (2019YFD1002100); 天津市“131”创新型人才团队 (201931); 天津市农业科学院青年创新与实验项目 (201903)

作者简介: 刘佰明, 男, 1979 年生, 博士, 研究员, 主要研究方向为蔬菜害虫防治, E-mail: baimingliu@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 谷希树, 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为农业昆虫, E-mail: gxsh2008@163.com

收稿日期 Received: 2021-03-25; **接受日期** Accepted: 2021-04-27

cyantraniliprole significantly reduced the transmission efficiency of *B. tabaci*. The relative TYLCV load in tomato plants was still close to "0" after 10 d cultivating when feeding by viruliferous *B. tabaci* for 48 h. This indicated that cyantraniliprole showed a perfect control potential for TYLCV. The results will provide theoretical basis to the scientific use of chemical pesticides to control *B. tabaci* and geminivirus disease it's transmitted.

Key words: Cyantraniliprole; *Bemisia tabaci*; feeding behavior; virus transmission; sublethal dose

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是一类全球广泛分布的农业害虫, 至少由 36 个形态上难以区分但具有生殖隔离的隐种组成 (Liu *et al.*, 2012)。为方便, 本文将 B 烟粉虱称作 MEAM1 隐种, Q 烟粉虱称作 MED 隐种。近些年来, 随着 MEAM1 和 MED 烟粉虱相继入侵我国 (Luo *et al.*, 2002; Chu *et al.*, 2006), 给农业生产造成严重的经济损失。烟粉虱为害的寄主多达 600 余种 (Oliveira *et al.*, 2001), 不仅通过直接取食为害, 更是传播 200 多种植物双生病毒 (Hogenhout *et al.*, 2008)。双生病毒是植物病毒中一类最大、最具破坏性的类群, 在热带、亚热带及温带广大地区引发作物病害, 且这类病毒只能有烟粉虱传播 (Moffat, 1999)。其中, 番茄黄化曲叶病毒 (TYLCV) 是一种入侵性的双生病毒, 起源于中东, 于 2006 年在上海首次被发现 (Wu *et al.*, 2006), 随后迅速席卷我国主要的番茄产区 (Pan *et al.*, 2012), 带来巨大的损失。烟粉虱通过取食行为传播双生病毒, 伴随口针在韧皮部分泌唾液和吸食两个关键的取食行为 (Jiang *et al.*, 2000)。病毒粒子随烟粉虱吸食韧皮部汁液进入食道, 穿过中肠进入血淋巴, 再进入唾液腺, 然后随着烟粉虱唾液分泌被注入到寄主植物韧皮部筛管中, 具有持久、循环性, 一旦获毒终生可传 (Czosnek and Ghanim, 2011)。显然, 阻断传毒媒介烟粉虱, 是控制植物病毒病的重要手段。

应用化学杀虫剂是过去 10 年防治烟粉虱最为重要的手段之一, 其中阿维菌素、呋虫胺、氟啶虫胺胍、螺虫乙酯及溴氰虫酰胺等药剂均对烟粉虱起到很好的防治效果 (褚栋等, 2018)。通过防治烟粉虱控制 TYLCV 不乏成功的范例, Mason 等 (2000) 研究表明, 新烟碱类药剂噻虫嗪无论是叶面喷施还是灌根均对 TYLCV 有很好的防治效果。氟吡呋喃酮是拜耳公司新研发的新烟碱型杀虫剂, 无论是在国外 (Roditakis *et al.*, 2017) 还是在国内 (Liu *et al.*, 2021), 都被证明对烟粉虱及其传

播的 TYLCV 有很好的控制效果。但是长期使用单一类型的杀虫剂, 烟粉虱极易产生抗药性, 轮换使用不同种类杀虫剂是抗性治理的主要手段。溴氰虫酰胺是杜邦公司开发的鱼尼丁受体抑制剂类杀虫剂, 在植物体内具有双向内吸传导特性, 室内生测表明对烟粉虱具有很强的内吸杀卵和触杀杀卵作用, 对若虫具有极高的毒力 (王海娜等, 2014), 在田间也表现出很好的防治效果 (何翠娟等, 2013; 张秀霞等, 2018)。田间烟粉虱及 TYLCV 协同防治试验证明, 溴氰虫酰胺在田间应用剂量下对烟粉虱及其传播的病毒病具有极佳的控制效果 (Caballero *et al.*, 2015)。

在田间, 杀虫剂施用后随着时间的推移逐步降解, 对害虫的毒杀作用逐步减弱。溴氰虫酰胺在亚致死浓度下显著延长 MED 烟粉虱的发育时间、降低若虫、伪蛹和成虫期的存活率 (Wang *et al.*, 2017)。推测在亚致死浓度下, 溴氰虫酰胺仍然对烟粉虱传毒相关的取食行为产生不利影响, 进而影响传毒效率。为验证这个假设, 本研究首先测定了溴氰虫酰胺的亚致死剂量 LC_{15} , 在此剂量下, 利用昆虫刺探电位 (EPG) 和荧光定量技术研究了 MED 烟粉虱取食行为及传毒效率。研究结果将对充分理解溴氰虫酰胺对烟粉虱传播 TYLCV 的抑制作用, 合理使用杀虫剂控制烟粉虱及其传播的病毒病具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试植物

选用中杂 9 号番茄作为供试植物, 利用草炭土和蛭石 (体积比 2:1) 作为植物培养基质。在番茄苗培养至 3~4 片真叶期注射农杆菌介导的 TYLCV (上海分离物) 侵染性克隆 (引自中国农业科学院蔬菜花卉研究所), 再培养 4 周表现出明显发病症状后, 作为发病番茄苗使用。

1.2 供试昆虫

所用 MED 烟粉虱于 2015 年引自中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 饲养在天津市农业科学院植物保护研究所养虫室内, 用 80 目尼龙纱网笼 (45 cm × 45 cm × 60 cm) 隔离饲养在棉花苗上, 环境温度 26 ± 2℃, 相对湿度 60% ± 10%, 光周期 14 L: 10 D。将大约 300 头烟粉虱成虫转移到发病番茄苗 (6~7 叶期) 上, 用上述纱网笼隔离饲养 2 代, 获得携带 TYLCV 烟粉虱成虫。将另外 300 头烟粉虱成虫转移到健康番茄苗 (6~7 叶期) 上, 同样条件饲养两代建立未携毒烟粉虱种群。

1.3 溴氰虫酰胺对烟粉虱成虫亚致死浓度测定

采用活体植物-微虫笼法, 首先将 10% 溴氰虫酰胺可分散悬浮剂 (上海杜邦农化有限公司) 用蒸馏水稀释 5 个处理浓度, 每个浓度配制药液 200 mL, 分别用 500 mL 小喷壶喷洒在未携毒番茄苗 (6~7 片叶) 表面, 喷洒至页面滴水为止。喷洒同样体积蒸馏水作为空白对照。番茄苗喷药后放置在室内自然阴干, 24 h 后分别接入携毒和未携毒 MED 烟粉虱。每个浓度药液处理携毒和未携毒烟粉虱分别设置 5 个重复, 每重复用直径 2 cm 的微型夹叶笼接携毒或未携毒烟粉虱雌虫 30 头, 夹在 5 株番茄植株中间叶片背面。接虫 48 h 后检查记录烟粉虱的存活数和死亡数, 用 polo 软件计算致死中量 LC_{50} 和亚致死剂量 LC_{15} 。

1.4 溴氰虫酰胺亚致死剂量处理对烟粉虱成虫取食行为的影响

试验设两个处理, 分别是携毒 MED 烟粉虱取

食溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理的番茄苗和蒸馏水处理的番茄苗, 均采用 6~7 片叶大小的番茄苗。烟粉虱采用初羽化 2~4 d 的携毒雌成虫。EPG 记录方法参考 Liu 等 (2013), 波形识别方法参考 Liu 等 (2012)。每一对昆虫-植物组合只记录一次。数据统计分析采用 SPSS 软件。

1.5 携毒烟粉虱传播 TYLCV 效率试验

试验设两个处理, 分别用溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 和蒸馏水喷施番茄苗 (6~7 片叶)。24 h 后, 取初羽化 24 h 内的携毒烟粉虱雌成虫, 用直径 3 cm 的夹叶笼加在番茄苗叶背面, 每个处理 16 个重复, 每重复用一株番茄苗接 5 头携毒烟粉虱。接虫后在温度 26 ± 2℃, 相对湿度 60% ± 10%, 光周期 14 L: 10 D 条件下培养 48 h 后, 去除烟粉虱成虫, 继续培养 10 d 后, 取顶稍两片真叶共 100 mg 组织, 采用天根 DP320 植物基因组试剂盒进行 DNA 提取。参考 Ning 等 (2015) 方法进行 qPCR 相对定量检测 TYLCV。

2 结果与分析

2.1 溴氰虫酰胺对 MED 烟粉虱的亚致死浓度

溴氰虫酰胺对未携毒和携毒 MED 烟粉虱的亚致死浓度 (LC_{15}) 分别为 1.52 mg/kg 和 1.75 mg/kg, 差异不显著。未携毒和携毒烟粉虱的致死中量 (LC_{50}) 分别为 4.01 mg/kg 和 11.91 mg/kg, 未携毒烟粉虱致死中浓度显著低于携毒烟粉虱 (表 1)。

表 1 溴氰虫酰胺对未携毒和携毒 MED 烟粉虱的亚致死和致死中浓度比较

Table 1 Compare between the sublethal and 50% lethal concentrations of cyantraniliprole to non-viruliferous and viruliferous *Bemisia tabaci* MED

携毒状态 Virus vectored status	个体 <i>N</i>	斜率 Slope ± SE	15% 致死浓度 LC_{15} (mg/kg) (95% CL)	50% 致死浓度 LC_{50} (mg/kg) (95% CL)	卡方 χ^2	g 因子 g factor
未携毒 Non-viruliferous	403	4.13 ± 0.43	1.52 (0.26 ~ 2.53) a	4.01 (2.34 ~ 6.38) a	3.80	1.90
携毒 Viruliferous	568	2.08 ± 0.24	1.75 (1.08 ~ 2.42) a	11.91 (9.64 ~ 15.48) b	1.85	0.62

注: 同列不同小写字母表示处理和对照组间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different lower case letters in the same column indicated significant difference between treatment and control group ($P < 0.05$) .

2.2 溴氰虫酰胺亚致死剂量处理对烟粉虱成虫取食行为的影响

携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱在溴氰虫酰胺亚

致死浓度 (LC_{15}) 处理和空白对照处理的番茄苗上取食, 在非韧皮部取食阶段计算了 6 个 EPG 参数, 其中第一次刺探起始时间在溴氰虫酰胺处理

下显著推迟, 是对照番茄苗上的 3.7 倍 (图 1-A), 其余 5 个参数在处理和对照组间均无显著差异 (图 1-B ~ F)。

在韧皮部取食阶段, 计算了 8 个 EPG 参数, 携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱在溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理的番茄苗上唾液分泌平均时间

(图 2-C)、韧皮部吸食总时间 (图 2-D) 和韧皮部吸食平均时间 (图 2-F) 显著缩短, 潜在取食指数 (图 2-G) 显著降低, 分别是对照组的 0.10、0.14 和 0.10 倍。其余 4 个参数在处理和对照组间差异不显著。

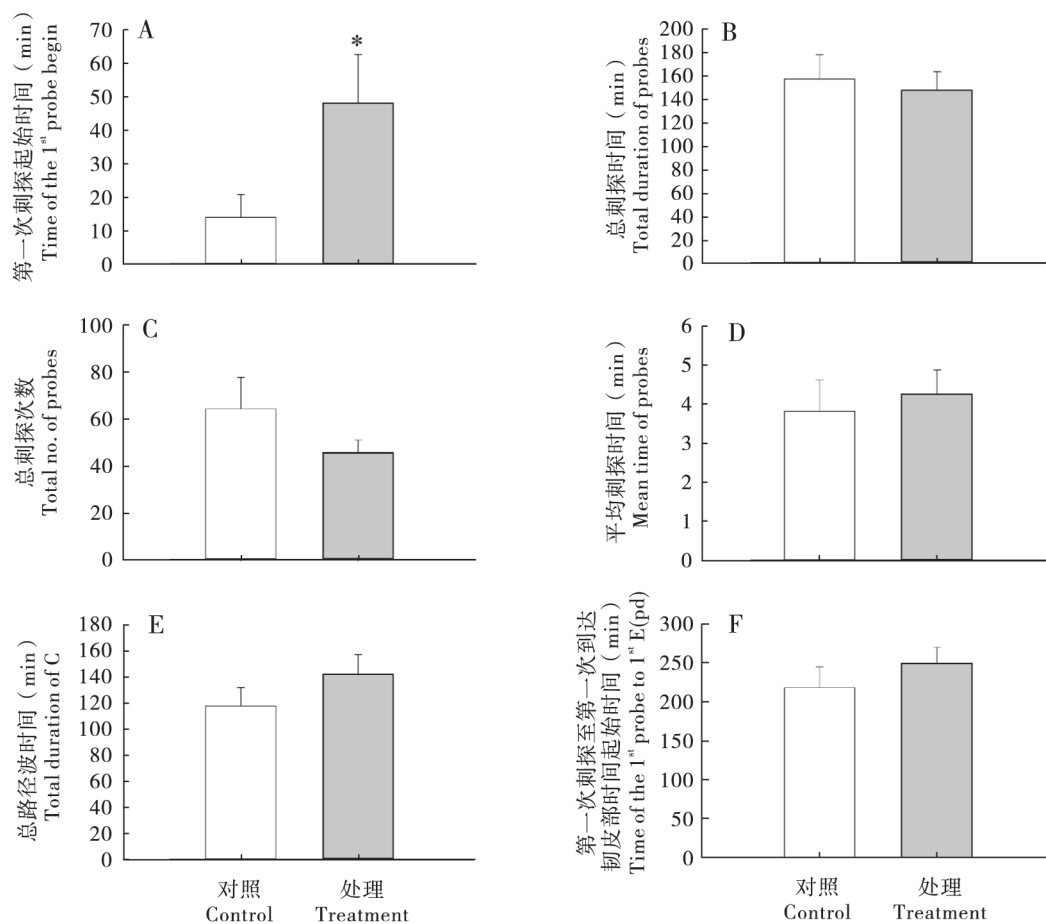


图 1 溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理对携带 TYLCV 烟粉虱非韧皮部取食行为的影响

Fig. 1 Effects of cyantraniliprole treatment at the sublethal concentration (LC_{15}) on non-phloem feeding behavior of *Bemisia tabaci* vectored TYLCV

注 “*” 表示处理和对照组间差异显著 (Mann-Whitney U test, $P < 0.05$)。下图同。Note “*” indicated significant difference between treatment and control group (Mann-Whitney U test, $P < 0.05$). The same below.

2.3 溴氰虫酰胺亚致死剂量处理对烟粉虱传毒效率的影响

与空白对照相比, 溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理极显著的降低了携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱的传毒效率 ($P < 0.001$), 携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱取食 48 h 的番茄苗培养 10 d 后, TYLCV 相对量仍接近于 0 (图 3)。

3 结论与讨论

本研究表明, 携带 TYLCV 和不携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱对溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理敏感性相当, 但携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱对溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{50}) 敏感性显著低于未携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱 (表 1)。这与前期研究携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱对氟吡呋喃酮亚致死浓度 (LC_{15}) 处理和致死浓度 (LC_{50}) 处理的敏感性

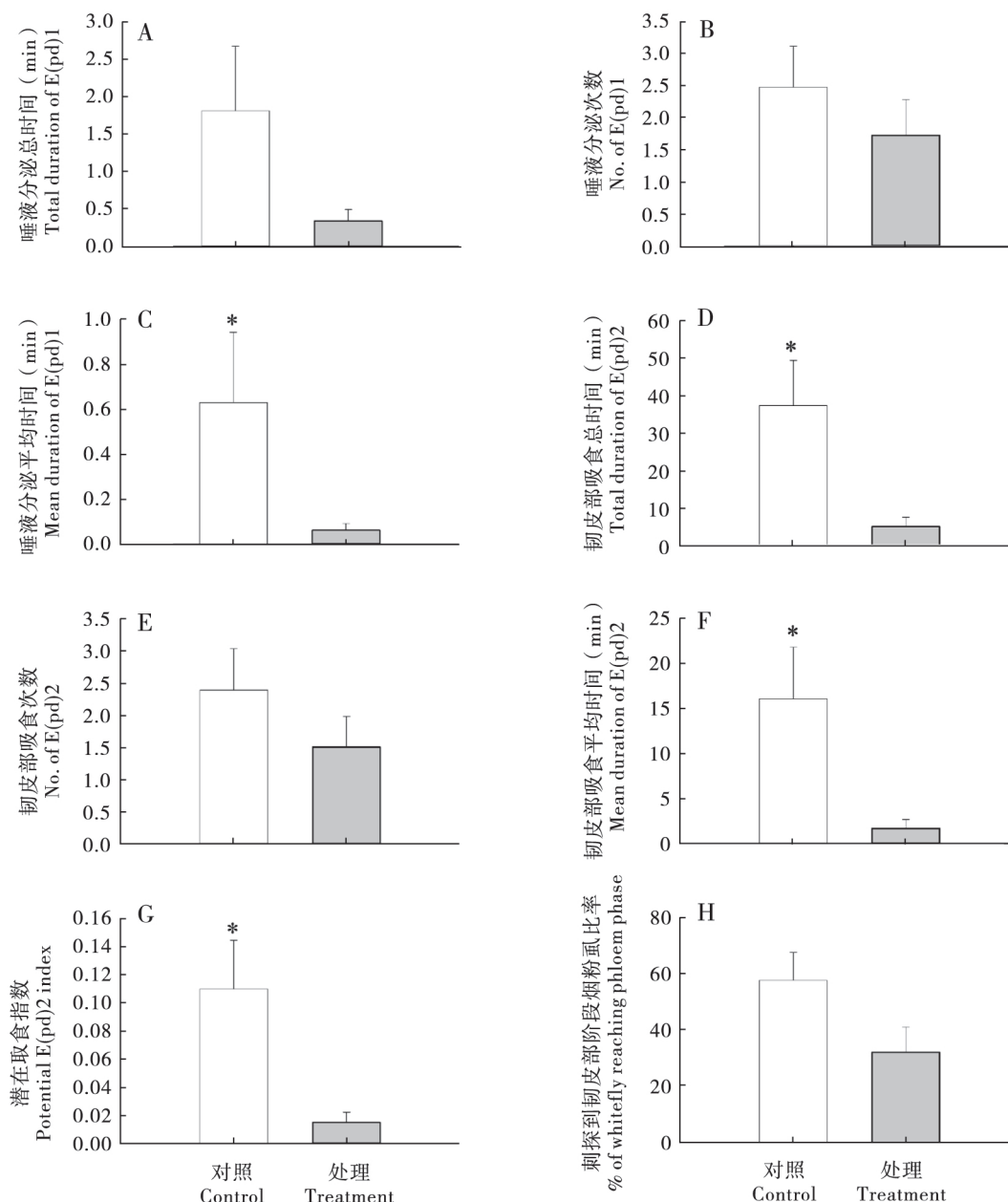


图2 溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理对携带 TYLCV 烟粉虱韧皮部取食行为的影响

Fig. 2 Effects of cyantraniliprole treatment at the sublethal concentration (LC_{15}) on phloem feeding behavior of *Bemisia tabaci* vectored TYLCV

均显著低于未携毒烟粉虱结果基本一致 (Liu *et al.*, 2020)。溴氰虫酰胺属于邻氨基苯甲酰胺类杀虫剂, 作用于鱼尼丁受体 (杨桂秋等, 2012), 与氟吡呋喃酮作用机理不同, 后者属于新烟碱类杀虫剂, 作用于乙酰胆碱受体 (李晨雨等, 2018)。本研究为 TYLCV 侵染烟粉虱后降低了对杀虫剂的敏感性提供了又一个例证。烟粉虱携带 TYLCV 后提高对杀虫剂耐药性机制还不清楚, 推测携带植物病毒后促进烟粉虱体内解毒酶的表达,

需要后续更深入的研究来证实。

在前人发现田间应用浓度溴氰虫酰胺显著抑制 MED 烟粉虱韧皮部取食的基础上 (Civolani *et al.*, 2014), 本研究进一步发现亚致死浓度 (LC_{15}) 溴氰虫酰胺对烟粉虱韧皮部取食行为仍具有显著抑制作用 (图 2), 这与前期研究亚致死浓度 (LC_{15}) 氟吡呋喃酮显著抑制 MED 烟粉虱取食行为结果一致 (Liu *et al.*, 2021)。杀虫剂改变昆虫行为, 与杀虫剂作用靶标位点密切相关。大多

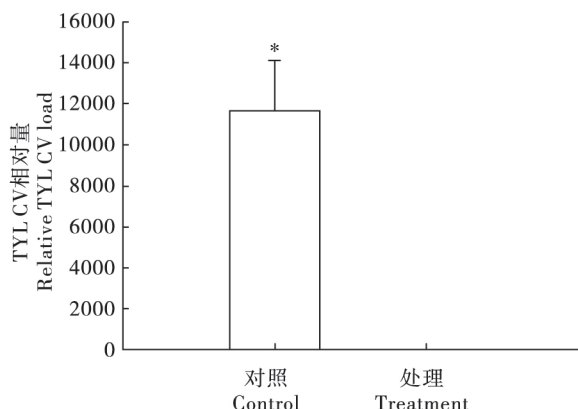


图3 溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理对携带 TYLCV 烟粉虱传毒效率的影响

Fig. 3 Effects of cyantraniliprole treatment at the sublethal concentration (LC_{15}) on virus transmission efficiency of *Bemisia tabaci* vectored TYLCV

数杀虫剂作用于昆虫神经系统,在杀虫剂在亚致死浓度作用下,广泛影响昆虫行为。新烟碱类杀虫剂是应用最广泛的一类杀虫剂之一,属乙酰胆碱激动剂,可有选择的作用于昆虫中枢神经系统的乙酰胆碱受体 ($nAChR$) (Bass *et al.*, 2015)。不同种类烟碱类杀虫剂改变各种昆虫行为的现象已被广泛报道,例如吡虫啉暴露还对蜜蜂蜂巢中工蜂行为产生显著不利影响 (Crall *et al.*, 2018)。亚致死浓度 (LC_{10} 、 LC_{30}) 噻虫嗪处理白菜可显著缩短桃蚜 *Myzus persicae* 韧皮部吸食时间 (Cho *et al.*, 2011), 亚致死剂量噻虫嗪不但显著缩短大豆蚜虫韧皮部吸食时间,显著延长其非刺探时间 (Stamm *et al.*, 2013)。氟吡呋喃酮,一种新型的新烟碱类药剂,与噻虫嗪等无交互抗性,但是作用于昆虫乙酰胆碱受体的特点使之亚致死浓度 (LC_{15}) 处理显著降低携带 TYLCV 的 MED 烟粉虱韧皮部取食行为 (Liu *et al.*, 2021)。溴氰虫酰胺与烟碱类药剂作用方式不同,其作用靶标是昆虫的鱼尼丁受体,暴露于该药剂的昆虫释放横纹肌和平滑肌细胞内的钙离子,导致肌肉运动调节受损,虫体麻痹死亡 (杨桂秋等, 2012)。肌肉运动调节可能和昆虫取食行为密切相关,已有研究表明在溴氰虫酰胺田间剂量处理下, MED 烟粉虱不能到达韧皮部取食 (Civolani *et al.*, 2014)。在亚致死剂量作用下,溴氰虫酰胺显著影响昆虫体内多种酶变化,例如亚致死浓度处理鳞翅目幼虫甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 和小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg, 其羧酸酯酶 (CarE) 先被诱导升高、

后被抑制降低,多功能氧化酶 (MFOs) 活性则受到抑制 (余慧灵等, 2015; 何发林等, 2019)。半翅目昆虫灰飞虱在溴氰虫酰胺亚致死剂量 (LD_{10} 和 LD_{30}) 处理下,谷胱甘肽-S 转移酶 (GSTs) 被极显著诱导升高 (张凯伦等, 2020)。据此推测在溴氰虫酰胺亚致死剂量处理下,虽然不会导致昆虫立刻死亡,但是肌肉运动调节损伤、酶类失调、影响能量代谢减弱等均是昆虫多种行为受损的原因。本研究溴氰虫酰胺对 MED 烟粉虱的亚致死效应,与前人研究溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{30}) 处理烟草,可显著减弱桃蚜韧皮部取食行为的作用效果一致 (Zeng *et al.*, 2016), 为溴氰虫酰胺对昆虫行为的亚致死效应又增添一个例证,但其生理生化及分子机理研究尚需进一步深入。

前人研究表明,溴氰虫酰胺在田间剂量作用下可效控制 TYLCV (Caballero *et al.*, 2015); 本研究表明溴氰虫酰胺亚致死浓度 (LC_{15}) 处理仍极大降低了烟粉虱的传毒效率 (图3), 这与氟吡呋喃酮对 MED 烟粉虱传播 TYLCV 效率影响结果一致 (Liu *et al.*, 2021)。显然,溴氰虫酰胺同氟吡呋喃酮一样,在残效期间也对 TYLCV 具有较好的控制潜力,为杀虫剂交替使用、适当延长用药间隔等减量增效技术研发提供理论基础。本研究还存在一些不足之处,检测烟粉虱侵染植物后传毒效率的时间点应该更多一些,并且需要进一步进行田间试验以验证溴氰虫酰胺对本地 TYLCV 的控制效果。溴氰虫酰胺作为木质部系统活性成分杀虫剂,如何影响取食韧皮部昆虫刺吸式口器昆虫行为,是今后一个有趣的研究方向。此外,还需对更多种类型的杀虫剂抑制烟粉虱传毒行为及传毒效果进行研究,并且研究杀虫剂与提高植物免疫措施相结合的实用方法,以期形成以植物免疫激活为内御,以杀虫剂阻断传毒媒介为外阻的“内御外阻”综合防控方案,为有效解决烟粉虱及其传播的双生病毒病这一对外来入侵病虫组合防治难题提供帮助。

参考文献 (References)

- Bass C, Denholm I, Williamson M S, *et al.* The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2015, 121: 78–87.
- Caballero R, Schuster DJ, Peres NA, *et al.* Effectiveness of cyantraniliprole for managing *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and interfering with transmission of tomato yellow leaf curl virus on tomato [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2015,

- 108 (3): 894–903.
- Cho SR, Koo HN, Yoon C, *et al.* Sublethal effects of flonicamid and thiamethoxam on green peach aphid, *Myzus persicae* and feeding behavior analysis [J]. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2011, 54 (6): 889–898.
- Chu D, Zhang YJ, Brown JK, *et al.* The introduction of the exotic biotype Q of *Bemisia tabaci* from the Mediterranean region into China on ornamental crops [J]. *The Florida Entomologist*, 2006, 89 (2): 168–174.
- Chu D, Zhang YJ. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (5): 56–60. 褚栋, 张友军. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展 [J]. *植物保护*, 2018, 44 (5): 51–55.
- Civolani S, Cassanelli S, Chicca M, *et al.* An EPG study of the probing behavior of adult *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) following exposure to cyantraniliprole [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107 (3): 910–919.
- Crall JD, Switzer CM, Oppenheimer RL, *et al.* Neonicotinoid exposure disrupts bumblebee nest behavior, social networks, and thermoregulation [J]. *Science*, 2018, 362 (6415): 683–686.
- Czosnek H, Ghanim M. *Bemisia tabaci* – tomato yellow leaf curl virus interaction causing worldwide epidemics. In: WMO Thompson, eds. *The Whitefly, Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Interaction with Geminivirus – infected Host Plants [C]. Springer: Springer Netherlands, 2011: 51–67.
- He CJ, Fang CY. Control, application technique, and prospect of cyantraniliprole 10% OD against vegetable pests [J]. *World Pesticides*, 2013, 35 (6): 44–48. 何翠娟, 方朝阳. 10% 溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂对蔬菜害虫的防治效果、使用技术和推广前景 [J]. *世界农药*, 2013, 35 (6): 44–48.
- He FL, Jiang XY, Shang DL, *et al.* Induction of the protective and detoxification enzymes by cyantraniliprole in *agrotis ipsilon* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (2): 90–96. 何发林, 姜兴印, 尚佃龙, 等. 溴氰虫酰胺胁迫对小地老虎保护酶和解毒酶活性的诱导效应 [J]. *植物保护*, 2019, 45 (2): 90–96.
- Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE, *et al.* Insect vector interactions with persistently transmitted viruses [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2008, 46: 327–359.
- Jiang YX, Blas C, Barrios L, *et al.* Correlation between whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) feeding behavior and transmission of tomato yellow leaf curl virus [J]. *Annals of Entomological Society of America*, 2000, 93: 573–579.
- Li CY, Zang CJ, Zhu SJ. Research status and prospect of flupyradifurone, a new neonicotinoid insecticide [J]. *Agricultural Market News Ten Days*, 2018, 24: 30–32. 李晨雨, 臧传江, 朱少杰. 新烟碱类杀虫剂氟吡呋啶酮的研究开发现状与展望 [J]. *农化市场十日讯*, 2018, 24: 30–32.
- Liu BM, Preisser EL, Chu D, *et al.* Multiple forms of vector manipulation by a plant – infecting virus: *Bemisia tabaci* and tomato yellow leaf curl virus [J]. *Journal of Virology*, 2013, 87 (9): 4929–4937.
- Liu BM, Preisser EL, Jiao XG, *et al.* Lethal and sublethal effects of flupyradifurone on *Bemisia tabaci* MED feeding behavior and TYLCV transmission in tomato [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2021, XX: 1–14. doi: 10.1093/jeet/toab040.
- Liu BM, Preisser EL, Jiao XG, *et al.* Tomato yellow leaf curl virus infection alters *Bemisia tabaci* MED (Hemiptera: Aleyrodidae) vulnerability to flupyradifurone [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113 (4): 1922–1926.
- Liu BM, Yan FM, Chu D, *et al.* Difference in feeding behaviors of two invasive whiteflies on host plants with different suitability: Implication for competitive displacement [J]. *International Journal of Biological Science*, 2012, 8 (5): 697–706.
- Liu SS, Colvin J, De Barro PJ. Species concepts as applied to the whitefly *Bemisia tabaci* Systematics: How many species are there? [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11 (2): 176–186.
- Luo C, Yao Y, Wang RJ, *et al.* The use of mitochondrial cytochrome oxidase I (mtCOI) gene sequences for the identification of biotype of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (6): 759–763.
- Mason G, Rancati M, Bosco D. The effect of thiamethoxam, a second generation neonicotinoid insecticide, in preventing transmission of tomato yellow leaf curl geminivirus (TYLCV) by the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) [J]. *Crop Protection*, 2000, 19 (7): 473–479.
- Moffat AS. Geminiviruses emerge as serious crop threat [J]. *Science*, 1999, 286 (5446): 1835.
- Oliveira MRV, Henneberry TJ, Anderson P. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci* [J]. *Crop Protection*, 2001, 20 (9): 709–723.
- Pan H, Chu D, Yan W, *et al.* Rapid spread of tomato yellow leaf curl virus in China is aided differentially by two invasive whiteflies [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7 (4): e34817.
- Roditakis E, Stavrakaki M, Grispou M, *et al.* Flupyradifurone effectively manages whitefly *Bemisia tabaci* MED (Hemiptera: Aleyrodidae) and tomato yellow leaf curl virus in tomato [J]. *Pest Management Science*, 2017, 73 (8): 1574–1584.
- Stamm MD, Heng-Moss TM, Baxendale FP, *et al.* Effects of thiamethoxam seed treatments on soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) feeding behavior [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106 (6): 2384–2390.
- Wang HN, Liu F, Wang SL, *et al.* Toxicity of cyantraniliprole to different stages of B and Q sibling species of *Bemisia tabaci* [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (1): 187–191. 王海娜, 刘峰, 王少丽, 等. 溴氰虫酰胺对 B 隐种和 Q 隐种烟粉虱不同虫态的毒力研究 [J]. *植物保护*, 2014, 40 (1): 187–191.
- Wang R, Zhang W, Che W, *et al.* Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) MED [J]. *Crop Protection*, 2017, 91: 108–113.
- Wu JB, Dai FM, Zhou XP. First report of tomato yellow leaf curl virus in China [J]. *Plant Disease*, 2006, 90 (10): 1359.
- Yang GQ, Huang Q, Chen L, *et al.* Summary of a novel pesticide

- cyantraniliprole [J]. *World Pesticides*, 2012, 34 (6): 19–21.
- 杨桂秋, 黄琦, 陈霖, 等. 新型杀虫剂溴氰虫酰胺研究概述 [J]. *世界农药*, 2012, 34 (6): 19–21]
- Yu HL, Xiang X, Yuan GX, *et al.* Effects of sublethal doses of cyantraniliprole on the growth and development and the activities of detoxifying enzymes in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (6): 634–641. [徐慧灵, 向兴, 袁贵鑫, 等. 溴氰虫酰胺亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育及体内解毒酶活性的影响 [J]. *昆虫学报*, 2015, 58 (6): 634–641]
- Zeng XY, He YQ, Wu JX, *et al.* Sublethal effects of cyantraniliprole and imidacloprid on feeding behavior and life table parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109 (4): 1595–1602.
- Zhang KL, Li ZQ, Ding J, *et al.* Sensitivity detection of cyantraniliprole to *Laodelphax striatellus* in Shandong and effect of sublethal cyantraniliprole on detoxification enzyme activities [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (1): 212–220. [张凯伦, 李忠芹, 丁杰, 等. 山东省不同地区灰飞虱对溴氰虫酰胺的敏感性及其亚致死剂量溴氰虫酰胺对灰飞虱解毒酶活性的影响 [J]. *环境昆虫学报*, 2020, 42 (1): 212–220]
- Zhang XX, Zhou XH, Li JJ, *et al.* Efficacy test of 10% cyantraniliprole dispersible oil suspension agent to control pepper *Bemisia tabaci* [J]. *Xiandai Nongcun Keji*, 2018, 4: 77–78. [张秀霞, 周仙红, 李娇娇, 等. 10% 溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂防治辣椒烟粉虱药效试验 [J]. *现代农村科技*, 2018, 4: 77–78]