

烟粉虱及温室白粉虱为害后对后续粉虱种群的影响*

陈春丽^{1,2**} 郅军锐^{1***} 匡先钜² 戈峰^{2***}

(1. 贵州省山地农业病虫害重点实验室, 贵州大学昆虫研究所, 贵阳 550025;

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

摘要 【目的】分析烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 或温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) 为害番茄后对后续温室白粉虱和烟粉虱生长、发育、成虫寿命和繁殖等产生的促进或抑制作用, 可为明确寄主植物番茄介导的温室白粉虱-烟粉虱的种间互作, 开展粉虱的科学防控提供科学依据。【方法】通过在寄主植物番茄叶片上先将 B 型烟粉虱或温室白粉虱按不同的顺序、时间间隔分开接种, 再系统观察后续接上的两种粉虱生长、发育、繁殖等种群参数的变化。【结果】(1) 先期接上烟粉虱对后续温室白粉虱的发育、寿命、产卵量有明显的促进作用; 这种作用需烟粉虱的持续诱导, 若去掉烟粉虱, 其对温室白粉虱的促进作用即消失; 先期接上温室白粉虱可缩短后续烟粉虱伪蛹期, 但温室白粉虱的持续存在不利于烟粉虱的产卵, 且明显降低烟粉虱的内禀增长率和净增殖率。(2) 先后在番茄上同时接上温室白粉虱可降低后续烟粉虱的单雌产卵量和雌、雄虫的成虫寿命; 先后同时接种烟粉虱却显著地增加了温室白粉虱的单雌产卵量; 烟粉虱的提前存在降低了后续烟粉虱单雌产卵量。(3) 但两种粉虱之间作用存在着一定的时间滞后性。烟粉虱对温室白粉虱的发育、寿命、产卵量产生的促进作用大约在其卵期后的一段时间才能显现出来; 温室白粉虱对烟粉虱伪蛹期的缩短作用也需提前诱导; 而温室白粉虱对温室白粉虱的促进作用相当滞后, 直到成虫期才显现出来。【结论】B 型烟粉虱和温室白粉虱之间可通过寄主番茄产生相互影响, 前期烟粉虱为害可显著促进后续温室白粉虱卵和若虫的发育, 而前期温室白粉虱为害对烟粉虱的发育不利。**关键词** B 型烟粉虱, 温室白粉虱, 种群参数, 番茄介导, 诱导抗性

Effect of previous infestation of tomatoes by *Bemisia tabaci* or *Trialeurodes vaporariorum* on the fitness of these whitefly species

CHEN Chun-Li^{1,2**} ZHI Jun-Rui^{1***} KUANG Xian-Ju² GE Feng^{2***}

(1. Institute of Entomology, Guizhou University, Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Guiyang 550025, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pests and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the interspecific interactions between *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* mediated by the tomato host-plant, specifically the effect of previous infestation of tomatoes by either *B. tabaci* or *T. vaporariorum* on the development, growth, adult longevity and female fecundity of *B. tabaci* and *T. vaporariorum*. 【Methods】Tomatoes were experimentally infested with either *B. tabaci* B biotype or *T. vaporariorum* and the subsequent development, growth, reproduction and so on of each pest species was systematically monitored. 【Results】(1) Prior infestation with *B. tabaci* significantly improved the development, longevity, and female fecundity of *T. vaporariorum*, and furthermore, if *B. tabaci* were removed, these effects disappeared instantly. Prior infestation with *T. vaporariorum* significantly shortened the

* 资助项目 Supported projects: 农业公益性行业科研专项 (201303019)

**第一作者 First author, E-mail: 335734591@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhijunrui@126.com; gef@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2015-01-09, 接受日期 Accepted: 2015-01-19

pupal stage of *B. tabaci*, but the absence of *T. vaporariorum* was not beneficial to the oviposition of *B. tabaci*, significantly reducing its intrinsic rate of natural increase and net reproductive rate. (2) Prior infestation of *T. vaporariorum* reduced female fecundity and adult longevity of *B. tabaci* but previous infestation of *B. tabaci* significantly increased the female fecundity of *T. vaporariorum*. Prior infestation by *B. tabaci* significantly reduced the female fecundity of *B. tabaci*. (3) A time delay was apparent in the above effects. The beneficial effects of prior infestation with *B. tabaci* on the development, longevity and fecundity of *T. vaporariorum* appeared after the egg stage and shortening the pupal stage of *B. tabaci* also required early induction. The beneficial effects of prior infestation of *T. vaporariorum* on *T. vaporariorum* were also not apparent until the adult stage. **[Conclusion]** *B. tabaci* and *T. vaporariorum* affect each other through their common host-plant, the tomato. Previous infestation with *B. tabaci* significantly promoted the development of the eggs and larvae of *T. vaporariorum* whereas previous infestation by *T. vaporariorum* was not beneficial to the development of *B. tabaci*.

Key words *Bemisia tabaci* biotype B, *Trialeurodes vaporariorum*, population parameters, interaction via host tomato, induced resistance

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) 均属同翅目, 粉虱科, 都是重要的世界性害虫。它们的寄主范围非常广泛, 许多栽培和非栽培的一年生或多年生植物都是其共同寄主 (David, 1991; 向玉勇等, 2004)。我国的烟粉虱记载于 1949 年 (周尧, 1949), 分布于广东、广西、海南、福建、云南、上海、浙江、江西、湖北、四川、陕西、台湾等地 (Xu, 1996)。近年在新疆、河北、天津、山东、山西也已发现。很长一段时间, 烟粉虱不是主要的经济害虫。但近年来, 烟粉虱有爆发之势 (罗晨等, 2000), 已扩散到全国 22 个省市自治区, 并且正不断扩散到更多的地区, 已成为棉花和蔬菜等作物的重要害虫 (林克剑等, 2004)。B 型烟粉虱是其中的一个重要生物型 (罗晨, 2002; Wu *et al.*, 2002, 2003)。

温室白粉虱的发源地在南美的巴西和墨西哥一带 (严盈等, 2008), 随寄主植物传至美国和加拿大, 再由此传入欧洲。目前加拿大、美国、中南美洲各国、夏威夷群岛、欧洲、非洲、亚洲西部、东南亚、东亚各国及整个大洋洲均有发生 (向玉勇等, 2004)。该虫于 20 世纪 60 年代初传入我国, 70 年代迅速扩展到内蒙古一带, 1976 年在北京大爆发, 目前在我国的东北、华北、华东和西北各省普遍发生。温室白粉虱为世界性害虫, 虽广泛分布于欧洲、亚洲、非洲、美洲和大洋洲等 48 个国家和地区, 但仅发生在温室、大

棚作物上 (罗晨等, 2007; 任顺祥等, 2011; 付雪等, 2011)。

烟粉虱和温室白粉虱是生态位非常相近的两种近缘种, 它们有许多共同的寄主, 经常同时发生, 之间通过多种方式存在着直接的生态位竞争。除了直接的生态位竞争, 粉虱取食后还激活寄主植物的防御体系、诱导植物的生理代谢等, 从而对后来或同时存在的同种或其他种粉虱产生间接竞争。已有研究表明, 烟粉虱通过多种生理、行为途径与温室白粉虱进行种间竞争 (罗晨等, 2007; 任顺祥等, 2011; 付雪等, 2011), 甚至在一些地方逐渐取代了温室白粉虱而成为了主要粉虱类害虫 (罗晨等, 2000)。那么, 一种粉虱为害后对后续的同种或异种粉虱的生长发育有什么影响, 作用的时间多久, 目前仍不清楚。

本文以番茄作为它们的共有寄主, 首先在寄主植物番茄上接入的一种粉虱 (烟粉虱或温室白粉虱), 让其在番茄上取食一段时间, 之后将这些粉虱移走或继续保留, 再接入同种或异种粉虱 (烟粉虱或温室白粉虱), 观察这些后续的烟粉虱或温室白粉虱其生长、发育和繁殖情况, 为阐明寄主植物番茄介导的温室白粉虱-烟粉虱的种间互作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

B 型烟粉虱采自中国农业科学院, 温室白粉

虱采自实验基地附近的温室,分别在纱网罩子(2 m×1.2 m×1.5 m)里用棉花饲养3代以上备用。寄主植物为番茄(品种为硬粉)。

1.2 试验处理

为研究烟粉虱和温室白粉虱通过寄主植物番茄(未考虑通过空气传播的信息素的交流)的种间与种内相互影响,将首先接入的粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)称为诱导粉虱,后续接入观测的同种或异种粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)称为靶标粉虱;为确定影响的产生是瞬时的还是需要一定的时间(时滞性),诱导粉虱的接种时间设定了两个水平:靶标粉虱接种前6 d(茉莉酸和水杨酸的表达在植株受伤后到7 d达到顶峰)和与靶标粉虱同时接种;为确定影响的持久性,诱导粉虱的作用时间设置了两个水平:6 d和靶标粉虱整个生活周期。

通过在寄主植物番茄上接入的诱导粉虱(烟粉虱或温室白粉虱),让其在番茄上取食6 d;之后将这些诱导粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)保留或去除移走,再接入后续的靶标粉虱(烟粉虱或温室白粉虱),观察这些后续的烟粉虱或温室白粉虱其生长、发育和繁殖情况,并都设有对照(图1)。共12个处理,分别为:

1. 不接种—6 d后—接种靶标温室白粉虱;
2. 不接种—6 d后—接种靶标烟粉虱;
3. 接种诱导温室白粉虱—6 d后—保留诱导温室白粉虱,接种靶标烟粉虱;
4. 接种诱导温室白粉虱—6 d后—保留诱导温室白粉虱,接种靶标温室白粉虱;
5. 接种诱导烟粉虱—6 d后—保留诱导烟粉虱,接种靶标烟粉虱;
6. 接种诱导烟粉虱—6 d后—保留诱导烟粉虱,接种靶标温室白粉虱;
7. 接种诱导温室白粉虱—6 d后—去掉诱导温室白粉虱,接种靶标烟粉虱;
8. 接种诱导温室白粉虱—6 d后—去掉诱导温室白粉虱,接种靶标温室白粉虱;
9. 接种诱导烟粉虱—6 d后—去掉诱导烟粉虱,接种靶标烟粉虱;

10. 接种诱导烟粉虱—6 d后—去掉诱导烟粉虱,接种靶标温室白粉虱;

11. 不接种—6 d后—温室白粉虱和烟粉虱调查温室白粉虱;

12. 不接种—6 d后—温室白粉虱和烟粉虱调查烟粉虱。

1.3 观测方法

具体观察方法为,当番茄长到5个叶时,选出80棵长势基本一致的番茄植株,其中40棵用来接诱导烟粉虱,40棵用来接诱导温室白粉虱,每棵上3个重复,每个重复接40头成虫,分别用自封袋套住(自封袋用针扎上小孔以透气);接诱导粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)6 d后,再在上述诱导烟粉虱或温室白粉虱的40棵番茄苗中,将其中的20棵去除成虫及卵和若虫,另外20棵不去除,进行诱导粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)的保留或去除处理;之后,进一步将其中去除干净及没去除的20棵苗中分别取10棵接后续的靶标烟粉虱(40头),10棵接后续的靶标温室白粉虱(40头),且分别接在同一个枝子的不同叶子上,每棵3个重复,在其产卵24 h后,去掉成虫,每个叶片上留30粒卵;以后每天观察后续的靶标粉虱的生长发育,直至到成虫后,选雌雄各1对做产卵量调查,并观察雌雄成虫的寿命。

1.4 数据统计分析

烟粉虱和温室白粉虱种群生命表参数采用齐心的Age-stage, two-sex life table analysis-MSChart软件进行统计和计算。用SPSS 13.0统计分析软件的广义线性模型(General linear model)和One-way ANOVA LSD检验进行处理间试验数据的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 接入诱粉虱6 d后对后续的粉虱种群参数的影响

通过在番茄上先接入诱导粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)6 d后,再接入后续的靶标粉虱(烟粉虱或温室白粉虱),观察对其生长、发育、繁

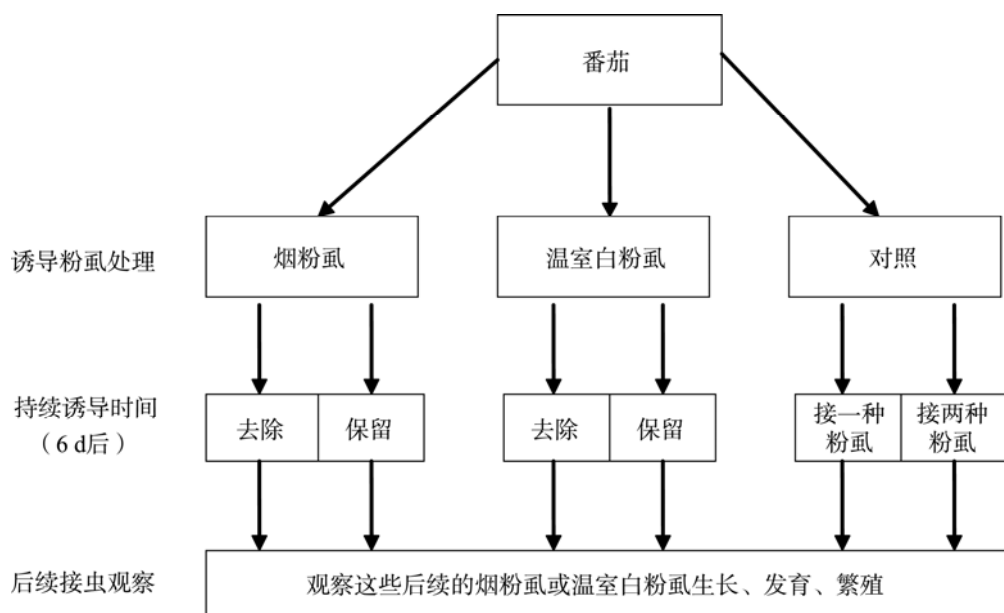


图 1 番茄上先接入的诱导粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)保留或去除后对后续的靶标粉虱(烟粉虱或温室白粉虱)生长、发育、繁殖影响的实验设计示意图

Fig.1 Experiment design on effect on development, growth and reproduction of subsequent target whitefly (*Bemisia tabaci* or *Trialeurodes vaporariorum*) by inducing whitefly (*Bemisia tabaci* or *Trialeurodes vaporariorum*) previous infestation on tomato, which is retention or removal

殖的影响。结果表明,前期粉虱的为害明显缩短了后续温室白粉虱卵的历期和未成熟历期(图 2; $P \leq 0.05$),提高了其单雌产卵量(图 3; $P \leq 0.05$),但对其的若虫期、伪蛹期和成虫寿命没有明显影响($P > 0.05$)。与之相反,前期粉虱的为害对烟粉虱的单雌产卵有明显的抑制作用(图 4; $P \leq 0.05$),但对烟粉虱其它参数没有明显影响($P > 0.05$)。

2.2 前期诱导对粉虱种群参数的影响

通过比较一直未接粉虱(对照)、与 6 d 前接种相同粉虱(共存处理)、与 6 d 前接种另一种粉虱(提前诱导处理)3 个处理番茄植株上成虫前各龄的历期、雌雄虫的寿命和单雌产卵量结果(图 5, 图 6)显示,与对照和同时接种烟粉虱相比较,提前 6 d 接入诱导粉虱明显促进了温室白粉虱卵期的发育(图 5, $P \leq 0.01$);与对照和诱导处理比较,同时接种烟粉虱明显促进了温室白粉虱若虫的发育(图 5, $P \leq 0.05$);同时接种烟粉虱和提前诱导对温室白粉虱的整个未成熟期都有明显的促进作用(图 5, $P \leq 0.05$)。同

时接种烟粉虱和提前诱导,都明显提高了温室白粉虱单雌产卵量(图 6, $P \leq 0.05$),但后两者之间没有明显差异(图 6)。

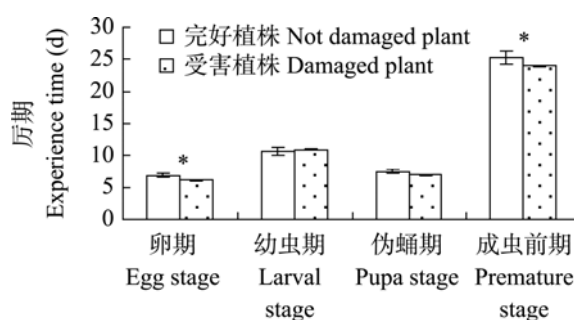


图 2 前期粉虱为害的受害植株对后续温室白粉虱发育历期的影响

Fig. 2 Effect on development time of subsequent *Trialeurodes vaporariorum* by damaged-plant previous infestation by whitefly

柱上有*或**表示相邻柱表示的数据在 0.05 或 0.01 水平有差异,下同。

Hiatograms with * or ** indicate significant difference between adjacent column at 0.05 or 0.01 level, respectively. The same below.

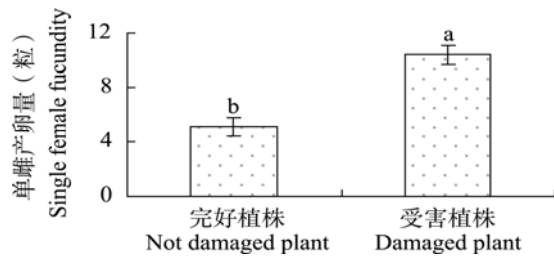


图 3 前期粉虱为害的受害植株对温室白粉虱单雌产卵量的影响

Fig. 3 Effect on female fecundity of *Trialeurodes vaporariorum* by damaged-plant previous infestation by whitefly

柱上标有不同小写或大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著差异, 下同。

Histograms with small or capital letters indicate significant difference between adjacent column at 0.05 or 0.01 level, respectively. The same below.

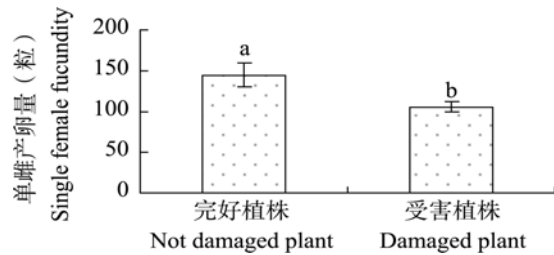


图 4 前期粉虱为害的受害植株对烟粉虱单雌产卵量的影响

Fig. 4 Effect on female fecundity of *Bemisia tabaci* by damaged-plant previous infestation by whitefly

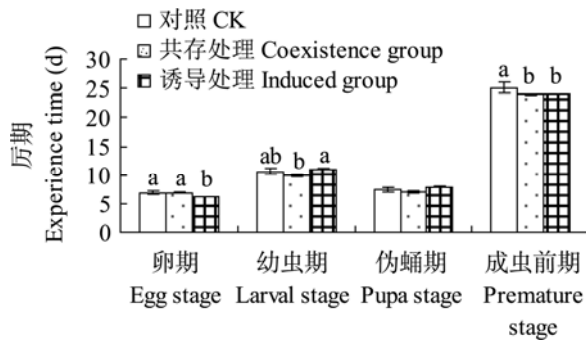


图 5 未接粉虱 (对照)、与 6 d 前接种相同粉虱 (共存处理)、与 6 d 前接种另一种粉虱 (诱导处理) 3 个处理番茄植株上温室白粉虱成虫前各龄的历期变化

Fig. 5 Time vary on each life stage before adult of *Trialeurodes vaporariorum* on tomato were not previously infested compare with previous infestation by the same whitefly species 6 days before (coexistence group) and previous infestation by another whitefly species 6 days before (induced group)

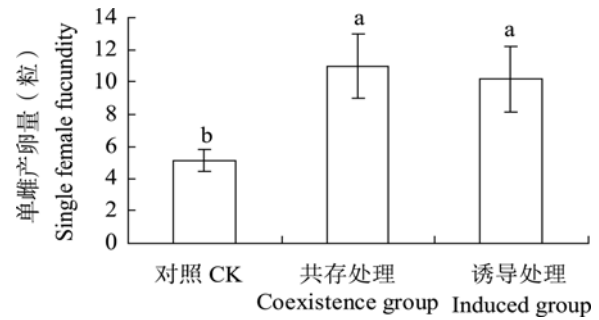


图 6 未接粉虱 (对照)、与 6 d 前接种相同粉虱 (共存处理)、与 6 d 前接种另一种粉虱 (诱导处理) 3 个处理番茄植株上温室白粉虱产卵量变化

Fig. 6 Female fecundity of *Trialeurodes vaporariorum* on tomato were not previously infested compare with previous infestation by the same whitefly species 6 days before (coexistence group) and previous infestation by another whitefly species 6 days before (induced group)

同时接种温室白粉虱和提前诱导, 对烟粉虱卵的发育都没有明显影响; 但对于若虫和伪蛹的发育, 同时接种温室白粉虱和提前诱导虽与对照相比都没有明显差异, 但二者之间有显著差异 ($P \leq 0.05$)。其中: 在若虫期, 同时接种起促进作用, 提前诱导起抑制作用; 在伪蛹期, 同时接种起抑制作用, 提前诱导起促进作用; 从烟粉虱的整个未成熟期来看, 同时接种温室白粉虱和提前诱导都没有明显影响 (图 7)。结果还表明, 同时接种温室白粉虱和提前诱导对烟粉虱的单雌产卵量的影响没有明显差异, 但与对照相比, 都显著降低了烟粉虱的单雌产卵量 (图 8)。

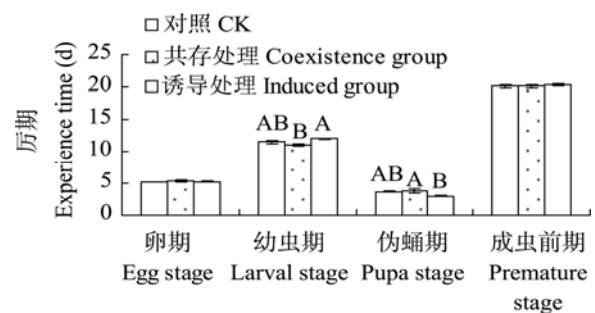


图 7 未接粉虱 (对照)、与 6 d 前接种相同粉虱 (共存处理)、与 6 d 前接种另一种粉虱 (诱导处理) 3 个处理番茄植株上烟粉虱成虫前各龄的历期变化

Fig. 7 Time vary on each life stage before adult of *Bemisia tabaci* on tomato were not previously infested compare with previous infestation by the same whitefly species 6 days before (coexistence group) and previous infestation by another whitefly species 6 days before (induced group)

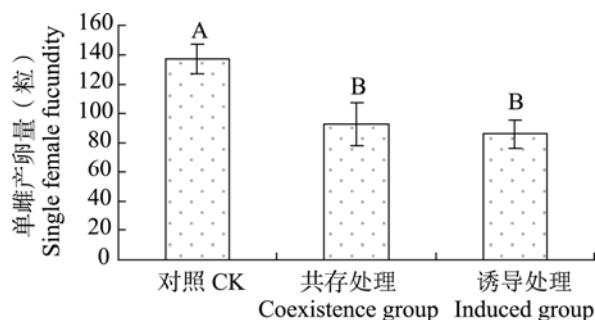


图8 未接粉虱(对照)、与6 d前接种相同粉虱(共存处理)、与6 d前接种另一种粉虱(诱导处理)3个处理番茄植株上烟粉虱产卵量变化

Fig. 8 Female fecundity of *Bemisia tabaci* on tomato were not previously infested compare with previous infestation by the same whitefly species 6 days before (coexistence group) and previous infestation by another whitefly species 6 days before (induced group)

2.3 诱导粉虱不同种类对后续粉虱的影响

进一步对诱导粉虱不同种类与去留对后续粉虱的影响多因素方差分析表明,诱导粉虱的种类对温室白粉虱卵、若虫和伪蛹都有显著影响($P \leq 0.05$);诱导粉虱的去留对温室白粉虱的卵、若虫的发育和雄虫的寿命有显著影响($P \leq 0.05$);两者仅对温室白粉虱卵的发育存在交互作用($P \leq 0.05$)。同样,诱导粉虱的种类对烟粉虱卵、若虫和伪蛹也都有显著影响($P \leq 0.05$);诱导粉虱的去留仅对烟粉虱卵的发育有极显著影响($P \leq 0.01$);两者仅对烟粉虱卵、若虫的发育和单雌产卵量存在交互作用($P \leq 0.05$)。

具体体现在,与温室白粉虱诱导相比,烟粉虱诱导显著促进了温室白粉虱卵和若虫的发育,虽然对伪蛹发育没明显影响,但还只极显著地缩短了整个非成虫的历期($P \leq 0.01$) (图8);而烟粉虱和温室白粉虱诱导对温室白粉虱的成虫寿命和单雌产卵量都没有明显影响($P > 0.05$)。

同样,与温室白粉虱诱导相比,烟粉虱诱导极显著促进了烟粉虱卵的发育($P \leq 0.01$),但极显著地抑制了若虫和伪蛹的发育($P \leq 0.01$),因而显著地延长了整个非成虫的历期($P \leq 0.05$) (图10);但烟粉虱和温室白粉虱诱导同样对烟粉虱的成虫寿命和单雌产卵量都没有明显影响($P > 0.05$)。

2.4 诱导粉虱去留对后续粉虱的影响

诱导粉虱去除与保留仅对温室白粉虱卵的发育有极显著的的影响,去除诱导粉虱极显著地延长了卵的发育期($P \leq 0.01$);两者对于若虫期、伪蛹期和整个未成熟期发育的影响没有明显差异(图11);去除诱导粉虱显著地缩短了温室白粉虱雄虫的寿命,但对雌虫寿命没有明显影响,对温室白粉虱单雌产卵量也没有明显的影响($P > 0.05$)。

诱导粉虱去除与保留也仅对烟粉虱卵的发育的影响有极显著的差异,去除诱导粉虱极显著地延长了卵的发育期($P \leq 0.01$);两者对于若虫期、伪蛹期和整个未成熟期发育的影响没有明显差异(图12);去除诱导粉虱对烟粉虱雌、雄虫寿命和单雌产卵量也都没有明显的影响($P > 0.05$)。

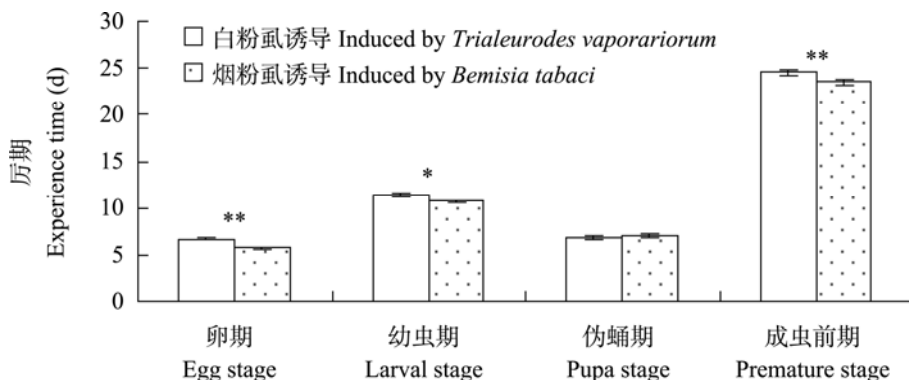


图9 诱导粉虱种类对温室白粉虱发育历期的影响

Fig. 9 Effect on development time of *Trialeurodes vaporariorum* by inducing whitefly species

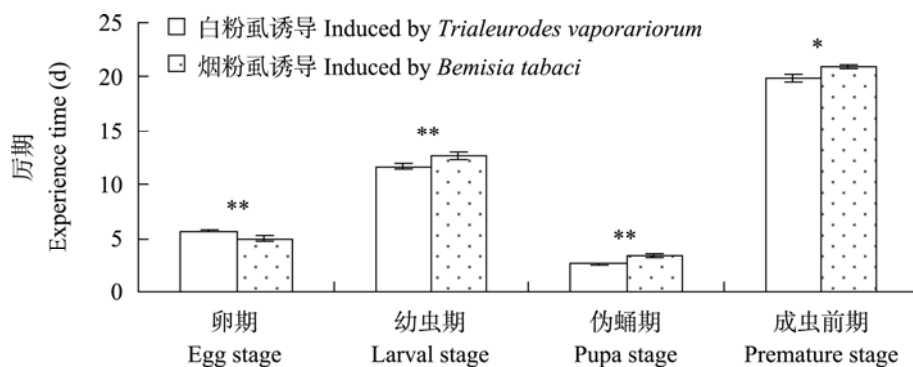


图 10 诱导粉虱种类对烟粉虱发育历期的影响

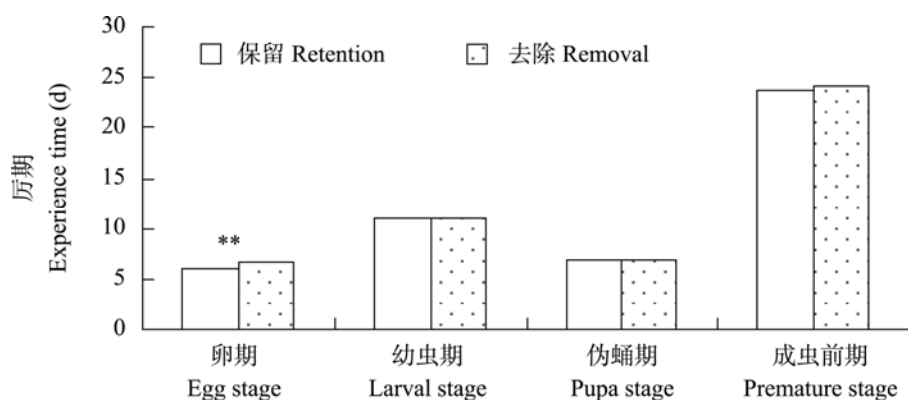
Fig. 10 Effect on development time of *Bemisia tabaci* by inducing whitefly species

图 11 诱导粉虱去除与否对温室白粉虱发育历期的影响

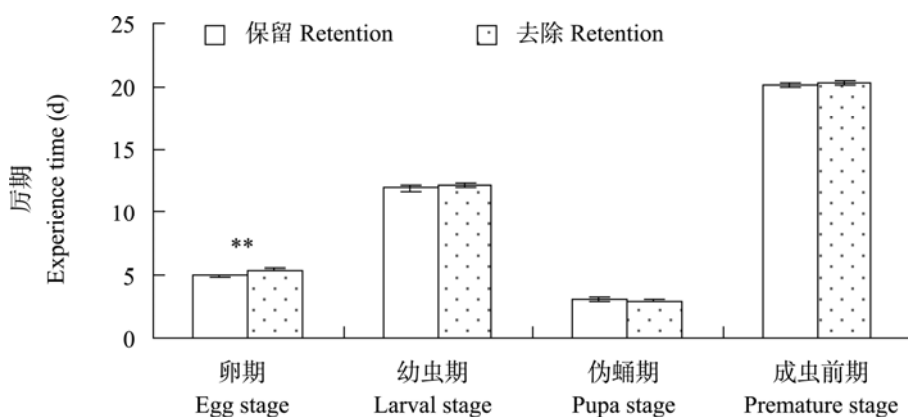
Fig. 11 Effect on development time of *Trialeurodes vaporariorum* by inducing whitefly, retention or removal

图 12 诱导粉虱去除与否对烟粉虱发育历期的影响

Fig. 12 Effect on development time of *Bemisia tabaci* by inducing whitefly, retention or removal

3 讨论

自 20 世纪 70 年代温室白粉虱在我国华北地

区大暴发以来,我国北方温室中发生的粉虱均为温室白粉虱(罗晨等,2000),而近年来烟粉虱在多地逐渐取代了温室白粉虱而成为主要粉虱

类害虫(任顺祥等, 2011)。本文结果清楚表明, 温室白粉虱和烟粉虱取食可以通过寄主植物进行相互影响。从它们之间通过寄主植物番茄的相互作用来看, 同时接种烟粉虱和提前诱导都明显的促进温室白粉虱卵期与若虫期的发育, 显著地增加了温室白粉虱的单雌产卵量, 即有利于温室白粉虱的发生; 而先期接上温室白粉虱可缩短后续烟粉虱伪蛹期, 但明显降低烟粉虱的内禀增长率和净增殖率; 同时接上温室白粉虱可降低后续烟粉虱的单雌产卵量和雌、雄虫的成虫寿命; 烟粉虱的提前存在降低了后续烟粉虱单雌产卵量, 即不利于烟粉虱的发生。

已有研究表明, 烟粉虱可通过多种生理、行为途径与温室白粉虱进行种间竞争(罗晨等, 2007; 戴鹏等, 2014)。如昆虫取食植物过程中, 刺激植物释放一些挥发性信号物质, 会激活寄主植物的防御, 可能对当时和后来的取食者产生阻滞或抑制作用; 同时, 昆虫也会向寄主植物释放一些化学物质, 改变其防御途径与营养代谢以利于自身甚或同类(Cui *et al.*, 2012)。如 B 型烟粉虱可以诱导许多寄主植物产生防御反应, 包括致病相关蛋白(PR)的积累(例如几丁质酶, β -1,3 葡聚糖酶, 过氧化物酶, 脱乙酰壳多糖酶等), 因而在其为害的番茄上, 非洲菊斑潜蝇成虫的产卵刺孔和取食明显减少。若虫存活率在 B 型未为害的作物上明显偏高, 这说明 B 型烟粉虱危害的作物对斑潜蝇的生长发育有负面影响, 但斑潜蝇的危害对 B 型烟粉虱的产卵没有明显的影响(Inbar *et al.*, 1999)。同样的, 本研究也表明, B 型烟粉虱和温室白粉虱之间也会通过寄主番茄互相影响。但不像对斑潜蝇主要是抑制作用, B 型烟粉虱对温室白粉虱的发育具有一定的促进作用, 但温室白粉虱对 B 型烟粉虱的发育影响要小些。这可能跟 B 型烟粉虱能够通过诱导对其影响相对较小的水杨酸途径抑制了对其更为不利的茉莉酸途径(Zarate *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2009)有关。

两种粉虱通过寄主植物番茄介导的相互作用具有一定的滞后性。如烟粉虱为害诱导对温室白粉虱的发育、寿命、产卵量促进作用需一段时

间才能显现出来, 这个滞后期大约相当于温室白粉虱的卵期时间; 温室白粉虱对烟粉虱的伪蛹期的缩短作用也需提前诱导; 温室白粉虱的前期诱导对温室白粉虱促进作用直到成虫期才显现出来。这可能是由于取食者对植物的影响除了应激性的反应是即时的外, 其他反应由于涉及一系列基因的表达、蛋白和作用物质合成的, 需要一定的时间, 因而第一批取食者对后续取食者的影响必须一段时间后才能显现出来。如茉莉酸甲酯的基因表达在植物受伤 2~10 min 后开始上调, 并传遍整个植株(Song *et al.*, 2005; Glauser *et al.*, 2008), 在 6~12 h, 完全依赖茉莉酸的效应蛋白, 如 PIs、多酚氧化酶、苏氨酸脱氨酶、精氨酸酶和亮氨酸氨基肽酶的转录开始上调并达到峰值(Ryan, 2000; Orozco-Cárdenas *et al.*, 2001; Lee and Howe, 2003); 而水杨酸水平在 12 h~7 d 上升并达到峰值(Zhang *et al.*, 2009)。很可能因此, 烟粉虱和温室白粉虱的影响的滞后期为 6~7 d, 大概等于其卵期, 这也是烟粉虱和温室白粉虱之间的影响具有一定的滞后性的原因。

参考文献 (References)

- Cui HY, Sun YC, Su JW, Li CY, Ge F, 2012 Reduction in the fitness of conspecific *Bemisia tabaci* fed on three previously infested tomato genotypes differing in the JA pathway. *Environ. Entomol.*, 41(6): 1443–1453.
- Dai P, Liu LZ, Zang LS, Zhang JJ, Ruan CH, Wan FH, 2014. Host feeding and parasitism preference in *Eretmocerus hayati* for nymphs between Q sibling species of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(1): 20–25. [戴鹏, 刘林州, 臧连生, 张俊杰, 阮长春, 万方浩, 2014. 海氏桨角蚜小蜂对不同龄期 Q 隐种烟粉虱和温室白粉虱的取食和寄生选择. 中国生物防治学报, 30(1): 20–25.]
- David, 1991. Whitefly biology. *Annu. Rev. Entomol.*, 16(36): 431–457.
- Fu X, Ye LF, Wang GQ, Ge F, 2011. Occurrence and development for *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* in Heilongjiang province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 32–37. [付雪, 叶乐夫, 王贵强, 戈峰, 2011. 黑龙江地区烟粉虱和温室白粉虱发生动态. 应用昆虫学报, 48(1): 32–37.]
- Glauser G, Grata E, Dubugnon L, Rudaz S, Farmer EE, Wolfender

- JL, 2008. Spatial and temporal dynamics of jasmonate synthesis and accumulation in arabidopsis in response to wounding. *J. Biol. Chem.*, 283(24): 16400–16407.
- Inbar M, Doostdar H, Mayer R T, 1999. Effects of sessile whitefly nymphs (Homoptera: Aleyrodidae) on leaf-chewing larvae (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 28(3): 353–357.
- Lee GI, Howe GA, 2003. The tomato mutant spr1 is defective in systemin perception and the production of a systemic wound signal for defense gene expression. *Plant J.*, 33(3): 567–576.
- Lin KJ, Wu KM, Wei HY, Guo YY, 2004. Effect of temperature and humidity on the development, survival and reproduction of B biotype of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) from Beijing. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(2): 166–172. [林克剑, 吴孔明, 魏洪义, 郭予元, 2004. 温度和湿度对 B 型烟粉虱发育、存活和生殖的影响. 植物保护学报, 31(2): 166–172.]
- Luo C, Yao Y, Wang RJ, Yan FM, Hu DX, Zhang ZL, 2002. The use of mitochondrial cytochrome oxidase I (mt CO I) gene sequences for the identification of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(6): 759–763. [罗晨, 姚远, 王绒疆, 阎凤鸣, 胡敦孝, 张芝利, 2002. 利用 mtDNA COI 基因序列鉴定我国烟粉虱的生物型. 昆虫学报, 45(6): 759–763.]
- Luo C, Xiang YY, Guo XJ, Zhang F, Zhang ZL, 2007. Comparative on development and reproduction between *Bemisia tabaci* biotype B and *Trialeurodes vaporariorum* on four species of host-plants. *Acta Ecologica Sinica*, 27(3): 1035–1040. [罗晨, 向玉勇, 郭晓军, 张帆, 张芝利, 2007. 寄主植物对 B 型烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 和温室白粉虱 (*Trialeurodes vaporariorum*) 个体发育和种群繁殖的影响. 生态学报, (3): 1035–1040.]
- Luo C, Zhang JM, Shi BC, Zhang F, Zhang ZL, 2000. A preliminary survey of *Bemisia tabaci*(Gennadius) in Beijing area. *New Agricultural Technology*, S1: 42–47. [罗晨, 张君明, 石宝才, 张帆, 张芝利, 2000. 北京地区烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)调查初报. 农业新技术, S1: 42–47.]
- Orozco-Cárdenas ML, Narváez-Vásquez J, Clarence A, 2001. Ryan hydrogen peroxide (H_2O_2) acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *Plant Cell*, 13(1): 179–191.
- Ren SX, Qiu BL, Ge F, Zhang YJ, Du YZ, Chen XX, Guo JY, Lin KJ, Peng ZQ, Yao SL, Hu YH, Wang LD, Zhang WQ, 2011. Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of whitefly pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 7–15. [任顺祥, 邱宝利, 戈峰, 张友军, 杜予州, 陈学新, 郭建英, 林克剑, 彭正强, 姚松林, 胡雅辉, 王联德, 张文庆, 2011. 粉虱类害虫的监测预警与可持续治理技术透视. 应用昆虫学报, 48(1): 7–15.]
- Ryan CA, 2000. The systemin signaling pathway: differential activation of plant defensive genes. *Biochim Biophys Acta*, 1477(1/2): 112–121.
- Song MS, Kim DG, Lee SH, 2005. Isolation and characterization of a jasmonic acid carboxyl methyltransferase gene from hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Plant Biol.*, 48(3): 292–297.
- Wu XX, Hu DX, Li ZX, Shen ZR, 2002. Using RAPD-PCR to distinguish biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in China. *Entomologia Sinica*, 9(3): 1–8.
- Wu XX, Li ZX, Hu DX, Shen ZR, 2003. Identification of Chinese populations of *Bemisia tabaci* (Gennadius) by analyzing ribosomal ITS1 sequence. *Prog. Nat. Sci.*, 13(4): 276–281.
- Xiang YY, Li ZZ, Zhang F, Luo C, 2004. Progress of study on *Bemisia tabaci* (Gennadius) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 23(4): 352–359. [向玉勇, 李子忠, 张帆, 罗晨, 2004. 烟粉虱和温室白粉虱的研究进展. 山地农业生物学报, 23(4): 352–359.]
- Xu RM, 1996. The occurrence and distribution of *Bemisia* in China // Gerling D (ed.). *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management*. UK: Intercept Andover. 125–131.
- Yan Y, Liu WX, Wang FH, 2008. Comparison of alkaline phosphatase in *Bemisia tabaci* B-biotype (Homoptera: Aleyrodidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) at different developmental stages. *Acta Entomologica Sinica*, 51(1): 1–8. [严盈, 刘万学, 万方浩, 2008. B 型烟粉虱与温室白粉虱不同虫态的碱性磷酸酶性质比较. 昆虫学报, (1): 1–8.]
- Zarate SI, Kempema LA, Walling LL, 2007. Silverleaf whitefly induces salicylic acid defenses and suppresses effectual jasmonic acid defenses. *Plant Physiol.*, 143(2): 866–875.
- Zhang PJ, Zheng SJ, van Loon JJA, Boland W, David A, Mumma R, Dicke M, 2009. Whiteflies interfere with indirect plant defense against spider mites in Lima bean. *PNAS*, 106(50): 21202–21207.
- Zhou R, 1949. List of whitefly in China. *Chinese Entomology*, 3(4): 1–18. [周尧, 1949. 中国粉虱名录. 中国昆虫学, 3(4): 1–18.]