



# 杀虫剂对烟粉虱传番茄黄化曲叶病毒病的防控效果

李英梅<sup>1,3</sup>, 杨苗苗<sup>1,2</sup>, 刘晨<sup>1,3</sup>, 陈志杰<sup>1,3</sup>, 张锋<sup>1,3</sup>, 任平<sup>1,3</sup>, 洪波<sup>1</sup>

(1. 陕西省生物农业研究所, 西安 710043; 2. 陕西学前师范学院, 生命科学与食品工程学院  
生物工程研究院, 西安 710100; 3. 陕西省酶工程技术中心, 陕西临潼 710600)

**摘要** 旨在探讨通过化学药剂防治烟粉虱控制番茄黄化曲叶病毒病的防控效果。以番茄黄化曲叶病毒感病品种‘圣帝’为材料,在烟粉虱密度较低(三叶每株 15 头左右)和较高(三叶每株 60 头左右)的大棚中,选用高效氯氟菊酯、吡虫啉、阿维菌素 3 种杀虫剂,采用间隔 3 d 和 6 d 施药频率对番茄黄化曲叶病毒的传播媒介烟粉虱进行灭杀,调查烟粉虱虫口减退率、番茄黄化曲叶病毒病发病率、番茄带毒率的变化。结果发现,高效氯氟菊酯、吡虫啉、阿维菌素 3 种杀虫剂在药后 24 h 能够有效降低烟粉虱的虫口密度,其虫口减退率分别为 90.2%、84.8% 和 83.9%,但在药后 72 h 的虫口减退率分别降低至 12.5%、22.8% 和 23.5%,烟粉虱种群迅速恢复。杀虫剂施药后第 6 天,番茄植株带毒率即可达到 100%,第 18 天植株出现症状。药剂处理与对照组番茄植株的番茄产量及全株生物量也无显著差异;抗病品种的产量及全株生物量显著高于药剂处理。研究结果表明,由于烟粉虱具有极强的传毒能力和繁殖能力,在整个生命周期能够持久性获毒、传毒,单纯采取化学药剂防治不但无法实现对番茄黄化曲叶病毒病的有效防控,还会增加种植者的经济负担和工作量,生产中应以选用抗病品种为基础,结合调整定植期、防虫网与黄板阻诱联用等措施进行综合防控。

**关键词** 烟粉虱;番茄黄化曲叶病毒;杀虫剂;防控技术;持久性传毒

中图分类号 S432.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)03-0466-09

由番茄黄化曲叶病毒(Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV)引起的番茄黄化曲叶病毒病(Tomato yellow leaf curl disease, TYLCD)是为害番茄生产的重要病害,被称之为番茄“SARS”,“植物界癌症”。近年来,已成为番茄产业可持续发展中的严重威胁因素<sup>[1-2]</sup>。烟粉虱(*Bemisia tabaci*)作为该病的唯一传播媒介,通过刺吸式口器对病毒进行持久性传播,且传毒能力非常强<sup>[3]</sup>。烟粉虱可从感病植株中快速获毒,然后在种群内通过水平和垂直传毒方式保持种群极高的带毒率<sup>[4]</sup>。此外,烟粉虱寄主广泛、适应能力和繁殖能力强,一旦入侵,会快速形成庞大的种群,成为 TYLCV 的有效携带者和传播者<sup>[5]</sup>。陕西是番茄种植大省,常年种植面积约 3.4 万 hm<sup>2</sup>,其中设施面积约 2 万 hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>,2009 年 TYLCD 零星发生,2010 年大爆发以来每年持续发生,发病田病株率一般在 30%~40%,重的达 60%~80%,甚至绝

收,严重制约番茄产业的发展。

在植物病毒病的防控策略中,“杀虫防病”、切断病毒传播途径是防治“虫传病”的关键环节,例如条纹叶枯病、南方水稻黑条矮缩病的防治<sup>[7-8]</sup>。施用吡虫啉和丙森锌防治蚜虫能有效防治辣椒病毒病,吡虫啉防治蚜虫能有效抑制黄瓜花叶病毒,烟草病毒病切实可行的方法亦是“治虫防病”<sup>[9]</sup>。在对番茄黄化曲叶病毒病的防治策略中,有效切断烟粉虱的传播同样是最关键的环节,阿维菌素、菊酯类、新烟碱类、有机磷类等化学杀虫剂对烟粉虱均具有很高的毒杀作用<sup>[10-13]</sup>。也有研究报道指出,TYLCD 发病初期,采用吡虫啉、烯啶虫胺、啶虫脒乳油、噻嗪酮可湿性粉剂、吡丙醚乳油等药剂可以降低番茄发病率<sup>[14]</sup>;或者苗期喷施盐酸吗啉胍、醋酸铜、三唑酮混剂可以避免苗期感病<sup>[15-17]</sup>。但是,笔者在连续 2 a 的田间观察中发现,按照常规药剂防治措施并不能有效控制 TYLCD 的发

收稿日期:2018-08-19 修回日期:2018-09-23

基金项目:陕西省科学院项目(2016K-02);陕西省农业科技创新与攻关(2016NY-204);陕西省科技计划(2017JQ3029);陕西省生物实验教学示范中心项目。

第一作者:李英梅,女,硕士,副研究员,从事设施蔬菜病虫害绿色防控研究。E-mail:liyongmei9@163.com

通信作者:任平,女,副研究员,从事设施蔬菜病虫害绿色防控研究。E-mail:mysrenping@163.com

生,考虑到烟粉虱在化学防治后短时间就能快速恢复种群数量<sup>[13]</sup>,加之烟粉虱对番茄黄化曲叶病毒超高的带毒率<sup>[18-20]</sup>,探索通过单纯使用药剂防治烟粉虱对番茄黄化曲叶病毒病的可行性意义重大。为此,于2012—2014年开展超常规化学防治条件下,利用杀虫剂灭杀烟粉虱防控 TYLCD 的试验研究,以期为该病的科学防控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在陕西省科学院渭南科技示范基地进行,基地位于渭南市大荔县冯村镇,北纬 34°56',东经 109°43',无霜期 199~255 d,年均气温 12~14 °C,年雨量 600 mm 左右,年日照 2 200~2 500 h。试验在 2 个塑料大棚进行(长度 90 m,跨度 12 m,高度 5 m),1 号塑料大棚烟粉虱密度较低(三叶虫口 10 头左右/株),2 号塑料大棚烟粉虱密度较高(三叶虫口 50 头左右/株)。后者仅进行不同处理烟粉虱虫口及番茄黄化曲叶病毒病发病率、发病程度调查。

### 1.2 材料

1.2.1 药剂 4.5% 高效氯氰菊酯乳油 1 000 倍液、5% 吡虫啉乳油 1 500 倍液、1.8% 阿维菌素 1 000 倍液。

1.2.2 番茄品种 选择感病品种‘圣帝’,在 50 目防虫网室内 50 孔育苗盘育苗,确保种苗无病毒感染。栽植密度 1 800 株/666.7m<sup>2</sup>,以不用杀虫剂作为空白对照,同期定植抗病品种‘金鹏 8 号’作为生物对照。

### 1.3 试验设计

1 号塑料大棚 4 月 15 日定植,2 号塑料大棚 5 月 15 日定植,定植后除试验用药外,未设置防虫网,也不采取其他烟粉虱防治措施。2 个试验

大棚均在定植 1 周番茄缓苗后开始喷施药剂,每种药剂分别间隔 3 d、6 d 喷施 1 次,以喷施清水为对照,当对照发病率达到 100% 时,停止喷药。试验小区面积 54 m<sup>2</sup>(6 m×9 m),3 次重复。

### 1.4 调查方法及时间

1.4.1 虫口数量 每次喷药前及喷药后 24 h、72 h,每处理小区 5 点取样法选取 5 个样点,每样点依次选取 10 株番茄,每株选取上、中、下各 1 片叶,统计成虫数量。计算虫口减退率。

虫口减退率 = (处理前虫口数 - 处理后虫口数) / 处理前虫口数 × 100%

1.4.2 发病调查及病毒病检测方法 自番茄定植缓苗后,每小区 5 点取样法选取 5 个样点,每样点依次选取 10 株,每隔 7 d 调查 1 次,分别记录植株发病数、发病等级、计算发病率、病情指数。

病毒病分级参照周一万等<sup>[21]</sup>的分级标准进行。0 级:无症状;1 级:明脉,轻度矮化,株高为健株株高的 4/5 左右,结果期有 3 穗以上的果实;3 级:心叶及中部叶片花叶,株高为健株株高的 2/3,结果期有 2 穗果;5 级:心叶及中部叶片花叶,少数叶片畸形,皱缩或植株轻度矮化;7 级:重花叶,多数叶片畸形、皱缩,植株明显矮化,一般为健株株高的 1/2 左右,顶部典型黄化曲叶,结果期下部有 1 穗果;9 级:重花叶,叶片明显畸形,线叶,植株严重矮化,株高低于健株 1/3。

发病率 = 发病数 / 调查总数 × 100%

病情指数 =  $\sum$ (各级发病数 × 极值) / (调查总数 × 最高极值) × 100

1.4.3 番茄带毒率检测 采样方法:采用 5 点采样法采样;从第 1 次喷药后每隔 6 d 采集番茄顶部三叶 1 次,共采 7 次。番茄植株带毒率检测:采用 CTAB 法提取番茄植株 DNA<sup>[22]</sup>;参考李常保等<sup>[23]</sup>设计的引物(表 1)进行检测。

表 1 番茄黄化曲叶病毒 PCR 检测特异引物

Table 1 Primers used in PCR for tomato yellow leaf curl virus

引物名称	Primer	序列(5'→3')	Sequence(5'→3')	扩增片段/bp	Product size
TYLCV-F		ACGCATGCCTCTAATCCAGTGTA		543	
TYLCV-R		CCAATAAGGCGTAAGCGTGTAGAC			

1.4.4 不同药剂处理后番茄果实生物量计算 每处理随机选取 4 个点,每点固定 5 株,记载单株番茄果实总质量,待试验结束后,将单株所有果实和完整单株番茄分别置于 105 °C 烘箱杀青 30~40 min,然后分别在 65 °C 下烘干至恒质量时称

量,得到样本生物量;最终以 15 株完整番茄植株和果实生物量平均值代表不同处理的生物量。

1.4.5 药剂防治后番茄带毒率的动态变化 该研究采用荧光定量 PCR 检测法进行。

采样和植株 DNA 提取:按照 5 点采样法分

别采集第1次喷药后7 d、14 d、21 d、28 d、35 d、42 d后的番茄植株顶部三叶;采用CTAB法提取番茄植株DNA<sup>[22]</sup>。

TYLCV Real-time PCR检测:参照朱云聪等<sup>[24]</sup>方法进行。样品首先进行常规PCR检测,检测呈阳性的DNA用Nanodrop分光光度计测定质量浓度,10倍梯度稀释,用稀释后的DNA为模板;以朱云聪等<sup>[24]</sup>设计的定量引物和内参引物进行Real-time PCR检测,每个样品重复3次(引物见表2);以DNA质量浓度对数为横坐标,Ct值为纵坐标绘制标准曲线。扩增效率 =

$(E-1) \times 100\%$ ,  $E = 10^{-1/slop}$ , (*slop* 为标准曲线的斜率); Real-time PCR扩增。用Real-time PCR法研究TYLCV在植株体内的动态变化,2种处理的样品均在第1次喷药后第7天进行第1次取样,每隔7 d取样1次,直至第42天,每个处理随机选5点,每点固定5株,每株采集番茄顶叶1~2片叶,叶片混合后称质量0.1 g,提取叶片总DNA。定量叶片DNA质量浓度在1.0~10 ng/ $\mu$ L,采用朱云聪等<sup>[24]</sup>方法定量植株体内病毒DNA的相对量,设喷施清水的为对照,病毒DNA相对量用 $\Delta\Delta Ct$ 法计算,相对量 =  $2^{-\Delta\Delta Ct}$ , 3次重复。

表2 用于荧光定量PCR检测的引物  
Table 2 Primers used in Real-time PCR

基因 Gene	引物 Primer	序列(5'→3') Oligonucleotide sequence	T <sub>m</sub> 值/°C T <sub>m</sub> value	产物大小/bp Product size
TYLCV	YG-3	GAGTTCCTCCCTGTGCGTGAA	59.7	139
	YG-5	CTGTTTCGCAAGTATCAATCAAGGT	58.5	
Tomato 25S rRNA	UNTV(+)	ATAACCGCATCAGGTCTCCA	57.8	113
	UNTV(-)	CCGAAGTTACGGATCCATTT	55.7	

1.4.6 数据处理 用单因素方差分析(ANOVA)法对不同处理之间的生物量进行差异显著性检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同药剂处理后烟粉虱种群动态变化

研究结果表明(表3),在烟粉虱低密度情况下,对其采用3 d/次和6 d/次不间断高强度施药后烟粉虱数量会快速下降,药后24 h,4.5%高效氯氟菊酯乳油1 000倍液效果最明显,3 d/次和6 d/次的虫口减退率分别为90.2%和89.3%,吡虫啉1 500倍夜在药后24 h 3 d/次和6 d/次的虫口减退率分别为84.8%和83.0%,阿维菌素1 000倍夜在药后24 h的虫口减退率达到83.9%。但在药后72 h,高效氯氟菊酯、吡虫啉、阿维菌素3种药剂3 d施药处理后的虫口减退率分别降低至12.5%、22.8%、23.5%;6 d施药1次的处理虫口减退率分别为21.3%、26.4%、22.1%,说明烟粉虱种群迅速恢复。在烟粉虱高密度情况下,表现出类似规律。但单株烟粉虱绝对残留虫口数量显著高于低密度烟粉虱试验棚。6 d施药1次的番茄植株在第7次施药后,由于烟粉虱与病毒病的双重为害,已濒于死亡,因此无有效调查数据。说明对烟粉虱仅采取化学防治,没有其他防治措施相结合,不论其种群高或者低,短

期防治效果较好,但持效性很低,且因烟粉虱十分活跃,种群庞大,繁殖快,加之棚室内番茄种植密度大等原因使得烟粉虱种群数量恢复迅速。

### 2.2 不同处理番茄带毒率、发病率及病情指数

表4显示,在烟粉虱低密度条件下,试验第6天,番茄带毒率达到100%,第18天后番茄出现症状,随后发病程度不断加重。至第36天,所有处理番茄发病率均达到100%;病情指数66.1~70.3,番茄带毒率、发病率、病情指数与对照无明显差异。在烟粉虱高密度条件下,表现出与低密度类似的规律性,且症状表现时间较烟粉虱低密度提前6~8 d,第24天前高密度区发病率略高于低密度区,第30天后,二者无显著差异。结果表明喷施化学药剂对降低番茄带毒率、发病率、病情指数均无明显效果。

### 2.3 不同药剂处理后番茄生物量变化

试验结果表明(表5),3种不同施药时间处理后,番茄果实和全株生物总量与空白对照组的果实及全株生物量之间差异不显著,并且由于被烟粉虱为害及番茄黄化曲叶病毒的侵染,植株矮小、结果量少,6 d施药1次的处理组在第7次喷药后大部分濒于死亡,抗病品种‘金鹏8号’的果实生物量与全株生物量均显著高于对照组及防治组。结合表3结果进行分析,即杀虫剂可有效降低烟粉虱种群数量,但对番茄黄化曲叶病毒病的发生

表 3 不同杀虫剂对烟粉虱防治效果  
Table 3 Mortality rate of *Bemisia tabaci* on different pesticides by different application methods

烟粉虱密度 Density of <i>Bemisia tabaci</i>	处理 Different control	烟粉虱虫口减退率/%   残留虫数 Rate of decline/%   Residue of worm of <i>Bemisia tabaci</i>													
		第 1 次 1st time		第 3 次 3rd time		第 5 次 5th time		第 7 次 7th time		第 9 次 9th time		第 11 次 11th time		第 13 次 13th time	
		24 h	72 h	24 h	72 h	24 h	72 h	24 h	72 h	24 h	72 h	24 h	72 h	24 h	72 h
烟粉虱低密度 Low density of <i>Bemisia tabaci</i>	A1	90.2 1.1	12.5 11.9	87.3 2.1	18.4 14.1	88.2 3.1	10.7 24.1	86.0 4.9	11.6 31.2	88.0 4.6	12.9 34.3	87.3 5.1	8.4 38.4	85.9 6.1	9.3 39.8
	A2	89.3 1.2	21.3 10.7	89.1 1.8	14.6 14.8	88.9 2.9	10.4 24.2	84.5 5.4	9.9 31.8						
	B1	84.8 1.7	22.8 10.5	85.5 2.4	25.4 12.9	82.4 4.6	21.5 21.2	82.2 6.2	22.4 27.4	84.3 6.0	22.1 30.7	83.0 6.8	19.8 33.6	84.3 6.8	22.1 34.2
	B2	83.0 1.9	26.4 10.0	83.0 2.8	23.7 13.2	80.2 5.2	24.4 20.4	80.2 6.9	24.1 26.8						
	C1	83.9 1.8	23.5 10.4	84.5 2.5	26.6 12.7	79.8 5.3	27.4 19.6	80.1 6.7	26.1 26.1	82.2 6.8	25.6 29.3	81.8 7.3	18.8 34.2	82.9 7.4	23.7 33.5
	C2	83.9 1.8	22.1 10.6	85.5 2.4	30.1 12.1	81.3 4.9	26.3 19.9	82.2 6.2	27.8 25.5						
烟粉虱高密度 High density of <i>Bemisia tabaci</i>	CK	11.2	13.6	16.5	17.3	26.2	27.0	34.9	35.3	38.3	39.4	40.1	41.9	43.3	43.9
	A1	88.9 5.9	11.6 47.9	84.7 8.5	15.6 47.9	85.8 8.6	8.2 56.2	82.9 10.9	9.4 57.9	85.6 9.9	10.6 62.4	84.7 11.0	7.3 66.9	83.4 12.5	8.2 69.7
	A2	87.7 6.5	21.2 42.7	87.2 7.1	16.7 47.3	85.1 9.0	7.8 56.3	83.9 10.3	8.9 58.2						
	B1	82.5 9.3	23.2 41.6	84.5 8.6	23.2 43.6	80.6 11.6	20.1 48.8	79.8 12.9	19.4 51.5	92.3 12.2	20.8 55.2	80.1 13.8	18.7 58.7	82.7 13.1	18.1 62.2
	B2	81.3 9.9	24.5 40.9	81.9 10.1	24.8 42.7	79.5 12.4	21.4 48.0	79.2 13.3	22.1 49.8						
	C1	80.4 10.4	21.4 42.5	83.7 9.1	23.8 43.3	77.6 13.6	25.9 45.3	78.2 13.9	23.5 48.9	80.0 13.8	24.2 52.7	79.7 14.6	17.5 59.6	81.9 13.7	22.1 59.1
C2	81.9 9.6	21.0 42.8	82.4 9.8	26.9 41.5	78.9 12.8	24.9 45.9	79.9 12.8	25.0 47.9							
CK	53.0	54.2	55.7	56.8	60.6	61.1	63.8	63.9	68.9	69.5	71.9	72.2	75.6	75.9	

注：A1, A2 分别表示高效氟氰茚酯 1 000 倍液 3 d 1 次和 6 d 1 次；B1, B2 分别表示吡虫啉 1 500 倍液 3 d 1 次和 6 d 1 次；C1, C2 分别表示阿维菌素 1 000 倍液 3 d 1 次和 6 d 1 次；CK 对照；下同。  
 Note: A1, A2: liquid of Cypermethrin of 1 000 times 3 days a time and 6 days a time, respectively; B1, B2: imidacloprid 1 500 times liquid 3 days at 1 times and 6 days 1 times, respectively; C1, C2: avermectin 1 000 times liquid 3 days 1 times, respectively; CK: contrast; the same below.

无明显抑制效果,对番茄的产量及生物量也无有效提高作用。

表 4 不同药剂不同施药方法后番茄植株带毒率、发病率及病情指数

Table 4 Plant toxicity, morbidity and disease index by applying pesticide on different application methods

烟粉虱密度 Density of <i>Bemisia tataci</i>	处理 Different controls	植株带毒率/%   发病率/%   病情指数 Plant toxicity   morbidity   disease index						
		6 d	12 d	18 d	24 d	30 d	36 d	42 d
低密度 (12.2 头/株) Low density	A1	*   0   0	*   0   0	*   5.6   1.3	*   26.3   6.3	*   72.0   23.3	*   *   65.0	*   *   78.3
	A2	*   0   0	*   0   0	*   5.3   1.8	*   24.8   5.3	*   75.6   23.8	*   *   66.1	*   *   80.2
	B1	*   0   0	*   0   0	*   6.2   2.0	*   26.0   5.3	*   74.0   22.8	*   *   68.3	*   *   79.3
	B2	*   0   0	*   0   0	*   5.1   1.5	*   27.0   6.3	*   76.0   22.9	*   *   70.3	*   *   82.6
	C1	*   0   0	*   0   0	*   6.1   1.8	*   25.2   5.6	*   77.4   23.8	*   *   68.8	*   *   78.1
	C2	*   0   0	*   0   0	*   6.8   2.3	*   26.9   6.8	*   74.9   23.6	*   *   67.3	*   *   81.4
	CK	*   0   0	*   0   0	*   5.8   2.4	*   28.0   8.7	*   76.1   25.0	*   *   70.9	*   *   83.8
高密度 (106.5 头/株) High density	A1	*   0   0	*   1.2   0.08	*   11.6   3.5	*   35.3   8.3	*   60.1   25.3	*   *   66.1	*   *   79.2
	A2	*   0   0	*   1.1   0.07	*   12.0   3.8	*   34.2   7.4	*   83.2   26.8	*   *   68.1	*   *   81.0
	B1	*   0   0	*   1.5   0.09	*   11.8   3.6	*   37.0   7.8	*   82.7   24.8	*   *   70.2	*   *   80.8
	B2	*   0   0	*   1.6   0.09	*   10.9   3.8	*   36.0   8.0	*   84.9   26.3	*   *   71.8	*   *   82.9
	C1	*   0   0	*   1.0   0.06	*   12.1   3.6	*   35.8   7.6	*   85.6   26.8	*   *   69.9	*   *   79.9
	C2	*   0   0	*   1.3   0.07	*   11.2   3.7	*   36.6   7.3	*   84.9   26.6	*   *   69.1	*   *   82.1
	CK	*   0   0	*   1.8   0.09	*   12.6   3.9	*   38.2   8.2	*   84.9   27.0	*   *   71.2	*   *   82.6

注:符号“\*”代表番茄带毒率 100%、发病率 100%。

Note: \* 100% poisoning rate and 100% incidence rate of tomato.

表 5 不同药剂不同施药方法后植株生物量变化( $\bar{x} \pm s_x$ )

Table 5 Variation of plant biomass by applying pesticide on different application methods

名称/防治方法 Name/Method of prevention	防治后植株生物量(g/株) Biomass after prevention	
	果实 Fruit	整株量(除果实) Amount of whole plant(excluding fruit)
A1	3.77 ± 0.09 a	19.38 ± 0.45 a
A2	3.66 ± 0.19 a	19.35 ± 0.24 a
B1	3.74 ± 0.17 a	19.48 ± 0.27 a
B2	3.59 ± 0.14 a	19.56 ± 0.21 a
C1	3.68 ± 0.16 a	19.57 ± 0.02 a
C2	3.71 ± 0.14 a	19.38 ± 0.27 a
CK1(感病品种‘圣帝’) CK1(cultivars ‘Shendi’)	3.65, 18 ± 0.16 a	19.24 ± 0.28 a
CK2(抗病品种‘金鹏 8 号’) CK2(Disease-resistant varieties ‘Jinpeng No. 8’)	142.46 ± 4.25 b	158.34 ± 3.25 b

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

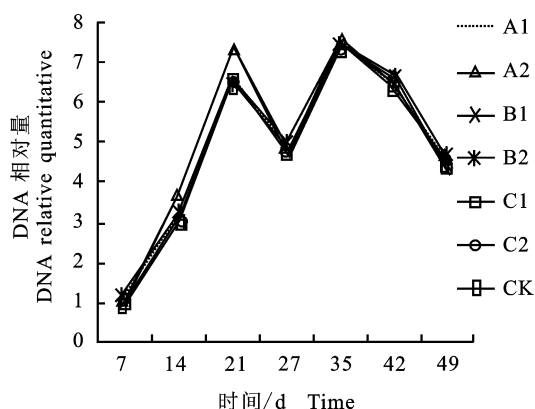
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

### 2.4 不同处理番茄带毒率的动态变化

图 1 显示,6 个处理和空白对照组番茄叶片的带毒率动态变化呈现出相同的规律性,0~21 d 不断增长,21~27 d 缓慢下降,27~35 d 再次呈

现增长趋势,第 35 天达到最高值后开始下降,其原因主要植物体内不断积累起来的针对“外源”的核酸抗体引起的<sup>[25]</sup>。3 种化学药剂不同施药时间和对照之间处理后番茄 TYLCV 变化无显著差

异,病毒增殖动态趋于一致。也就是说,当植物通过带毒烟粉虱将 TYLCV 接种到植株体内后,药剂无法抑制病毒在植株体内的增殖。



A1. 高效氯氟菊酯 1 000 倍液 3 d 施 1 次 1 000 times liquid of Cypermethrin 3 days at a time; A2. 高效氯氟菊酯 1 000 倍液 6 d 施 1 次 1 000 times liquid of Cypermethrin 6 days at a time; B1. 吡虫啉 1 500 倍液 3 d 施 1 次 Imidacloprid 1 500 times liquid 3 days at a time; B2. 吡虫啉 1 500 倍液 6 d 施 1 次 Imidacloprid 1 500 times liquid 6 days at a time; C1. 阿维菌素 1 000 倍液 3 d 施 1 次 Avermectin 1 000 times liquid 3 days at a time; C2. 阿维菌素 1 000 倍液 6 d 施 1 次 Avermectin 1 000 times liquid 6 days at a time; CK. 对照 Control

图 1 不同药剂处理后番茄植株病毒的荧光定量 PCR 检测结果

Fig. 1 Fluorescence quantitative PCR detection results of TYLCV after different treatments

### 3 讨论

本研究采用超常规高强度的施药手段,旨在评价药剂防治传播媒介烟粉虱对番茄黄化曲叶病毒病的控制效果与可行性,从而为该病的科学防控提供理论依据。研究表明,在无其他烟粉虱防治措施的前提下,使用 45% 高效氯氟菊酯乳油 1 000 倍液、5% 吡虫啉乳油 1 500 倍液和 1.8% 阿维菌素 1 000 倍液 3 种杀虫剂,采用间隔 3 d、6 d 不间断施药防治,在短期内对烟粉虱有较好的灭杀效果,但 72 h 后的种群数量恢复速度很快,并且对番茄 TYLCD 的发病率、病情指数、病毒在植株体内的扩繁均无降低或抑制作用,番茄生物量以及植株体内病毒的含量与空白对照无显著差异。

烟粉虱介体传播是 TYLCD 流行的关键环节,切断病毒的介体传播是控制该病的有效途径。本研究结果表明在番茄棚内一旦发现带毒烟粉虱,不论采用内吸性杀虫剂还是触杀性杀虫剂进

行烟粉虱的防治,无法实现 TYLCD 的有效防治,本研究结果与龚爱君<sup>[15]</sup>、宋建军等<sup>[16]</sup>、周涛等<sup>[17]</sup>、王富等<sup>[18]</sup>、孙作文等<sup>[26]</sup>的研究结果不完全相同。综合分析通过药剂防治烟粉虱对 TYLCD 无法有效防控的主要原因有以下几点:

烟粉虱繁殖能力和环境适应能力极强,施药时,一部分烟粉虱受到侵扰后会迁飞到附近寄主上,在药后 72 h 回迁及残留虫口共同导致种群快速恢复到施药前的水平,在中国种植单元小、种植区分散的实际情况下,对烟粉虱的大范围防控异常困难<sup>[27]</sup>。

烟粉虱带毒率非常高,5—6 月带毒率高达 100%<sup>[19]</sup>,即使在气温较低的 10 月份种群带毒率最低也在 40% 以上。且烟粉虱能通过水平(交配)和垂直(产卵)方式快速、持久性在种群内传播病毒,一旦少数带毒,短期内种群带毒率会大幅度增长<sup>[3-4]</sup>。

获毒和传毒速度快,烟粉虱在带毒植株上获毒 5~10 min 就可在其体内检测到番茄黄化曲叶病毒 DNA 的存在;获毒后潜伏期仅 8 h,传毒 5 min 后即可在传毒位点处检测到番茄黄化曲叶病毒 DNA 的存在<sup>[28]</sup>。烟粉虱在刺吸感病番茄 1 h 后,中肠内便可检测到番茄黄化曲叶病毒,8 h 后就能将病毒传给健康植株<sup>[4]</sup>。一旦种群中有一定数量的烟粉虱带毒或番茄带毒,烟粉虱在被灭杀之前已经成功获毒和传毒。

药剂发挥作用需要一定时间,从化学药剂对烟粉虱的有效杀灭时间看,至少需要 30 min 以上,这些化学药剂大多为触杀型和内吸型,由于烟粉虱十分活跃,触杀型药剂接触虫体几率大大降低;而内吸型杀虫剂在防治烟粉虱的同时也为病毒传播提供了途径。

烟粉虱传毒效能高,单头带毒成虫即可实现病毒的传播,引起 18.5% 的植株染病;当虫口密度增加到每株 10 头时,番茄染病率升至 100%<sup>[29]</sup>。本研究中,在 3 d 施 1 次的高强度频率时,单株番茄烟粉虱虫口密度常在 5 头左右。

### 4 结论

结合前人众多研究成果和本研究结果分析后认为,在使用杀虫剂防治传播介体烟粉虱对控制 TYLCD 无效情况下,应结合农艺措施进行综合防控;首先应选择栽培抗病品种,尤其是在大田栽培区域;其次在育苗和定植时,错开烟粉虱高发期

以避免番茄黄化曲叶病毒的侵染;最后在设施内栽植时,通风口和出入口均设置 50 目防虫网,可以有效防控烟粉虱的传入,同时应在棚室内悬挂黄板,对少量传入的烟粉虱进行诱杀,降低烟粉虱的虫口密度,减轻病毒病的发生。

#### 参考文献 Reference:

- [1] POLSTON J E, ROSEBROCK T R, SHERWOOD T. Appearance of tomato yellow leaf curl virus in North Carolina [J]. *Plant Disease*, 2002, 86(1): 73.
- [2] 张纯胃, 吴永汉, 许方. 温州市番茄曲叶病毒病的发生与防治对策[J]. *浙江农业科学*, 2007(6): 697-701.  
ZHANG CH ZH, WU Y H, XU F CH. Occurrence and control strategy of tomato yellow leaf curl virus in Wenzhou [J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2007(6): 697-701.
- [3] BROWN J K, CZOSNEK H. Whitefly transmission of plant viruses[J]. *Advances in Botanical Research*, 2002, 36: 65-76.
- [4] CZOSNEK H, GHANIM M. *Bemisia tabaci*-tomato yellow leaf curl virus interaction causing worldwide epidemics [M]//WMO THOMPSON (eds). The whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) interaction with Gemini-virus-infected host plants. New York: Springer Science and Business Media, 2011: 51-67.
- [5] COLVIN J, OMONGO C A, GOVINDAPPA M R, et al. Host-plant viral infection effects on arthropod-vector population growth, development and behavior; management and epidemiological implications [J]. *Advances in Virus Research*, 2006, 67: 419-452.
- [6] 王周平, 霍国琴, 张伟兵, 等. 陕西番茄栽培现状与品种选择 [J]. *西北园艺*, 2012(7): 4-7.  
WANG ZH P, HUO G Q, ZHANG W B, et al. Present situation and selection of tomato cultivation in Shaanxi province [J]. *Northwest Horticulture*, 2012(7): 4-7.
- [7] 朱金良, 祝增荣, 周 瀛, 等. 水稻播种期对灰飞虱及其传播的条纹叶枯病发生流行的影响 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3052-3059.  
ZHU J L, ZHU Z R, ZHOU Y, et al. Effect of rice sowing date on occurrence of the small brown planthopper and epidemics of the planthopper-transmitted rice stripe virus disease [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3052-3059.
- [8] 柳晓磊, 李 鹏, 蒙忠辉, 等. 70% 噻虫嗪种子处理可分散粉剂防治南方水稻黑条矮缩病药效试验 [J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(1): 115-116.  
LIU X L, LI P, MENG ZH H, et al. The efficiency test of 70% thiamethoxam on Southern rice black-streaked dwarf virus [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(1): 115-116.
- [9] 王道泽, 洪文英, 吴燕君, 等. 防治白背飞虱对南方水稻黑条矮缩病发生的影响 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2015, 41(6): 650-658.
- WANG D Z, HONG W Y, WU Y J, et al. Effect of controlling white-backed planthopper on the occurrence of southern rice black-streaked dwarf disease [J]. *Journal of Zhangjiang University (Agriculture&Life Science)*, 2015, 41(6): 650-658.
- [10] 康昕东. 应用丙森锌、吡虫啉防治辣椒、烟草、黄瓜花叶病、烟草花叶病技术研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2005.  
KANG T D. Technology research of the application of propineb and imidacloprid against CMV and TMV of pepper and tobacco [D]. Changsha: Hunan University, 2005.
- [11] GIL Y, SINFORT C, BRUNET Y. Atmospheric loss of pesticides above an artificial vineyard during air-assisted spraying [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, 41: 2945-2957.
- [12] 姚 远. 不同药剂对烟粉虱防治效果及阿维菌素应用技术研究 [D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2011.  
YAO Y. Control effects of different insecticides on *Bemisia tabaci* (Gennadius) and application technology study of abamectin [D]. Yangzhou Jiangsu: Yangzhou University, 2011.
- [13] 杨 华. 烯啶虫胺和吡蚜酮单剂及复配剂对温室烟粉虱的防治研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.  
YANG H. Study on prevention of nitenpyram and pymetrozine single agent and synergistic agent on greenhouse whitefly [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2014.
- [14] 方亚科. 杨凌设施蔬菜害虫种类调查与烟粉虱发生规律和防治技术研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2015.  
FANG Y K. The survey of pest species in greenhouse vegetable and occurrence regularity and control technology of *Bemisia tabaci* in Yangling [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2015.
- [15] 龚爱君. 番茄黄化曲叶病毒病 (TY) 防治策略 [J]. *陕西农业科学*, 2012(6): 266-267.  
GONG A J. The control strategies for the tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2012(6): 266-267.
- [16] 宋建军, 刘红霄, 仇 燕, 等. 番茄黄化曲叶病毒病的发生分布及防治对策 [J]. *北方园艺*, 2010(7): 147-150.  
SONG J J, LIU H X, QIU Y, et al. Distribution and control strategies of tomato yellow leaf curl virus disease [J]. *Northern Horticulture*, 2010(7): 147-150.
- [17] 周 涛, 师迎春, 陈笑瑜, 等. 北京地区番茄黄化曲叶病毒病的鉴定及防治对策 [J]. *植物保护*, 2010, 36(2): 116-118.  
ZHOU T, SHI Y CH, CHEN X Y, et al. Identification and control of tomato yellow leaf curl virus disease in Beijing [J]. *Plant Protection*, 2010, 36(2): 116-118.
- [18] 王 富, 李文丽. 番茄黄化曲叶病毒病综合防控技术 [J]. *中国果菜*, 2009, 10(7): 31-33.  
WANG F, LI W L. The integrated control technology for

- tomato yellow leaf curl virus [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2009, 10(7): 31-33.
- [19] 刘晨, 陈志杰, 张锋, 等. 烟粉虱带毒率与番茄黄化曲叶病毒病的发生关系 [J]. *西北农业学报*, 2016, 25(8): 1244-1249.
- LIU CH, CHEN ZH J, ZHANG F, *et al.* Relationship between virus carrying rate of *Bemisia tabaci* with TY occurrence [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(8): 1244-1249.
- [20] 买热木古丽·克依木, 李晶, 王惠卿, 等. 新疆地区烟粉虱携带番茄黄化曲叶病毒动态检测 [J]. *新疆农业科学*, 2014, 51(3): 455-463.
- MAIREMUGULI · KEYIMU, LI J, WANG H Q, *et al.* Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) carrying status of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51(3): 455-463.
- [21] 周一万, 陈丽, 郝双红, 等. 关中地区番茄病毒病病原种类调查及药剂防治试验 [J]. *西北农业学报*, 2003, 12(4): 56-59.
- ZHOU Y W, CHEN L, HAO SH H, *et al.* Investigation and integrated control of tomato virosis in Guanzhong zone [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2003, 12(4): 56-59.
- [22] MORIN S, GHANIM M, ZEIDAN M, *et al.* A GroEL homologue from endosymbiotic bacteria of the whitefly *Bemisia tabaci* is implicated in the circulative transmission of tomato yellow leaf curl virus [J]. *Virology*, 1999, 256(1): 75-84.
- [23] 李常保, 崔彦铃, 张丽英. 番茄黄化曲叶病毒的快速分子检测 [J]. *遗传*, 2012, 34(3): 366-370.
- LI CH B, CUI Y L, ZHANG L Y. Molecular detection of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) [J]. *Hereditas*, 2012, 34(3): 366-370.
- [24] 朱云聪, 邓宇芳, 何顺, 等. 基于 Real-time PCR 监测番茄黄化曲叶病毒在番茄植株中的动态变化 [J]. *植物病理学报*, 2014, 44(4): 363-369.
- ZHU Y C, DENG Y F, HE SH, *et al.* Quantification of tomato yellow leaf curl virus in tomato plant by SYBR Green I Real-time PCR assays [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2014, 44(4): 363-369.
- [25] HULL R. *Marthews' s Plant Virology* [M]. New York: Academic Press, 2001: 373-436.
- [26] 孙作文, 杨进绪, 张美珍, 等. 山东省番茄黄化曲叶病毒病的发生及其防治 [J]. *中国蔬菜*, 2009, 1(21): 5-6.
- SUN Z W, YANG J X, ZHANG M ZH, *et al.* The occurrence and control technology for tomato yellow curl virus in Shandong province [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2009, 1(21): 5-6.
- [27] 李萌. 烟粉虱—双生病毒—寄主植物互作及植物防御机制研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- LI M. Investigations on interactions of *Bemisia tabaci*—geminiviruses—plants and the underlying plant defensive mechanisms [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [28] NAVOT N, ZEIDAN M, PICHESKY E, *et al.* Use of polymerase chain reaction to amplify tomato yellow leaf curl virus DNA from infected plants and viruliferous whiteflies [J]. *Phytopathology*, 1992, 82(10): 199-202.
- [29] ATZMON G, VAN HOSS H, CZOSNEK H. PCR-amplification of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) from squashes of plants and insect vectors; application to the study of TYLCV acquisition and transmission [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 1998, 104(2): 189-194.

## Effectiveness of Insecticides on Control of Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease Transmitted by *Bemisia tabaci*

LI Yingmei<sup>1,3</sup>, YANG Miaomiao<sup>1,2</sup>, LIU Chen<sup>1,3</sup>, CHEN Zhijie<sup>1,3</sup>,  
ZHANG Feng<sup>1,3</sup>, REN Ping<sup>1,3</sup> and HONG Bo<sup>1</sup>

(1. Bio-Agriculture Institute of Shaanxi, Xi'an 7100432, China; 2. College of Bioengineering, College of Life Science and Food Engineering, Shaanxi Xueqian Normal University, Xi'an 710100, China;  
3. Enzyme Engineering Research Center of Shaanxi, Xi'an 710600, China)

**Abstract** The tomato variety 'Shengdi', sensitive to tomato yellow leaf curl virus disease, was planted in greenhouses with relatively lower (about 15 heads/plant of trifoliate leaves) and higher (about 60 heads/plant of trifoliate leaves) population densities of *Bemisia tabaci*. Beta-cypermethrin, imidacloprid and abamectin which could kill *Bemisia tabaci* were used to study the correlation among the reduction of population densities of *Bemisia tabaci*, incidence of TYLCV disease on tomato and the change of carrier rate of TYLCV in tomato and *Bemisia tabaci*. The results showed that cypermethrin, imidacloprid and avermectin could effectively limit the population density of *Bemisia tabaci* 24 h post application, and the population density of *Bemisia tabaci* showed decrease of 90.2%, 84.8% and



83.9%, respectively. But at 72 h after using these drug, the population density of *Bemisia tabaci* presented 12.5%, 22.8%, 23.5% reduction, it meant that population of *Bemisia tabaci* were quickly recovered at that time. Six days later, the carrier rate of TYLCV in tomato plant reached to 100%, and plant showed symptoms on the 18th day. In addition, the results showed that there was no significant difference in tomato yield and whole-plant biomass of tomato plants between the drug treatment group and the control group. However, the yield and whole-plant biomass of the disease-resistant variety were significantly higher than that of the drug treatment. Therefore, for *Bemisia tabaci*, an insect with strong transmission ability and reproductive ability, persistent virus acquisition and virus transmission throughout the life cycle, the simple chemical strategies were unable to achieve effective prevention and control for tomato yellow leaf curl virus disease. On the contrary, it increased the economic burden and workload for the growers. On the basis of results, the selection of disease-resistant varieties, integrated prevention and control should be promoted in production combined with several agronomic measures, such as the adjustment of planting date, and the application of off-insect net and yellow sticky trap.

**Key words** *Bemisia tabaci*; Tomato yellow leaf curl virus; Pesticide; Control technique; Persistent virus

**Received** 2018-08-19

**Returned** 2018-09-23

**Foundation item** Shaanxi Academy of Sciences(No. 2016K-02); Science and Technology Project for Agriculture of Shaanxi Province(No. 2016NY-204); Science and Technology Plan of Shaanxi Province(No. 2017JQ3029); Project of Bio-Experiment and Bio-Education Center of Shaanxi Province.

**First author** LI Yingmei, female, master, associate research fellow. Research area: integrated prevention and control of vegetable diseases and pests. E-mail: liyingmei@163.com

**Corresponding author** REN Ping, female, associate research fellow. Research area: integrated prevention and control of vegetable diseases and pests. E-mail: mysrenping@163.com

(责任编辑:郭柏寿 Responsible editor: GUO Baishou)