

自然天敌对苗蚜和伏蚜控制作用的定量分析*

于汉龙^{1,2**} 门兴元^{1***} 叶保华^{2***} 于毅¹ 张安盛¹ 李丽莉¹
周仙红¹ 张思聪¹ 庄乾营¹

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100;

2. 山东农业大学植物保护学院 泰安 271018)

摘要 【目的】为了合理利用自然天敌, 定量评价棉田自然天敌对苗蚜和伏蚜的控制作用。【方法】采用接虫罩笼法结合系统调查。【结果】发现苗蚜的主要自然天敌是龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas, 大部分时间能够有效的控制苗蚜种群在防治指标以下, 控害指数高达 91%; 伏蚜主要自然天敌是蜘蛛、草蛉和龟纹瓢虫, 由于其种群数量太少, 益害比低, 对伏蚜控害指数始终低于 20%, 无法有效的控制伏蚜种群。【结论】结果提示, 应根据苗蚜和伏蚜自然天敌控制作用不同, 制定合理的保护利用自然天敌的策略。

关键词 苗蚜, 伏蚜, 自然天敌, 控害指数

Effects of suppression of natural enemies on cotton aphids

YU Han-Long^{1,2**} MEN Xing-Yuan^{1***} YE Bao-Hua^{2***} YU Yi¹ ZHANG An-Sheng¹
LI Li-Li¹ ZHOU Xian-Hong¹ ZHANG Si-Cong¹ ZHUANG Qian-Ying¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Virology, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the effects of suppressing natural enemies on cotton aphids on cotton seedlings and during summer. [Methods] Field investigations and enclosures. [Results] *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* were the main natural enemies of aphids during the cotton seedling stage and could effectively suppress the aphid population achieving a biocontrol services index (BSI) > 91%. Araneae, Chrysopidae and *Propylaea japonica* were the main natural enemies of aphids in summer. These predators could not effectively suppress the population of summer aphids; because of low population densities and low natural enemy to aphid ratio the BSI was always < 20%. [Conclusion] The results indicate that the effectiveness of natural enemies to control aphids in cotton fields varies between the seedling stage and summer.

Key words seedling aphid, summer aphid, natural enemy, biocontrol services index

棉花是一种重要的农作物, 我国是世界上最大的棉花生产和消费国。棉蚜是棉花上的主要害虫之一, 在我国各大棉区均有分布和为害。棉蚜在棉叶背面以及嫩尖上刺吸汁液, 能造成叶片卷曲植株矮缩还能破坏棉花的正常代谢, 棉蚜分泌

的蜜露还会影响光合作用(张永孝等, 1982)。棉蚜还能传播多种病毒, 使寄主发生病毒病造成减产(Castle *et al.*, 1992)。长期以来棉蚜的主要防治措施是化学农药, 大量和连续的使用农药导致北方棉区棉蚜的抗药性上升极快, 对多种化

* 资助项目: 国家自然科学基金重点项目(31030012)

**E-mail: anquandejia2364@sina.com

***通讯作者, E-mail: menxy2000@hotmail.com; baohua@sdaa.edu.cn

收稿日期: 2013-10-08, 接受日期: 2013-11-06

学农药产生了很高的抗药性（吴孔明和刘芹轩，1995；李飞等，2001），因此，大量研究十分关注利用自然天敌控制棉蚜发生与危害（戈峰和丁岩钦，1997；张润志等，1999；戈峰等，2002；Men *et al.*，2004a）。

自然天敌对害虫的控制作用评价是合理利用自然天敌控害功能的重要前提（邹运鼎，1997；戈峰，2008）。国内关于棉蚜天敌的控害作用进行了相关研究，大量研究显示控制棉田棉蚜的天敌以捕食性天敌为主，戈峰等（2002）通过生态能学的方法，研究发现瓢虫是棉田捕食性天敌的优势种类，毕守东等（2000）利用灰色系统理论和方法也发现龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg 是棉蚜的主要天敌，戈峰和丁岩钦（1995a）从捕食能学角度研究了龟纹瓢虫对棉蚜的捕食行为。田间研究发现天敌是控制新疆棉田棉蚜的重要因子之一，其中捕食性天敌起着主要作用（李保平和唐小海，1998）。随着转基因棉花的大面积推广以及我国华北棉区的农田景观变化，棉田自然天敌对棉蚜的控害作用如何，值得深入研究。

罩笼接虫法是一种比较好的用来评价自然天敌作用的方法。Fox 等（2004）通过罩笼接虫法成功地评价了大豆田自然天敌对豆蚜的控制作用，该研究方法中尽量降低了笼子对温度、湿度以及对大豆生长的影响，从而能更准确地评价天敌控害作用。Gardiner 等（2009）利用这一方法进一步发现农田景观多样性能够增加美国中北部自然天敌对豆蚜的控制作用。于汉龙等（2014）应用罩笼法定量评价了天敌对麦蚜的控害作用。本研究进一步利用罩笼接虫法，定量研究棉田自然天敌对棉蚜的控害作用，为合理利用棉田自然天敌的控害作用，制定棉田害虫综合防治策略提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及供试虫源

试验于 2013 年 6 月至 9 月在山东省农业科学院植物保护研究所试验田（36°43'9.64"N，

117°07'8.29"E）完成。试验接虫用棉蚜采自试验棉田，试验田按常规措施管理，一直不施用任何杀虫剂。

1.2 研究方法

试验主要包括系统调查与罩笼接虫试验两部分。通过棉田主要害虫和自然天敌的种类和种群动态系统调查，分析自然天敌与棉蚜的种群数量，确定棉蚜主要天敌的种类；通过罩笼接虫试验，定量评价自然天敌不同时期对棉蚜的控制作用。

1.2.1 系统调查 从 6 月到 8 月进行系统调查，调查田面积 2 000 m²，设置 5 个小区（每个小区 400 m²）为 5 个重复，每个小区用随机五点取样的方法，每点面积 1 m²，记录所有害虫和天敌的种类和数量。每 5 d 调查一次。

1.2.2 罩笼试验 罩笼的制作和设置参考 Fox 等（2004）。实验所用罩笼框架由 PVC 管材焊接而成，笼架为 1 m×1 m×1.5 m（长×宽×高），网为 60 目。其中，封闭的笼子用网罩全部罩住；开放时，笼架顶部用 1 m×1 m×0.6 m 笼罩罩住，让自然天敌自由通过，同时减少封闭处理和开放处理的温度、湿度差异以及罩笼对作物生长影响差异。每个罩笼处理的棉花面积为 1 m²。

罩笼试验田面积 2 000 m²，分别在 6 月 11 日和 7 月 17 日开始苗蚜和伏蚜的罩笼接虫试验，试验田中随机选取 1 m² 的长势整齐棉花进行罩笼，罩笼后即清除笼内所有天敌，然后进行接虫（苗蚜接虫时间为 6 月 11 日，伏蚜接虫时间为 7 月 17 日），用毛笔将大小体型相似的成蚜均匀接到笼罩内棉花嫩叶上。每个笼罩接入 15 头蚜虫，控制初始蚜虫数量相同，保证在相同的初始条件下进行试验。

苗蚜期和伏蚜期，各设置两个处理，分别是：I 一直罩笼；II 一直开放。每个处理 10 次重复。

1.2.3 调查与测定方法 苗蚜每 3 d 调查 1 次，伏蚜每 5 d 调查一次，记录各重复上的蚜虫的数量、天敌的种类及其数量。

1.3 数据处理

控害指数（Biocontrol services index，简称

BSI) 计算公式为： $BSI = (Ac - Ao) / Ac$ ，

其中， Ac 表示调查时间点罩笼处理内的蚜虫数量的平均值； Ao 表示调查时间点开放处理内的蚜虫数量的平均值。

2 结果与分析

2.1 棉田天敌种类与结构

棉花苗蚜的主要天敌有龟纹瓢虫和异色瓢虫，其中龟纹瓢虫是最主要的天敌种类，优势度达 0.88（表 1）。棉花伏蚜的主要天敌有龟纹瓢虫、草蛉 Chrysopidae、异色瓢虫和蜘蛛 Araneae，其中蜘蛛是最优势的天敌，蜘蛛主要包括：八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*

Boes. et Str.、园蛛 Araneidae、三突花蛛 *Misumena tricuspidatus* Lee 和草间小黑蛛 *Erigonidiun graminicolum* Sundevall，其次是草蛉和龟纹瓢虫（表 1）。

2.2 苗蚜自然天敌控害作用

通过对棉花苗蚜的调查分析发现，罩笼处理棉蚜在 6 月 11 日到 6 月 21 日相对较平稳，6 月 21 日后呈现持续增长趋势，7 月 4 日达到最高 668 头/m²，在整个调查期，除了 6 月 18 日和 6 月 21 日，其他调查点均显著高于防治指标。开放处理棉蚜种群动态相对较平稳，仅有 6 月 14 日、6 月 18 日和 6 月 25 日高于防治指标，其他调查点均低于防治指标（图 1）。

表 1 棉田主要自然天敌的优势度
Table 1 Dominance of key natural enemies in cotton fields

棉蚜发生阶段 Stage	天敌 Natural enemies	优势度 Dominance
苗蚜	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	0.88
Seeding aphids	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	0.11
伏蚜	蜘蛛 Araneae	0.42
Summer aphids	草蛉 Chrysopidae	0.28
	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	0.24
	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	0.06

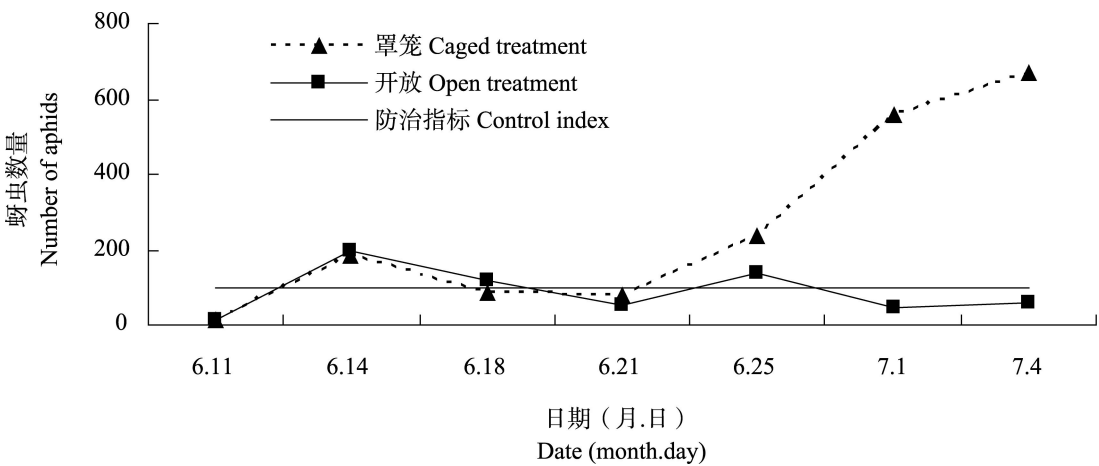


图 1 罩笼和开放处理苗蚜的发生动态
Fig. 1 Population dynamics of seeding cotton aphids in caged treatment and open treatment

苗蚜时期的控害指数前期很平稳, 从 6 月 18 日开始逐渐增大, 6 月 21 日之后控害指数均在 40% 以上, 7 月 1 日和 7 月 4 日分别达到 91.69% 和 91.36% (图 2)。

2.3 伏蚜及其天敌的种群动态

棉蚜以及天敌的田间发生动态显示, 棉蚜在

7 月 27 日达到最大值随后开始逐渐降低。龟纹瓢虫、草蛉等天敌与棉蚜有明显的跟随作用, 随着棉蚜数量降低而减少; 蜘蛛高峰期较蚜虫高峰期滞后 (图 3)。

益害比曲线显示, 益害比始终比较低, 在 1 : 200~1 : 80 之间, 其趋势与棉蚜的种群相似, 呈逐渐降低趋势 (图 4)。

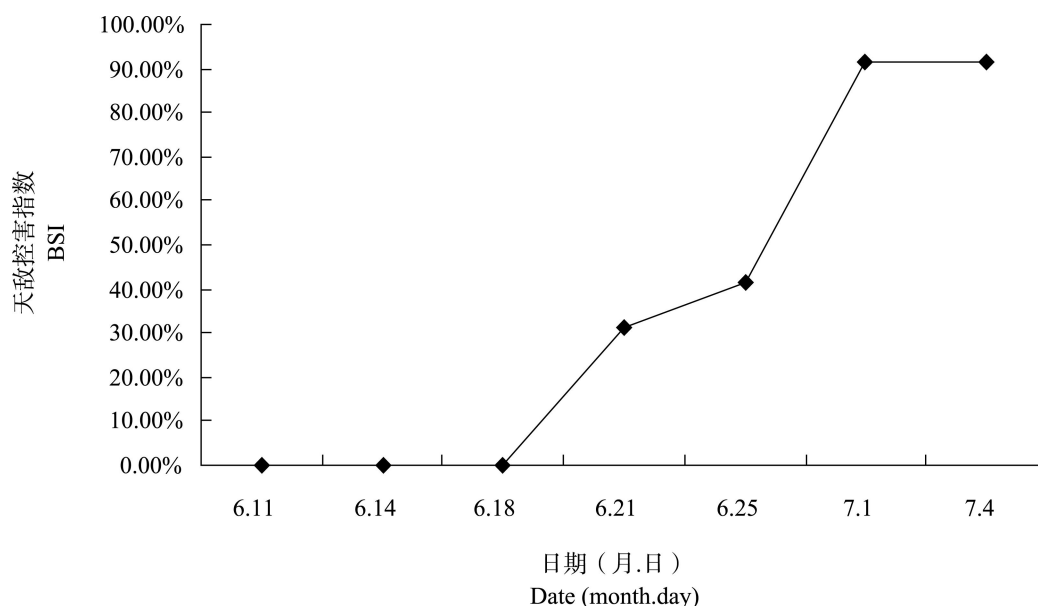


图 2 棉田自然天敌对苗蚜控害指数动态

Fig. 2 BSI dynamics of natural enemies suppressing seeding cotton aphids in cotton fields

* 资助项目: 国家自然科学基金重点项目(31030012)

**E-mail: anquandejia2364@sina.com

***通讯作者, E-mail: menxy2000@hotmail.com; baohua@sdaa.edu.cn

收稿日期: 2013-10-08, 接受日期: 2013-11-06

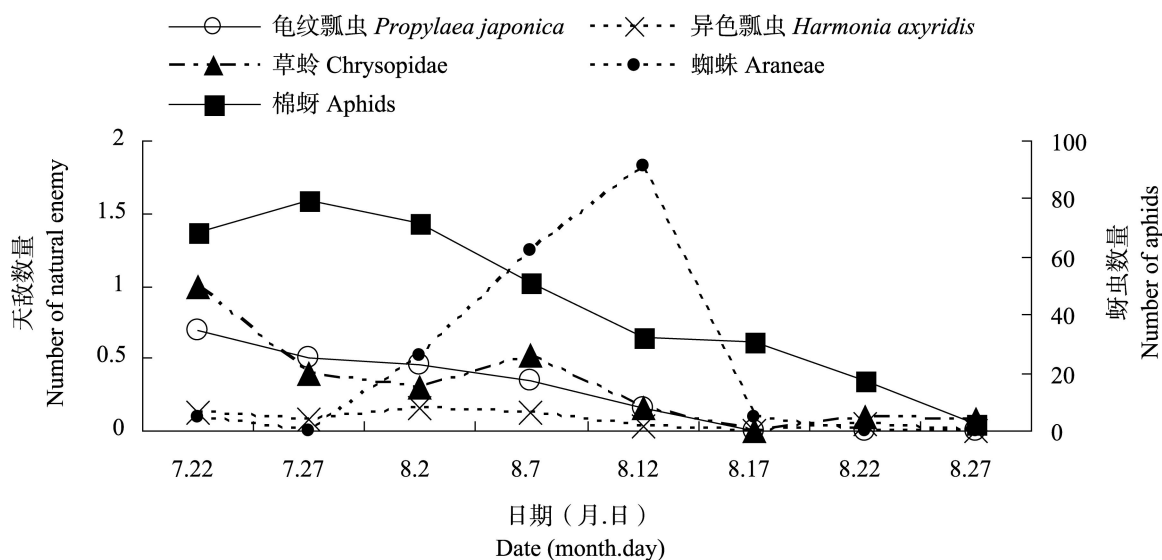


图3 棉田伏蚜及其天敌发生动态

Fig. 3 Population dynamics of summer cotton aphids and its natural enemies in cotton fields

2.4 自然天敌对伏蚜的控制作用

分析伏蚜的种群发生动态得出, 罩笼处理前期棉蚜数量增长迅速, 在 8 月 2 日数量达到最大值 75.6 头/m², 并超过一直开放处理, 随后数量开始下降。其中, 在 8 月 2 日和 8 月 12 日期间, 罩笼处理的棉蚜种群数量高于一直开放。

自然天敌对伏蚜的控害指数显示, 7 月中下旬自然天敌对伏蚜的控害指数一直很低, 8 月初开始伏蚜的控害指数开始增加, 在 8 月 7 日达到

最高 (17.53%), 随后开始降低, 在 8 月 17 日后, 天敌的控害指数一直处于很低的水平。

3 讨论

随着转 Bt 基因棉花在我国大面积推广, 棉田的害虫和天敌组成和群落发生了变化, 主要害虫已经由棉铃虫变成了棉蚜、盲蝽和叶螨等刺吸害虫 (Men *et al.*, 2003, 2004b, 2005; Wu and Guo, 2005)。转 Bt 基因棉花不仅有效地控制了

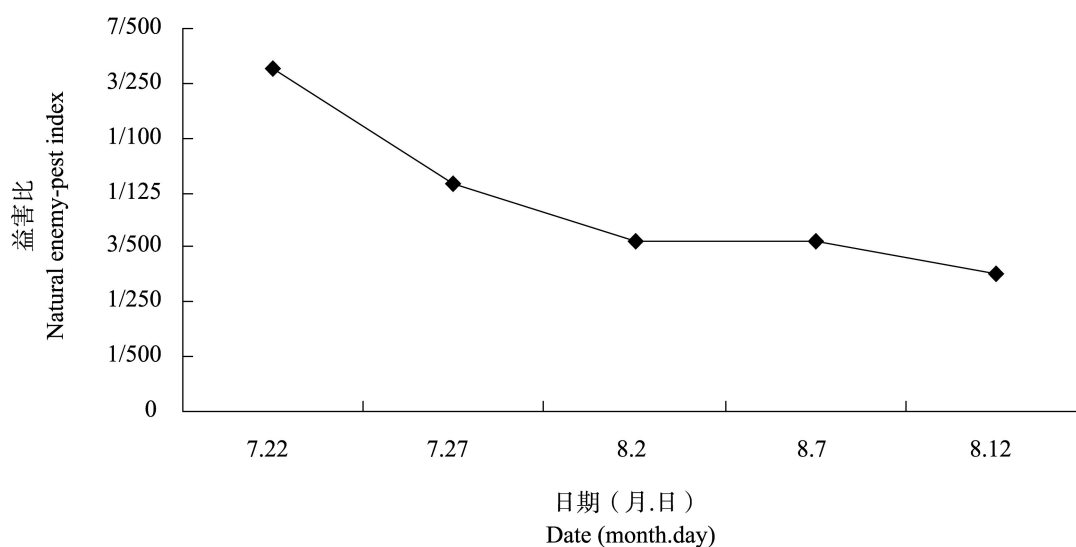


图4 棉田自然天敌与伏蚜的益害比动态

Fig. 4 Dynamics of natural enemy-summer cotton aphids index in cotton fields

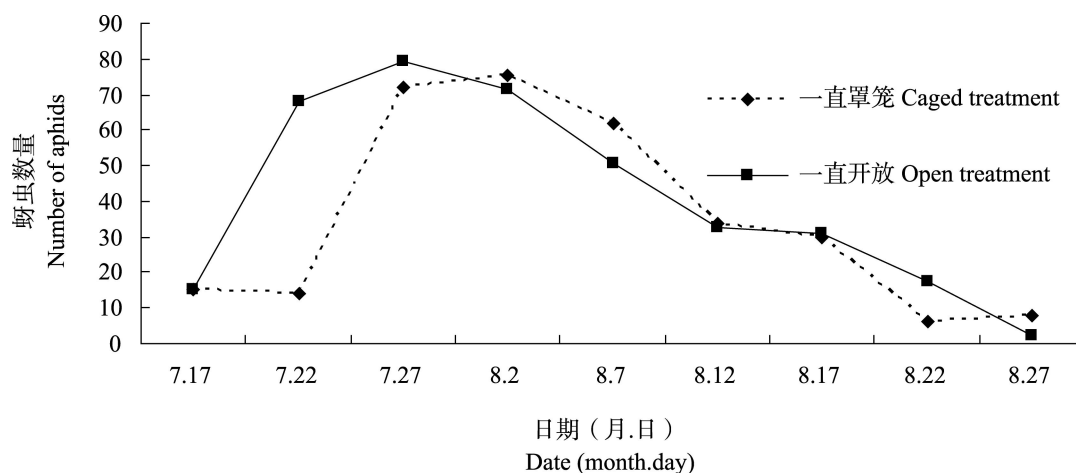


图 5 伏蚜发生动态

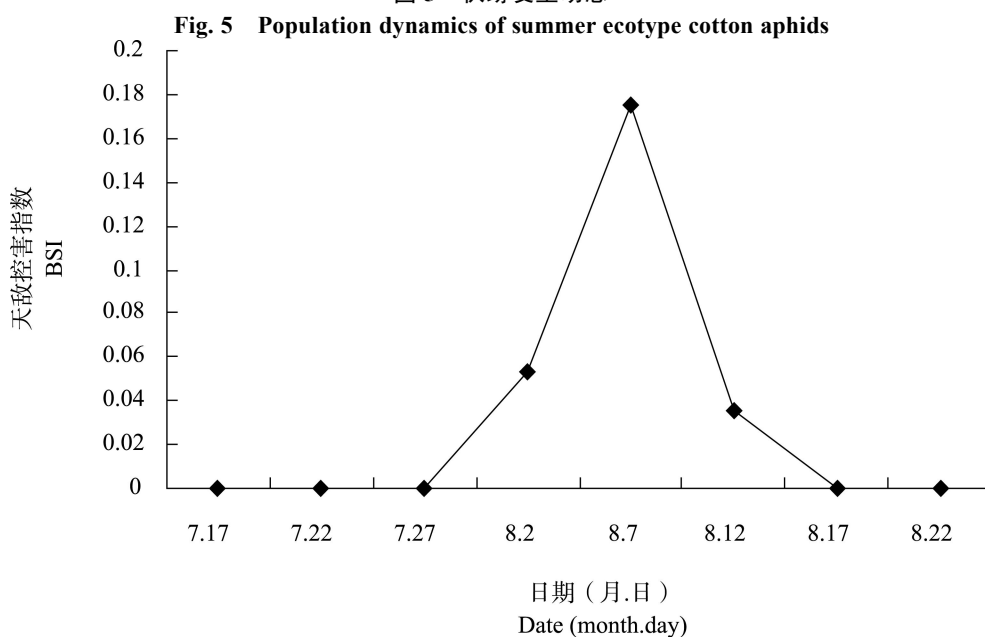


图 6 棉田自然天敌对伏蚜控害指数动态

Fig. 6 BSI dynamics of natural enemies suppressing summer cotton aphids in cotton fields

棉铃虫，而且大大减少了化学杀虫剂的使用量，从而保护了自然天敌，提高了棉田自然天敌对棉蚜等害虫的控制作用 (Lu *et al.*, 2012)。转 Bt 基因棉田内的自然天敌到底对棉蚜的控制能力多大？是否能够有效地控制棉蚜数量？通过对棉田自然天敌对棉蚜控害作用定量评价，解答这个问题对于合理利用转 Bt 基因棉田自然天敌，制定可持续的棉蚜治理策略非常重要。

本研究系统调查发现，苗蚜期的自然天敌主要是龟纹瓢虫和异色瓢虫，这一结果与邹运鼎等

(1998) 研究结果一致，其采用灰色关联分析法，发现棉花铃期以前龟纹瓢虫对棉蚜种群数量影响最大。通过罩笼接虫研究表明，在 6 月中旬之前，由于苗蚜数量较低，自然天敌对苗蚜的控害指数很低。这可能是因为棉蚜少时，天敌数量亦少，具有不同活动能力的各类天敌寻找寄主对象的时间拖长，单位时间内的捕食量或寄生率相应减少，使棉蚜有繁殖的机会。但当棉蚜繁殖到一定数量时，天敌数量迅速增加，这时的天敌控制效应往往就会明显地表现出来(冉瑞碧和魏

建华, 1983; Debach and Rosen, 1991)。本研究的结果很好地反应了这一现象, 当 6 月中旬以后, 在苗蚜数量开始迅速增加时, 自然天敌的控害指数也随之增加, 对苗蚜的控害指数最高达 90%, 并将苗蚜种群一直控制在较低水平, 大部分时间低于防治指标。相反, 在除去自然天敌的作用的处理, 苗蚜数量大部分时间远高于防治指标, 而且苗蚜发生期持续的时间更长。这一结果充分说明了棉田自然天敌对棉蚜有非常好的控制作用。自然天敌能够很好控制棉田苗蚜, 很可能得益于中国北方小麦田和棉花田构成的多样化农田景观, 随着 6 月初小麦的成熟和收获, 大量的瓢虫类天敌会从麦田转移到棉田, 从而很好地控制棉田的苗蚜(王厚振等, 1993; 戈峰和丁岩钦, 1997; 刘永生, 2001; Velders *et al.*, 2002; Men *et al.*, 2004a; 马晓牧等, 2007)。

棉田伏蚜的主要天敌种类结构与苗蚜以瓢虫为主不同, 最主要的天敌是蜘蛛, 其次是草蛉和龟纹瓢虫, 但是数量相对比较少, 在蚜虫高峰期益害比仅为 1:200, 自然天敌对伏蚜的控害指数一直较低, 最高为 17.53%。这一结果说明自然天敌对伏蚜的控制作用较低。棉花伏蚜具有种群上升快、种群密度大的特点, 其危害往往比苗蚜更大。戈峰和丁岩钦(1995b)通过能量生态学的方法, 发现棉蚜种群能量生产的 98% 来自于伏蚜时期, 而苗蚜与秋蚜不足 2%。因此, 伏蚜危害是我国北方高产棉田比较突出的问题(戴小枫等, 1990), 大量的实践显示, 仅仅依靠棉田自然天敌基本不能有效控制伏蚜, 因此需要大量使用杀虫剂控制其危害(范广华等, 1991; Men *et al.*, 2004b)。由于化学杀虫剂往往对天敌的杀伤大于伏蚜, 以及伏蚜的抗药性产生快, 造成了伏蚜的再猖獗(吴孔明和刘芹轩, 1992; 章炳旺等, 1995)。不断变化的杀虫剂种类, 不但没有真正解决棉田伏蚜问题, 而且长期的杀虫剂施用造成了棉田天敌多样性和种群数量降低, 这也许是目前棉田伏蚜的自然控制作用低的主要原因。

综合治理是解决棉蚜问题的正确策略, 其核心问题是力求建立一个相对平衡的生态系统

(吴孔明和刘芹轩, 1992)。在这个平衡系统中, 能够最大限度的发挥自然天敌控制作用成为能否可持续控制棉蚜的关键。本研究的初步试验结果提示: 目前, 在棉花苗蚜期, 龟纹瓢虫等自然天敌有很强的控制作用, 基本可以控制其危害, 因此在此阶段应重视自然天敌的保护和利用, 尽量减少化学杀虫剂的使用; 在棉花伏蚜期, 由于长期的杀虫剂使用, 致使棉田自然天敌的种群数量太低, 不足以控制伏蚜的发生危害, 因此应通过增加农田景观多样性等栖境治理措施, 逐步恢复农田系统中自然天敌的种类和数量, 建立新的生态平衡, 增强自然天敌的控制作用。

参考文献 (References)

- Castle SJ, Perring TM, Farrar CA, Kishaba AN, 1992. Field and laboratory transmission of watermelon mosaic virus 2 and zucchini yellow mosaic virus by various aphids species. *Phytopathology*, 82(2): 235–240.
- Debach P, Rosen D, 1991. Biological Control by Natural Enemies. New York: Cambridge University Press. 91–101.
- Fox TB, Landis DA, Cardoso FF, Difonzo CD, 2004. Predators suppress *Aphis glycines* Matsumura population growth. *Environmental Entomology*, 33(3): 608–618.
- Gardiner MM, Landis DA, Gratton C, DiFonzo CD, O'Neal M, Chacon JM, Wayo MT, Schmidt NP, Mueller EE, Heimpel GE, 2009. Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecological Applications*, 19(1): 143–154.
- Men XY, Ge F, Yardim EN, Parajulee MN, 2004a. Evaluation of winter wheat as a potential relay crop for enhancing biological control of cotton aphid in seedling cotton. *BioControl*, 49(6): 701–714.
- Men XY, Ge F, Edwards CA, Yardim EN, 2004b. The influence of pesticide applications on pest and predatory arthropods associated with transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton plants. *Phytoparasitica*, 32(3): 246–254.
- Men XY, Ge F, Liu XH, Yardim EN, 2003. Diversity of arthropod communities in transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton agroecosystems. *Environmental Entomology*, 32(2): 270–275.
- Men XY, Ge F, Edwards C, Yardim EN, 2005. The influence of pesticide applications on *Helicoverpa armigera* Hübner and sucking pests in transgenic Bt cotton and non-transgenic cotton

- in China. *Crop Protection*, 24(4): 319–324.
- Lu YH, Wu KM, Jiang Y, Guo YY, Desneux N, 2012. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, doi:10.1038/nature1115.
- Wu KM, Guo YY, 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annual Review of Entomology*, 50: 31–52.
- 毕守东, 邹运鼎, 陈高潮, 孟庆雷, 王公明, 2000. 影响棉蚜种群数量的优势种天敌的灰色系统分析. 应用生态学报, 11(3): 417–420. [Bi SD, Zou YD, Chen GC, Meng QL, Wang GM, 2000. Grey system analysis on dominant natural enemies influencing *Aphis gossypii* population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 11(3): 417–420.]
- 戴小枫, 郭豫元, 李修立, 1990. 夏型棉蚜对棉花为害损失与防治指标研究初报. 中国农业科学, 23(4): 50–56. [Dai XF, Guo YY, Li XL, 1990. Preliminary studies on the damage and action threshold of summer ecotypic cotton aphid to cotton. *Scientia Agricultura Sinica*, 23(4): 50–56.]
- 范广华, 牟吉元, 刘炳霞, 刘兰山, 1991. 棉蚜自然天敌种群数量动态和控制蚜害的研究. 植物保护学报, 18(3): 211–214. [Fan GH, Mou JY, Liu BX, Liu LS, 1991. Studies on the population dynamics of natural enemies of cotton aphid and aphid control. *Acta Phytophylacica Sinica*, 18(3): 211–214.]
- 戈峰, 2008. 昆虫生态学原理与方法. 北京: 高等教育出版社. 201–223. [Ge F, 2008. Principle and methods of insect ecology. Beijing: High Education Press. 201–223.]
- 戈峰, 丁岩钦, 1995a. 龟纹瓢虫对棉蚜的捕食行为. 昆虫学报, [Ge F, Ding YQ, 1995a. The foraging behavior of lady beetle *propylaea japonica* towards cotton aphids *aphis gossypii*. *Acta Entomologica Sinica*.]
- 戈峰, 丁岩钦, 1995b. 不同类型棉田生态系统中棉蚜种群能量动态及其生态学效率分析. 生态学报, 15(4): 399–406. [Ge F, Ding YQ, 1995b. Energy dynamics and ecological efficiency of cotton aphid population in different cotton agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 15(4): 399–406.]
- 戈峰, 丁岩钦, 1997. 多样化的棉田生态系统控害保益功能特征研究. 应用生态学报, 8(3) 295–298. [Ge F, Ding YQ, 1997. Functional features of preserving natural enemies to control insect pests in intercropped cotton field ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 8(3) 295–298.]
- 戈峰, 刘向辉, 潘卫东, 丁岩钦, 2002. 棉田捕食性瓢虫控害功能的分析. 应用生态学报, 13(7): 841–844. [Ge F, Liu XD, Pan WD, Ding YQ, 2002. Biological control efficiency of ladybirds on arthropod pests in cotton Agroecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(7): 841–844.]
- 李保平, 唐小海, 1998. 棉蚜天敌控害作用的研究. 新疆农业大学学报, 21(4): 270–272. [Li BP, Tang XH, 1998. A research on the efficacy of natural enemies of the cotton aphid in cotton fields. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 21(4): 270–272.]
- 李飞, 韩召军, 吴智锋, 王荫长, 2001. 我国棉蚜抗性研究现状. 棉花学报, 13(2): 121–124. [Li F, Han ZJ, Wu ZF, Wang YZ, 2001. Insecticide resistance of *Aphis gossypii* glover in cotton in China. *Cotton Science*, 13(2): 121–124.]
- 刘永生, 2001. 棉田自然天敌对苗期棉蚜的控制效果. 昆虫与环境-中国昆虫学会 2001 年学术年会论文集. 548–552. [Liu YS, 2001. The natural enemies' effort of controlling *Aphis gossypii* Glover in cotton fields. *Journal of Environmental Entomology*- Proceedings of 2001 academic annual meeting of the Entomological Society of China . 548–552.]
- 马晓牧, 张惠珍, 刘小侠, 丁军, 张青文, 2007. 麦套 Bt 棉田的经济效益和对棉蚜及天敌的影响. 植物保护学报, 34(2): 167–172. [Ma XM, Zhang HZ, Liu XX, Ding J, Zhang QW, 2007. Economic profit of wheat transgenic Bt cotton intercropping culture and its effect on cotton aphids and natural enemies. *Acta Phytophylacica Sinica*, 34(2): 167–172.]
- 冉瑞碧, 魏建华, 1983. 棉田食蚜天敌对棉蚜控制效应研究简报. 陕西农业科学, 3: 28–29. [Ran RB, Wei JH, 1983. A research note on the control effect of the natural enemies to the cotton aphid. *Shanxi Agricultural Sciences*, 3: 28–29.]
- Velders RM, 崔金杰, 夏敬源, van der Werf W, 2002. 中国北方棉区转基因抗虫棉对棉苗及其两种天敌的影响. 棉花学报, 14(3): 175–179. [Velders RM, Cui JJ, Xia JY, van der Werf W, 2002. Influence of transgenic cotton on the cotton aphid (*Aphis gossypii*) and its two major enemies in north China. *Cotton Science*, 14(3): 175–179.]
- 王厚振, 赵洪亮, 苏加岱, 张多贤, 高志民, 1993. 小麦棉花套种对棉花害虫的生态效应. 植物保护学报, 20(2): 173–167. [Wang HZ, Zhao HL, Su JD, Zhang DX, Gao ZM, 1993. The ecological effects of cotton interplanted in wheat field on cotton pests. *Acta Phytophylacica Sinica*, 20(2): 173–167.]
- 吴孔明, 刘芹轩, 1992. 杀虫剂诱使棉蚜再猖獗的研究. 生态学报, 12(4): 341–347. [Wu KM, Liu QX, 1992. Studies on the resurgence caused by insecticides for cotton aphid. *Acta Ecologica Sinica*, 12(4): 341–347.]
- 于汉龙, 李林懋, 张思聪, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 周仙红, 庄乾营, 门兴元, 叶保华, 2014. 应用罩笼法定量评价天敌对麦蚜的控害作用. 应用昆虫学报, 51(1): 107–113. [Yu HL Li LM,

- Zhang SC, Yu Y, Zhang AS, Li LL, Zhou XH, Zhuang QY, Men XY, Ye BH, 2014. Effect of suppression of natural enemies on wheat aphids using enclosures in wheat fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 51(1): 107-113.]
- 章炳旺, 陈勇奎, 邹运鼎, 1995. 施用农药对棉田天敌的杀伤与棉蚜的再增殖. 安徽农业大学学报, 22(4): 417-418.[Zhang BW, Chen YK, Zhou YD, 1995. Killing of natural enemies and the cotton aphid's repopulation by the application of pesticides. Journal of Anhui Agricultural University, 22(4): 417-418.]
- 张润志, 梁宏斌, 田长彦, 张广学, 1999. 利用棉田边缘苜蓿带控制棉蚜的生物学机理. 科学通报, 44(20): 2175-2178.[Zhang RZ, Liang HB, Tian CY, Zhang GX, 1999. Biological mechanism of using the cotton field edge of Alfalfa to control cotton aphid. *Science Bulletin*, 44(20): 2175-2178.]
- 张永孝, 赵之刚, 曹赤阳, 1982. 棉蚜为害损失与防治指标的研究. 植物保护学报, 9(4): 229-235.[Zhang YX, Zhao ZG, Cao CY, 1982. Studies on the damage of cotton caused by *aphis gossypii* glov. and the threshold for control. *Acta Phytophylacica Sinica*, 9(4): 229-235.]
- 邹运鼎, 毕守东, 陈高潮, 孟庆雷, 耿继光, 王公明, 李甲林, 1998. 各种天敌对棉蚜种群数量影响程度的研究. 应用生态学报, 9(5): 499-502.[Zhou YD, Bi SD, Chen GC, Meng QL, Geng JG, Wang GM, Li JL, 1998. Influence of natural enemies on population of *Aphis gossypii*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 9(5): 499-502.]
- 邹运鼎, 1997. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社. 127-157.[Zhou YD, 1997. Enemy evaluation theory and application in pest management. Beijing: China Forestry Press. 127-157.]