

转基因抗虫棉田释放赤眼蜂增强生物 控害功能的研究

郭建英¹, 万方浩¹, 任承才¹, 韩召军²

(1. 中国农业科学院植物保护研究所 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100094;
2. 南京农业大学 植物保护学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 为了增强转基因抗虫棉与自然天敌的联合控害功能, 为转基因棉田害虫控制策略的调整和制定提供依据, 于2002年在山东省惠民县转基因抗虫棉田设置化防田和以释放赤眼蜂为主的综防田, 研究了棉铃虫卵的分布格局、释放赤眼蜂对棉铃虫的控制效果及生态效应。结果发现: 棉铃虫卵在棉株不同部位的分布差异较大, 2代棉铃虫卵主要分布在叶正面、叶背面和茎尖, 3代棉铃虫卵主要分布于蕾铃; 在放蜂田, 赤眼蜂对棉株不同部位棉铃虫卵的寄生率差异较大, 2, 3代棉铃虫时期对叶正面、叶背面、茎尖、蕾铃的棉铃虫卵寄生率均较高, 对叶柄和茎杆处卵的寄生率较低; 并以3代棉铃虫时期的寄生率较高; 在2, 3代棉铃虫时期分别连续释放3次赤眼蜂, 对棉铃虫具有很强控制作用, 2, 3代棉铃虫卵的被寄生率分别为66.0%~70.7%和76.0%~81.2%, 均显著高于化防田的自然寄生率(2代: 7.0%~12.3%, 3代: 5.2%~7.4%); 蕾铃被害率分别为2.2%和3.1%, 均显著低于化防田(2代: 8.5%, 3代: 20.9%); 2代棉铃虫时期, 放蜂田和化防田的棉铃虫卵量和幼虫数量差异均不显著, 但3代棉铃虫以后, 放蜂田棉铃虫卵量和幼虫数量均显著低于化防田, 且放蜂田的捕食性天敌数量显著高于化防田。可见, 转基因抗虫棉田棉花生长中后期通过释放赤眼蜂可有效防治棉铃虫, 降低其为害, 并有利于棉田捕食性天敌的保护。

关键词: 转基因抗虫棉; 棉铃虫; 螟黄赤眼蜂; 控害作用

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)04-0197-06

Enhanced Pest Control Efficacy in Transgenic Insect-resistant Cotton Field by Mass-release of *Trichogramma chilonis*

GUO Jian-ying¹, WAN Fang-hao¹, REN Cheng-cai¹, HAN Zhao-jun²

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100094, China; 2. Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To improve the integrated pest control efficacy of transgenic insect-resistant cotton and natural enemies, biological control efficacy and ecological effects of mass-releasing *Trichogramma chilonis* in transgenic insect-resistant cotton (cv. Lumianyan15) field were surveyed in Huimin county, Shandong province in 2002, with the chemically controlled cotton field as control. *Trichogramma* showed high control efficacy on cotton bollworm eggs after three times of release both in the second and in the third generation bollworm periods. The parasitism on the second and third generation bollworm eggs were 66.0%–70.7% and 76.0%–81.2%, respectively, which were significantly higher than that in the control (second generation: 7.0%–12.3%, third generation: 5.2%–7.4%). And the injury rate of cotton buds and bolls in the second and third generation bollworm were 2.2% and 3.1%, respectively, which were significantly lower than that in the control (second generation: 8.5%, third generation: 20.9%). In the second generation bollworm period, number of bollworm eggs or larvae in the *Trichogramma* released cotton field did not differ to that in the chemically controlled field. But in the third generation, there were significantly less bollworm eggs and larvae in the *Trichogramma* released cotton field. There were more predators in the *Trichogramma* released cotton field. These results indicated that cotton boll-

收稿日期: 2007-04-12

基金项目: 国家“973”项目(2006CB102004); 国家“十五”科技攻关课题(2004BA516A01)

作者简介: 郭建英(1973-), 女, 山西神池人, 博士, 副研究员, 主要从事转基因作物和外来入侵生物的生物安全研究。

worm in the transgenic insect resistant cotton field can be effectively controlled by mass releasing of *T. chilonis*. And the biocontrol method is also beneficial to predator protection in the cotton fields.

Key words: Transgenic insect resistant cotton; *Helicoverpa armigera*; *Trichogramma chilonis*; Pest control efficacy

自 1999 年转 Bt 基因抗虫棉在我国大面积推广应用以来, 其对棉铃虫的猖獗危害起到很好控制作用^[1,2]的同时, 保护和增强了捕食性天敌的数量与作用^[3,4]。但由于 Bt 毒蛋白在植物体内表达的时间差异性^[5,6], 在棉花生产后期即第 3, 4 代棉铃虫时期, 一些棉区的 Bt 棉田仍需进行必要的药剂防治^[7], 同时由于 Bt 棉田一些次要害虫如棉蚜、棉粉虱等的种群数量上升^[4,8], 因此亟需调整和制定转基因棉田的害虫控制策略, 以减少农药使用次数, 保护自然天敌的控害效果, 增强转 Bt 基因棉与自然天敌的联合控害功能。赤眼蜂是棉铃虫卵的主要寄生性天敌, 人工释放赤眼蜂防治棉铃虫由来已久^[9,10], 但寄生效果受本身的生活力、气候和棉田生境状况及从生产到田间释放各环节的影响^[11-13], 因此, 释放赤眼蜂必须同棉田天敌保护利用及其他措施结合起来, 因时因地制宜, 才能达到控害效果。本研究在山东省惠民县设置抗虫杂交棉综防田和化防田, 研究释放赤眼蜂对抗虫杂交棉田棉铃虫的控制效果及生态效应, 以期制定以生物防治技术为主的转基因棉田害虫综合治理技术提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试棉花品种

棉花品种为当地主栽品种抗虫杂交棉鲁棉研 15 号, 该品种由山东棉花研究中心以转基因抗虫棉 GK-12 优系 R55 为父本、常规陆地棉选系 613 为母本杂交选育而成, 为陆地棉品种间杂交种。

1.2 赤眼蜂来源及释放方法

试验用螟黄赤眼蜂(*Trichogramma chilonis*) 柞蚕蜂卡由北京蓝德格林生物防治技术有限公司生产, 经检测蜂卡寄生率为 98.8%, 出蜂率为 97.5%。放蜂前置于 1~3℃ 冰箱中保存, 每次放蜂前根据放蜂时间和赤眼蜂发育有效积温, 提前取出蜂卡置于室温, 在赤眼蜂羽化初期(5%~10% 的柞蚕卵有羽化孔), 在棉田选取中上部棉叶, 将裁剪成 3 cm 见方的蜂卡反卷包被在棉叶背面, 并用曲别针或大头钉固定。每次放蜂量 18~21 万头/hm², 每 666.7 m² 均匀放 5 个点。根据对棉铃虫成蛾发生动态的预测预报, 于 2, 3 代棉铃虫成蛾高峰期和产卵初期共放蜂 6 次, 每次放蜂于 15:30 以后温度逐渐降低时进行, 并于 2, 3 代棉铃虫时期首次放蜂后配合田间灌水,

以降低田间温度, 增加湿度, 使田间环境适于赤眼蜂出蜂及寻找寄主产卵寄生。

1.3 试验地点和试验设计

2002 年在山东省滨州市惠民县淄角镇面积约 2 hm² 的试验区内, 设置 2 类棉田: 抗虫杂交棉综防田和抗虫杂交棉化防田, 各处理面积均约 0.133 hm²; 2 块棉田相距 1 km 以上, 试验区毗邻大田作物, 春季主要为小麦, 夏季主要为玉米, 田边有沟渠、杂草和行树。试验设 2 个处理: (1) 抗虫杂交棉综防田, 以释放赤眼蜂为主, 在棉花生长中后期, 2, 3 代棉铃虫田间落卵量高峰期各释放赤眼蜂 3 次(2 代: 06-18, 06-21 和 06-24; 3 代: 07-25, 07-28 和 07-31), 不喷药; (2) 抗虫杂交棉化防田, 按照该地区以往成熟有效的经验, 于 7 月 25 日和 8 月 5 日施用有机磷类和菊酯类化学农药防治棉铃虫和棉粉虱。

1.4 调查内容及方法

棉铃虫卵的分布及赤眼蜂对不同部位棉铃虫卵的寄生率: 在每次放蜂后第 3 天, 在综防田和化防田分别采用棋盘式 10 点取样, 每点顺序调查 15 株棉花; 在综防田分别记录棉花不同部位(叶正面、叶背面、叶柄、茎尖、茎秆、蕾铃) 的棉铃虫卵量, 并分别采集、标记、带回养虫室内进行观察, 以 3 d 后未孵化的饱满黑卵计为被寄生; 在化防田则仅记录棉叶正面和背面的棉铃虫卵量, 并以相同方法室内观测寄生率。

棉株蕾铃被害率: 于 2, 3 代棉铃虫发生期并在综防田连续释放了 3 次赤眼蜂后的第 3 天(即: 06-27 和 08-03) 进行, 在综防田和化防田分别采用棋盘式 10 点取样, 每点随机选取 10 株棉花, 调查每株棉花的蕾铃总数及被棉铃虫危害的蕾铃数量。

棉铃虫及捕食性天敌发生动态调查: 采用棋盘式 10 点取样, 首次每点随机选取 10 株棉花, 从 6 月 1 日至 10 月 5 日, 定点定株每 6 d 1 次系统调查两处理棉田的捕食性天敌种类和数量及棉铃虫卵和幼虫数量。

1.5 数据分析

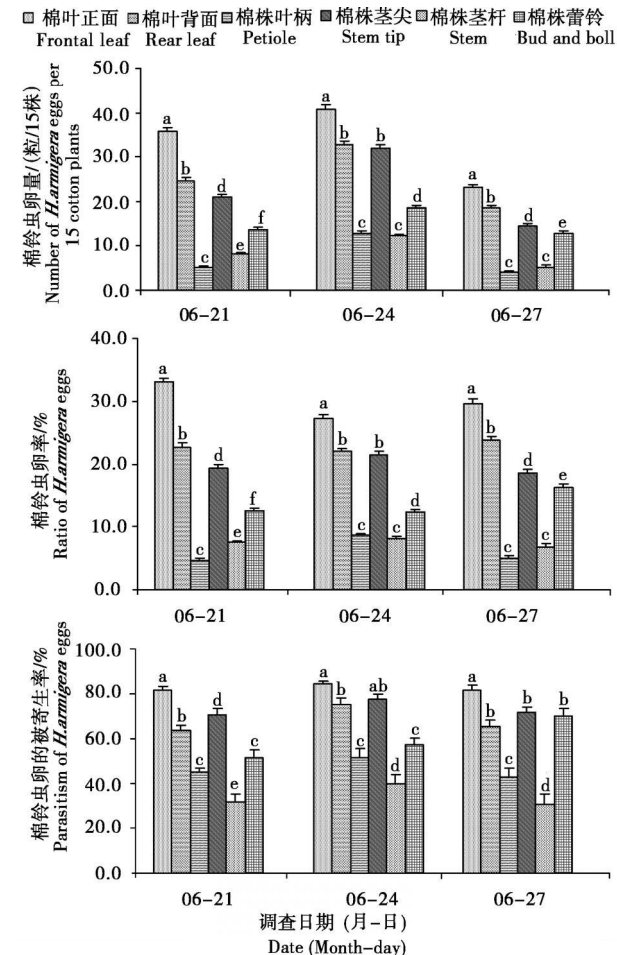
棉株不同部位的棉铃虫卵量和落卵率、赤眼蜂对不同部位棉铃虫卵的寄生率, 均采用单因素方差分析最小显著极差分析(one-way ANOVA: LSD) 进行方差分析。综防田和化防田棉铃虫卵的被寄生率、棉株蕾铃被害率, 采用非成对数据 t 检验(indepen-

dent samples t-test) 进行方差分析。综防田和化防田天敌、棉铃虫卵和幼虫的数量动态, 采用成对数据 t 检验(Paired-samples t-test) 进行方差分析。以上数据分析用统计软件 SPSS 10.0 进行。

2 结果与分析

2.1 棉铃虫卵在棉株不同部位的分布状况

棉铃虫卵在棉株不同部位的分布状况差异很大, 而且 2、3 代棉铃虫卵的分布差异也很大(图 1, 2)。



图中数据为 mean \pm se, 同一调查日期数据上不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同
Mean \pm se, means within same group followed by different letters at lowercase are significantly different at $P < 0.05$, the same for the following figures

图 1 2 代棉铃虫卵在抗虫杂交棉株不同部位的分布状况及被寄生率
Fig. 1 Distribution and parasitism of the second generation *Helicoverpa armigera* eggs on cotton plants

对 2 代棉铃虫卵分布的 3 次调查均表明, 2 代棉铃虫卵在棉株不同部位的落卵量和落卵率由高到低依次为: 叶正面 > 叶背面、茎尖 > 蕾铃 > 茎秆、叶柄, 其中, 棉叶正面落卵率为 27% ~ 33%, 叶背面 22% ~ 24%, 茎尖 18% ~ 22%, 蕾铃 12% ~ 17%, 茎秆 6% ~ 9%, 叶柄 4% ~ 9% (图 1)。这可能是由于

此时期棉叶和茎尖组织质地细嫩, 营养较好, 棉铃虫雌虫对这些部位具有产卵偏好性。

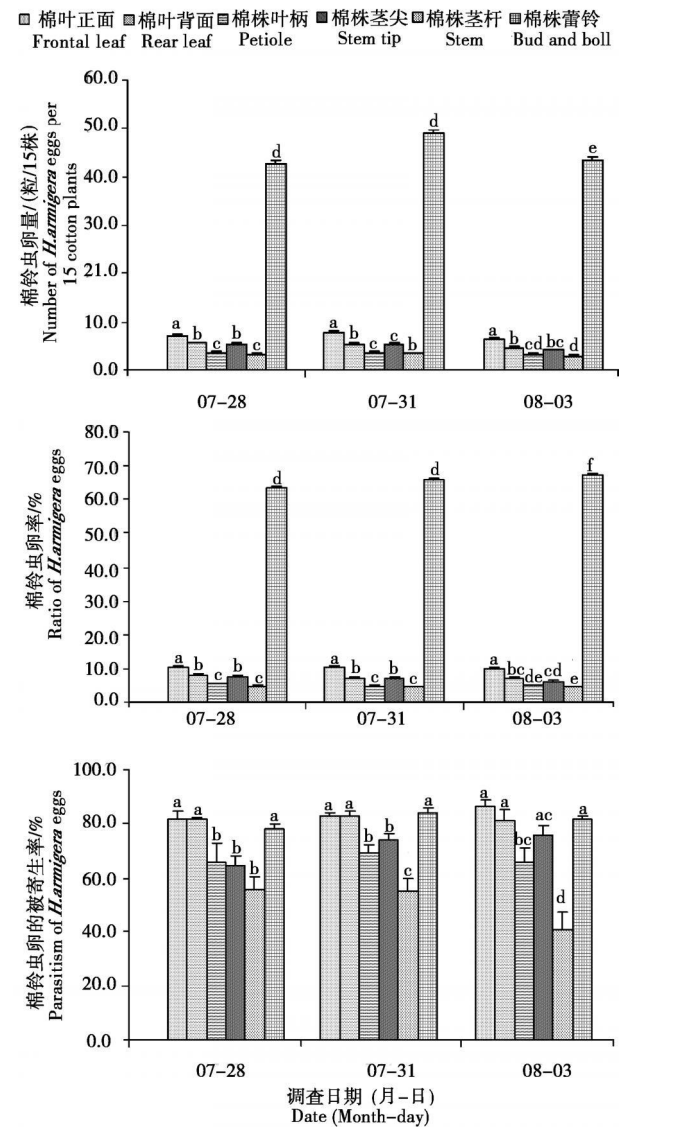


图 2 3 代棉铃虫卵在抗虫杂交棉株不同部位的分布状况及被寄生率

Fig. 2 Distribution and parasitism of the third generation *Helicoverpa armigera* eggs on cotton plants

3 代棉铃虫卵在棉株不同部位的落卵量和落卵率由高到低依次为: 蕾铃 > 叶正面 > 叶背面、茎尖 > 叶柄、茎秆, 其中, 蕾铃落卵率高达 63% 以上, 叶正面 10% 左右, 叶背面 7% ~ 8%, 茎尖 7% 左右, 叶柄 5% 左右, 茎秆 5% 以下 (图 2)。这可能是由于此时期棉株的茎叶逐渐老化, 养分降低, 不适合棉铃虫幼虫发育, 因此棉铃虫雌虫对这些部位没有产卵偏好性; 而蕾铃逐渐发育, 营养较好, 次生物质含量较低, 因此棉铃虫对蕾铃具有很强的产卵偏好性。

2.2 赤眼蜂对棉株不同部位棉铃虫卵的寄生率

经连续 3 次放蜂后, 赤眼蜂对棉株不同部位的 2 代棉铃虫卵的寄生率由高到低依次为: 叶正面 >

叶背面、茎尖、蕾铃 > 叶柄 > 茎秆(图 1); 对 3 代棉铃虫卵的寄生率由高到低依次为: 叶正面、叶背面、茎尖、蕾铃 > 叶柄 > 茎秆(图 2)。可见, 赤眼蜂对棉铃虫卵的寄生率因卵的位置不同而有较大差异, 这既与棉铃虫在棉株不同部位的落卵量有关, 也可能与棉株不同部位的理化特性有关。此外, 赤眼蜂对 2, 3 代棉铃虫卵的寄生率也有一定差异。就 2 代棉铃虫而言, 棉叶上的落卵量最高, 赤眼蜂的寄生率相应较高(叶正面 81.7%, 叶背面 65.3%); 叶柄和茎秆上棉铃虫落卵量较低, 赤眼蜂的寄生率也较低(叶柄 42.7%, 茎秆 30.7%), 茎秆尤其不利于赤眼蜂对棉铃虫卵的寄生; 茎尖和蕾铃上尽管棉铃虫落卵量较低, 赤眼蜂的寄生率却较高(茎尖 71.6%, 蕾铃 70.0%), 可能是茎尖和蕾铃的某些挥发性化学物质对赤眼蜂具有招引诱集作用, 或者是其较为光滑的表面利于赤眼蜂的搜索和产卵寄生行为。

表 1 不同类型棉田棉铃虫卵的被寄生率及蕾铃被害率

Tab. 1 Paraetism of <i>Helicoverpa armigera</i> eggs by <i>Trichogramma chilonis</i> and injury rate of cotton buds and bolls in different types of cotton fields					
棉铃虫代数 Cotton bollworm generation	调查日期 Date	棉铃虫卵被寄生率/ % Parasitism		蕾铃被害率/ % Bud and boll damage rate	
		综防田 <i>Trichogramma</i> released	化防田 Chemically- controlled	综防田 <i>Trichogramma</i> released	化防田 Chemically- controlled
2 代 2nd generation	06- 21	66.0±0.7 a	7.0±1.2 b		
	06- 24	70.7±1.4 a	12.3±0.9 b		
	06- 27	68.3±0.9 a	9.5±1.3 b	2.2±1.2 a	8.5±1.7 b
3 代 3rd generation	07- 28	76.0±1.4 a	5.2±0.7 b		
	07- 31	81.2±1.1 a	7.4±0.8 b		
	08- 03	79.0±0.9 a	6.3±0.7 b	3.1±0.9 a	20.9±2.0 b

注: mean ± se, 同一指标同行数据后不同的小写字母表示差异显著 (P< 0.05, t-test)
Note: Means within a line of the same parameter followed by different letters at lowercase are significantly different at P< 0.05, tested by student's t-test

2.4 棉田棉铃虫及捕食性天敌发生动态

山东惠民棉区 2, 3, 4 代棉铃虫卵发生盛期分别在 6 月下旬、7 月下旬和 8 月下旬(图 3)。化防田棉铃虫卵和幼虫的数量动态趋势基本相同, 捕食性天敌数量动态与两者也基本相同(图 3-B); 综防田棉铃虫卵量也具有明显的 3 个高峰期, 棉铃虫幼虫数量始终较低, 捕食性天敌数量基本上始终高于棉铃虫卵量, 且自 6 月至 8 月上中旬持续上升, 之后逐渐下降(图 3-A)。

总体而言, 综防田棉铃虫卵量较化防田低($t=3.996, df=21, P=0.001$), 幼虫数量也较低($t=3.347, df=21, P=0.003$), 但其数量动态趋势基本相同(图 3); 特别是在 2 代棉铃虫时期(6 月上旬~ 7 月 13 日), 两类型棉田的棉铃虫卵量差异不显著($t=1.178, df=7, P=0.277$), 幼虫数量差异也不显著($t=1.732, df=7, P=0.127$); 在 3 代棉铃虫以后(7 月 19 日后), 综防田棉铃虫卵量($t=2.742, df=13, P=0.016$) 和幼虫数量($t=3.018, df=13, P=$

就 3 代棉铃虫而言, 蕾铃上的落卵量最高, 赤眼蜂的寄生率相应较高(81.8%); 棉叶、茎尖、叶柄和茎秆的落卵量均较低, 但棉叶上棉铃虫卵的被寄生率较高(叶正面 86.1%, 叶背面 80.8%), 茎尖为 75.8%, 叶柄为 65.5%, 茎秆仅为 40.8%。

2.3 释放赤眼蜂对棉铃虫的控制效果

释放赤眼蜂对 2, 3 代棉铃虫具有很强的控制作用, 2, 3 代棉铃虫卵的被寄生率分别为 66.0% ~ 70.7% 和 76.0% ~ 81.2%, 均显著高于化防田的自然寄生率(2 代: 7.0% ~ 12.3%, 3 代: 5.2% ~ 7.4%); 2, 3 代棉铃虫时期蕾铃被害率分别为 2.2% 和 3.1%, 显著低于化防田(2 代: 8.5%, 3 代: 20.9%)(表 1)。表明, 抗虫杂交棉田通过释放赤眼蜂可有效防治棉铃虫, 降低其为害。此方法由于不需施用化学农药防治棉铃虫, 降低了棉农的经济投入, 并减轻了对环境的污染。

0.009) 则显著低于化防田。此外, 综防田的捕食性天敌数量显著高于化防田($t=6.764, df=21, P<0.001$)(图 3)。

可见, 棉田连续释放赤眼蜂对棉铃虫控制效果具有累加效应, 尽管综防田的 2 代棉铃虫卵量和幼虫数量与化防田相近, 但 3 代棉铃虫卵量和幼虫数量均显著减少。此外, 以释放赤眼蜂为主要措施的综防田, 有利于捕食性天敌的种群扩增, 从而增强了对棉铃虫的控制作用。

3 讨论

国内外针对多种作物上棉铃虫卵的空间分布特征及抽样技术的研究报道较多^[14- 17], 但对于赤眼蜂对棉铃虫卵寄生率空间差异的研究较少。植食性害虫空间分布格局的形成是其行为特性和寄主植物种类、生育期、长势等诸多环境因子综合作用的结果, 揭示了物种选择栖境的内禀特性和空间的异质

性程度^[18]。天敌控害作用空间异质性的研究有助于揭示植物-害虫-天敌三级营养水平的联系及天敌对环境的适应性。研究表明, 赤眼蜂对棉株不同部位的棉铃虫卵的寄生率差异较大, 这可能与

不同部位的落卵量有关, 也可能与棉株不同组织器官的物理化学特性有关, 如某些挥发性化学信息物质, 或表面的光滑程度。

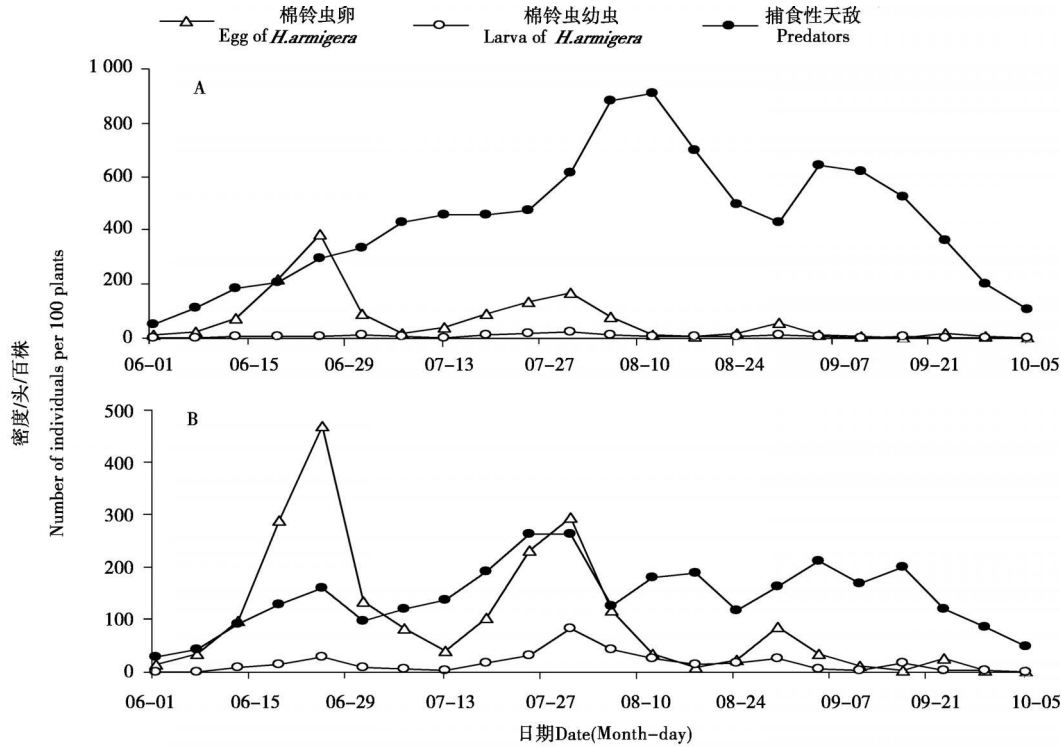


图3 抗虫杂交棉综防田(A)和化防田(B)棉铃虫卵、幼虫和捕食性天敌的数量动态
Fig.3 Seasonal dynamics of cotton bollworm eggs, larvae and predators in *Trichogramma* released cotton field(A) vs chemical controlled cotton field(B)

抗虫杂交棉化防田在2代棉铃虫时期棉铃虫卵被寄生率较低, 但幼虫量与综防田相近, 这是由于抗虫棉自身的抗虫性, 对棉铃虫幼虫起到很好的控制作用。但由于转Bt基因抗虫棉前期抗性较强而中后期抗性逐渐下降^[6], 因此, 在棉花生长后期, 即第3, 4代棉铃虫时期, 需人为干预, 如通过释放赤眼蜂或化学药剂防治, 以降低棉铃虫的危害性。与化学防治相比, 在棉花生长中后期释放赤眼蜂, 可压低棉铃虫卵基数, 弥补Bt棉抗虫性减弱的不足, 最大限度地减少农药使用和保护天敌, 有利于延缓棉铃虫对Bt棉产生抗性^[19]。研究表明, 以释放赤眼蜂为主的综防措施, 对于抗虫杂交棉田的棉铃虫具有较好防治效果, 并显著优于化学防治。

由于棉田自然天敌功能团迁入的滞后性和数量上的局限性, 在棉铃虫卵量高峰期, 天敌与棉铃虫卵在时空分布上的“错位”, 单纯依靠自然天敌功能团不足以控制棉铃虫的危害, 释放赤眼蜂从时间、空间和数量上都弥补了自然天敌功能团对棉铃虫控制作用的不足, 无疑是一种较好的防治方法。但在前期, 由于气候和生境等的影响, 赤眼蜂孵化率、寄生率都

受到一定程度的影响。因此, 不仅需要选择耐高温、抗干旱的优良蜂种, 还要在放蜂前进行田间灌溉, 降低田间的温度, 提高田间的湿度, 以利于赤眼蜂的羽化。此外, 作物相的改变也会影响赤眼蜂对害虫的寄生效率, 如在棉田间作匍匐型绿豆, 由于绿豆挥发性化学物质-协同素的引诱作用, 可提高螟黄赤眼蜂对棉铃虫卵的寄生率^[20]。可见, 在赤眼蜂的保护利用中, 应充分考虑环境条件因素, 以期最大限度地发挥其控害效能。

总体而言, 人工释放赤眼蜂可显著提高抗虫杂交棉田棉铃虫卵的被寄生率, 并降低蕾铃被害率。通过释放赤眼蜂进行害虫防治, 具有显著的经济生态效应。放蜂1次, 每公顷成本不足15元钱, 而打药一次每公顷需120~150元, 因此在棉花发生期, 综防田每公顷可比化防田节约成本150~210元。应用释放赤眼蜂防治棉铃虫, 降低了化学农药对环境的污染, 对于生态环境保护具有重要意义。

参考文献:

- [1] 戴小枫, 王武刚, 董双林, 等. 我国转基因Bt棉对棉铃虫的控制效果[J]. 农业生物技术学报, 1998, 6(2): 109

- 115.
- [2] 芮昌辉, 范贤林, 董丰收, 等. 不同转基因抗虫棉对棉铃虫抗虫性的时空动态[J]. 昆虫学报, 2002, 45(5) : 567– 570.
- [3] 万方浩, 刘万学, 郭建英. 不同类型棉田棉铃虫天敌功能团的组成及时空动态[J]. 生态学报, 2002, 22(6) : 935– 942.
- [4] 邓曙东, 徐 静, 张青文, 等. 转 Bt 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响[J]. 昆虫学报, 2003, 46(1) : 1– 5.
- [5] 吴家和, 陈志贤, 李淑君, 等. 转 Bt 基因棉花各组织器官对棉铃虫抗性的研究[J]. 华北农学报, 1999, 14(2) : 63– 66.
- [6] 张永军, 吴孔明, 郭予元. 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及对棉铃虫的毒杀效果[J]. 植物保护学报, 2001, 28(1) : 1– 6.
- [7] 赵建周, 赵奎军, 卢美光, 等. 华北地区棉铃虫与转 Bt 杀虫蛋白基因棉花间的互作研究[J]. 中国农业科学, 1998, 31(5) : 1– 6.
- [8] 崔金杰, 夏敬源. 麦套夏播转 Bt 基因棉田主要害虫及其天敌的发生规律[J]. 棉花学报, 1998, 10(5) : 255– 262.
- [9] 李琼芳. 四川棉田拟澳洲赤眼蜂生物学特性及防治棉铃虫的研究[J]. 昆虫知识, 1982, (5) : 17– 20.
- [10] 刘建峰, 刘志诚, 冯新霞, 等. 利用人工卵繁殖赤眼蜂及其田间防虫试验概况[J]. 中国生物防治, 1998, 14(3) : 139– 140.
- [11] 冯建国, 陶 训, 张安盛. 人工卵赤眼蜂对玉米害虫的控害效果[J]. 中国生物防治, 1999, 15(3) : 97– 99.
- [12] 王立和, 张青文, 杨淑霞, 等. 螟黄赤眼蜂在棉田的扩散方向及其与风速风向的关系[J]. 昆虫学报, 1998, 41(增刊) : 76– 81.
- [13] 张青文, 王立和, 杨淑霞, 等. 螟黄赤眼蜂在棉田的有效扩散距离及其影响因素的研究[J]. 昆虫学报, 1998, 41(增刊) : 68– 75.
- [14] 丁岩钦, 陈玉平. 棉田内棉铃虫卵分布型参数特征及其应用[J]. 生态学报, 1985, 5(1) : 54– 63.
- [15] 丁岩钦, 陈玉平. 棉田棉铃虫卵估值抽样的研究[J]. 生态学报, 1985, 5(2) : 136– 146.
- [16] Duffield S J, Chapple D G. Within-plant distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Helicoverpa punctigera* (Wal-lengren) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs on irrigated soybean [J]. Australian Journal of Entomology, 2001, 40(2) : 151– 157.
- [17] Sequeira R V, Moore A D. Aggregative oviposition behaviour of *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in contaminated chickpea crops [J]. Australian Journal of Entomology, 2003, 42(1) : 29– 34.
- [18] 陆永跃, 黄 诚, 胡华俊. 沿江棉区棉田棉铃虫卵的空间格局[J]. 江西科学, 2000, 18(2) : 81– 85.
- [19] 刘万学, 万方浩, 郭建英, 等. 人工释放赤眼蜂对棉铃虫的防治作用及相关生态效应[J]. 昆虫学报, 2003, 46(3) : 311– 317.
- [20] 郑 礼, 郑书宏, 宋 凯. 螟黄赤眼蜂与绿豆和棉花植株间协同素研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(院庆专辑) : 108– 111.