

不同类型棉田棉铃虫天敌功能团的组成及时空动态

万方浩, 刘万学*, 郭建英

(中国农业科学院生物防治研究所, 农业部农作物病虫害生物防治资源研究与利用重点实验室, 北京 100081)

摘要:比较分析转 Bt 基因棉棉田、常规棉综防棉田和常规棉化防棉田棉铃虫天敌功能团的组成、数量、时空和多样性的发生动态。主要结果为: Bt 棉田比常规棉综防棉田和化防棉田天敌种类分别增加 16.3% 和 54.1%; 百株累计捕食性天敌数量分别增加 52.8% 和 176.3%, 棉铃虫幼虫寄生蜂数量分别降低 42.9% 和 52.9%; 天敌功能团多样性分别增加 10.1% 和 24.1%。常规棉棉田二代、三代棉铃虫幼虫寄生率分别为 11.1%~65.0% 和 4.1%~66.2%, Bt 棉田为 0.0%~5.0%。就不同类型天敌功能团来说, Bt 棉田瓢虫和草蛉的数量比综防棉田分别减少 8.4% 和 5.8%, 比化防棉田分别增加 34.1% 和 206.3%; Bt 棉田食虫蝽和蜘蛛的数量比综防棉田分别增加 180.6% 和 71.2%, 比化防棉田分别增加 329.1% 和 483.7%。棉铃虫捕食性天敌空间生态位发生动态在各类棉田相似。分析认为: Bt 棉田有利于保护瓢虫和草蛉, 有利于食虫蝽类和蜘蛛类天敌的增殖; Bt 棉田棉铃虫天敌群落依次比常规棉综防棉田和化防棉田稳定。不同时期、不同类型棉田的棉铃虫天敌功能团数量和所起的作用不同。6 月下旬棉铃虫捕食性天敌控制作用存在“空缺”, 7 月下旬化防棉田出现天敌控制“空缺”。不同时期捕食性天敌功能团恢复能力有差异, 6 月底~7 月初天敌恢复能力最强, 7 月下旬, 天敌恢复能力最弱。天敌功能团中, 瓢虫恢复能力最强, 食虫蝽类和蜘蛛类天敌次之。

关键词:棉铃虫; Bt 棉; 天敌功能团; 多样性; 丰富度; 群落重建

Comparison Analyses of the Functional Groups of Natural Enemy in Transgenic Bt-cotton Field and Non-transgenic Cotton Fields With IPM, and Chemical Control

WAN Fang-Hao, LIU Wan-Xue, GUO Jian-Ying (Key Laboratory of Bio-control Resources Research and Utilization, MOA, Institute of Biological Control, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 935~942.

Abstract: Based on the survey in 1997, a further systematic survey was made in a transgenic Bt cotton field and two non-transgenic cotton fields (one with IPM, one with chemical control) in Nanpi county, Hebei province, in 1998. The main purposes for this research were to understand the time-space dynamics of the different functional groups in different types of cotton fields, and work out a new IPM strategy in transgenic Bt cotton fields. In an area of 0.3 hm² for each field, 10 plants in 10 spots were fixed for sampling. The populations of the target insect pest, *Helicoverpa armigera* (Hübner), its predators and parasitoids were observed every 5-days from May to October. The natural enemies were classified into six groups: ladybirds, lacewings, predatory bugs, spiders, parasitic wasps and other predators.

Compared to the conventional IPM and the chemically controlled cotton fields, we found that: (1) The total numbers of predators and parasitoids species in the transgenic Bt cotton field were 57; higher

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000016209); 国家“十五”科技攻关重大资助项目(2002BA516A01)

收稿日期: 2000-06-04; 修订日期: 2001-07-10

吉林农业大学现代化所王福莲, 孟昭军参加部分工作, 中国科学院动物研究所陈军博士鉴定部分蜘蛛标本, 特表谢意

作者简介: 万方浩(1956-), 男, 湖南临澧人, 研究员。主要从事昆虫生态及生物安全研究。

* 通讯作者 Author for correspondence

than in the other two fields by 16.3% and 54.1%, respectively; (2) The total number of individual predators were 2757 in transgenic Bt cotton field, higher by 52.8% and 176.3%, than in the two non-Bt fields, respectively; (3) The total number of parasitic wasps (*Microplitis mediator* and *Campoletis chloridae*) in transgenic Bt cotton field was 16, decreased by 42.9% and 52.9%, respectively; (4) Larval parasitism of cotton bollworm in transgenic Bt cotton field was only 0%~5.0%, while in the non-Bt cotton fields parasitism was 11.1%~65.0% for the second generation of *H. armigera*, and 4.1%~66.2% for the third generation; (5) The numbers of ladybirds (*Propylaea japonica*, *Coccinella septempunctata*, and others) and lacewings (*Chrysopa* spp.) in transgenic Bt cotton fields were 724 and 49, decreased by 8.4% and 5.8% compared with the IPM cotton field, but higher by 34.1% and 206.3% when compared with the chemically controlled cotton field; (6) The numbers of predatory bugs (*Orius* spp., *Campylomma diversicornis*, *Nabis* spp. and others) and spiders in transgenic Bt cotton fields increased by 180.6% and 71.2%, compared to the IPM cotton field, and increased by 329.1% and 483.7% compared to the chemically controlled cotton field; and (7) The diversity of natural enemy groups increased by 10.1% and 24.1%, respectively.

In transgenic Bt cotton field, the number of predators reached a peak in mid-August. By numbers, the dominant natural enemy group was ladybirds in the early season, predatory bugs and spiders in mid-season, while spiders and predatory bugs during the late-stage of cotton growth. Compared to the chemically controlled cotton field, predators in the IPM cotton field were quicker to reinvade the field. Ladybirds seemed to reinvade first, followed by predatory bugs and spiders.

Niche width indices of all predator groups in the three types of cotton fields were 0.85, 0.81 and 0.72, respectively. This indicated that the spatial dynamics of all predators was very similar. The abundances of all predator groups in the upper part of plant in the three types of cotton fields were 0.406, 38.2 and 43.7, respectively; not significantly different from each other. However, there were significant differences during the different generations of cotton bollworm. In each type of cotton field, predators in the upper part of plant were most abundant during the second generation of *H. armigera* (abundance value was 0.706, 0.517 and 0.594, respectively). During the third generation of *H. armigera*, the abundances were lower (0.346, 0.419 and 0.499 respectively).

These results showed that the transgenic Bt cotton field helped to conserve ladybirds and lacewings, and supported higher numbers of predatory bugs and spiders. The predator community in transgenic Bt cotton field was more stable than that of either the IPM or the chemically controlled cotton field. Based on the above analyses, the management measures for different generations of cotton bollworm in different eco-type cotton fields were worked out.

Key words: *Helicoverpa armigera* (Hübner); transgenic Bt cotton; natural enemy functional groups; biodiversity; abundance; community reestablishing

文章编号:1000-0933(2002)06-0935-08 中图分类号:S43 文献标识码:A

田间生命表研究表明,自然天敌是造成棉铃虫卵和低龄幼虫死亡的主要原因^[1]。近年来,由于频繁施药,天敌的丰富度和多度下降是造成棉铃虫种群失控的重要人为因子。因此,实施以保护利用天敌为主的棉田害虫的综合防治措施一直是科研工作者追求的目标,并已取得较大成效。转 Bt 基因棉(简称 Bt 棉)推广应用后,减少了农药的使用,无疑也为棉田天敌的保护利用提供了一个有利的契机。

棉铃虫天敌种类多、数量大,棉花不同发育阶段其种类、数量及时空生态位不同,从而控害作用亦呈现时空上的序列性^[2]。以往对棉田天敌研究的大量工作通常集中在研究一种天敌对棉铃虫控制作用的数量单相关关系或者从群落的水平来分析棉田生物结构的多样性、丰富度^[2~4],这些均不能直观、准确地

对比反应出不同防治措施对不同棉铃虫天敌功能团时空动态的影响及其控害效果。对 Bt 棉来说,亦不能反映其对不同天敌功能团的影响。

本文选取转 Bt 基因棉棉田(以下简称 Bt 棉田)、常规棉综合防治田(以下简称综防棉田)和常规棉化防田(以下简称化防棉田),把棉铃虫天敌分成几个功能团,依据棉铃虫的种群发生动态,从时间上、空间上比较和分析天敌功能团的数量、多样性和丰富度变化以及施药后天敌功能团在各个不同时期的恢复和重建速率,以期对 Bt 棉棉田和常规棉棉田天敌保护利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 棉田生物群落调查

1.1.1 实验设置 1998 年在河北省南皮县冯家口镇棉区选取 3 类棉田:① Bt 棉田,品种为中棉 30,棉铃虫发生期内未施有机农药。② 常规棉综防田,品种为 82-新系,6 月 30 日和 7 月 27 日施用农药防治棉铃虫。棉铃虫发生期内释放赤眼蜂 9 次,分别为二代 2 次、三代 4 次、四代 3 次,每次间隔 3~4d。③ 常规棉化防田,当地常规品种,6 月 25 日、7 月 3 日、6 日、25 日和 8 月 6 日喷药防治棉铃虫。3 类棉田面积均约为 0.3hm²,4 月底播种。棉区总面积约 14hm²。棉区毗邻大田作物,春季主要为小麦,夏季主要为玉米。棉区周边有零星的首蓿地和大豆地。

1.1.2 调查内容及方法 采用棋盘式 10 点取样,自 6 月 10 日始,每 5d 调查一次,共 21 次,定点定株分上、中、下、地面 4 个层次系统调查棉田 10 株棉花(7 月 15 日后减半)内所有节肢动物的种类及数量。

1.2 数据处理

1.2.1 棉铃虫天敌功能团划分 把棉铃虫捕食性天敌依据系统分类和食性特点,分为瓢虫类、食虫蝽类、草蛉类、蜘蛛类、其它捕食者和棉铃虫幼虫寄生性天敌六大类别。

1.2.2 计算公式 群落多样性(biodiversity)指数 H' 、优势度指数 D' 、均匀度指数 J' ,采用 1949 年 Shannon-Winner 信息量指数的计算方法^[5];空间生态位宽度,采用以 Shannon-Wiener 多样性指数为基础的生态位宽度指数^[5]。

2 结果与分析

2.1 天敌种类组成

棉田共查到棉铃虫天敌昆虫 9 目 28 科 63 种,其中瓢虫类 7 种,食虫蝽类 8 种,蜘蛛 31 种。Bt 棉田天敌昆虫为 7 目 25 科 57 种,比常规棉综防棉田和化防棉田分别增加 16.3%和 54.1%,后者分别为 7 目 25 科 49 种和 7 目 23 科 37 种。主要天敌有:龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg、红蚂蚁 *Tetramorium* sp、叶色草蛉 *Chrysopa phyllochroma* Wesmael、中华草蛉 *C. sinica* Tjeder、大草蛉 *C. septempunctata* Wesmael、隐翅甲 *Paederus* sp.、姬猎蝽 *Nabis* sp.、微小花蝽 *Orius minutus* Linnaeus、异须盲蝽 *Campylomma diversicornis* Reuter、狼蛛 *Pardosa tinsignita* Boes. et Str.、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall、卷叶蛛 *Dictyna* sp.、侧纹蟹蛛 *Xysticus lateralis atrimaculatus* Boes. et Str.、三突花蛛 *Misumenopos tricuspidata* Fabricius、蚁型狼蟹蛛 *Thanatus formicinus* Clerck、温室希蛛 *Achaearanea tepidariorum* Koch、黑亮腹蛛 *Singa hamata* Clerck、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggian、侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* Haliday、齿唇姬蜂 *Campoletis chloridae* Uchida、多胚跳小蜂 *Litomastix* sp. 等。

2.2 天敌发生动态

2.2.1 捕食性天敌数量发生动态 Bt 棉田捕食性天敌数量百株累计 2757 头,比常规棉综防田和化防棉田分别增加 52.8%和 176.3%。从数量发生动态来看(图 1),6 月下旬至 8 月中旬 Bt 棉田捕食性天敌总量一直上升。7 月 15 日数据至 8 月初综防棉田的天敌数量出现“低谷”,是由于施药所致;施药后 5d 和 10d,数量

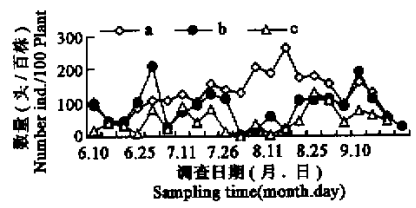


图 1 不同棉田棉铃虫捕食性天敌数量的季节动态
Fig.1 Seasonal dynamics of predators in transgenic Bt cotton field (a),conventional IPM cotton field (b) and conventional chemically controlled cotton field (c)

分别恢复至百株 29 头和 73 头,分别为同期 Bt 棉田的 27.6%和 57.5%;7 月中旬天敌数量恢复至接近于 Bt 棉田。7 月下旬综防棉田平均百株捕食性天敌为 118 头,施药后 4d 仅 4 头,10d 后恢复至 20 头,远低于同期 Bt 棉田天敌数量(分别为 1.9%和 10.6%)。与前期对比可看出,中期综防棉田捕食性天敌不易恢复或重建。化防棉田由于施药频繁,天敌群落尤为脆弱,7 月下旬平均百株捕食性天敌数量为 7 头。棉田后期 3 类棉田天敌数量差异相对较小,Bt 棉田平均百株天敌数量分别为综防棉田和化防棉田的 1.2 和 1.9 倍。

2.2.2 天敌功能团数量动态 从 3 类棉田不同捕食性天敌功能团数量对比来看(表 1),Bt 棉田瓢虫和草蛉数量略小于综防棉田,明显大于化防棉田;其它天敌功能团数量均为,Bt 棉田>综防棉田>化防棉田。从丰富度对比来看,综防棉田和化防棉田蜘蛛、食虫蝽丰富度降低,而瓢虫丰富度升高,说明施用农药对蜘蛛和食虫蝽的影响较大,对瓢虫和草蛉影响相对较小。

表 1 不同类型棉田捕食性天敌功能团数量(头/百株)及丰富度(%)

Table 1 The total number and abundance functional groups of predator per 100 plants in different eco-type cotton fields

	棉田类型 Cotton fields type	瓢虫类 Ladybirds	食虫蝽 Pradatoyu bugs	草蛉类 Lacewings	蜘蛛类 Spiders	其它 Other predators
天敌数量 Number	Bt 棉田 a	724	884	49	969	131
	综防棉田 b	790	315	52	566	81
	化防棉田 c	540	206	16	166	70
丰富度 Abundance	Bt 棉田 a	0.263	0.321	0.018	0.351	0.048
	综防棉田 b	0.438	0.175	0.029	0.314	0.045
	化防棉田 c	0.541	0.206	0.016	0.166	0.070

* a: Transgenic Bt cotton field, b: Conventional IPM cotton field, c: Conventional chemically controlled field

从天敌功能团数量发生动态来看,前期 Bt 棉田以瓢虫占优势,中期主要为食虫蝽类和蜘蛛,后期主要为蜘蛛和食虫蝽类(图 2a);而综防棉田和化防棉田均为瓢虫类天敌占优势,分别占 43.8%和 54.1%(图 2b、图 2c)。

Bt 棉田瓢虫类天敌出现 3 个高峰,分别在 6 月 10 日、6 月底~7 月初和 8 月中旬。8 月中旬前食虫蝽数量一直呈上升趋势,前期主要为小花蝽、姬猎蝽和少量的大眼蝉长蝽,中、后期大部分为异须盲蝽,占捕食性蝽类天敌总量的 94.1%。草蛉主要在 7 月下旬、8 月中下旬、9 月中旬形成一定的数量。蜘蛛数量一直呈上升趋势,温室希蛛因其产卵量大而增加最迅速,成、若蛛累计数量为 556 头,占蜘蛛总数的 57.4%。

施药前综防棉田天敌功能团发生趋势与 Bt 棉田基本一致。施药后 5d(7 月 5 日),综防棉田百株仅瓢虫 29 头,比 Bt 棉田减少了 59.7%;10d 后食虫蝽和蜘蛛略有恢复,但以瓢虫恢复能力最强,丰盛度达 0.849;7 月中旬,瓢虫类天敌恢复至最高峰(百株 75 头);7 月底食虫蝽类天敌恢复至百株 46 头,丰富度为 0.411。7 月底~8 月上旬,综防棉田天敌功能团恢复速度为:瓢虫类>蜘蛛类>食虫蝽类,百株平均数量瓢虫为 16.0 头,蜘蛛 7.3 头,食虫蝽 2.7 头,远低于同期 Bt 棉田捕食性天敌的数量(百株平均数量为:瓢虫 26.7 头,食虫蝽 86.7 头,蜘蛛 53.3 头);也低于 7 月上旬该综防田的天敌恢复速度(百株平均瓢虫 38 头)。8 月上旬~9 月底,瓢虫类、食虫蝽、蜘蛛类丰盛度变化趋势与 Bt 棉田较一致,数量上以蜘蛛占优势,其次是瓢虫和食虫蝽。

从整体上看,化防棉田天敌功能团的恢复能力为:瓢虫类>食虫蝽类>蜘蛛类。8 月 25 日前化防棉田各类天敌功能团数量均明显低于 Bt 棉田和综防棉田,而后期差别甚小。

2.2.3 棉铃虫天敌空间动态 Bt 棉田、综防棉田和化防棉田棉铃虫捕食性天敌生态位宽度变化趋势相似(图 3),平均指数分别为 0.85 ± 0.17 、 0.81 ± 0.09 、 0.72 ± 0.31 ,差异不显著($F_{2,19}=1.96$, $p>0.05$)。6 月下旬天敌生态位宽度指数开始增加,以后在 7 月底、9 月中旬稍有下降,但都保持在一个比较高的指数值,且变化幅度不大。

天敌的空间分布影响其控害作用。棉铃虫卵主要分布于棉株上部,上部天敌功能团所起的作用显然要

大。从上部天敌丰富度变化趋势来看,3类棉田基本一致(图4)。6月中下旬天敌主要在棉株上部活动,6月底~7月上旬上部天敌丰富度降低,部分天敌逐步向下活动,其中主要为瓢虫类天敌。棉田中后期棉株中下部一些结小网的蜘蛛类、园蛛、皿蛛等蜘蛛类天敌慢慢增殖,同时主要分布于棉株上部的食虫蟬类天敌也增殖,使天敌在各个层次的分布较均匀。

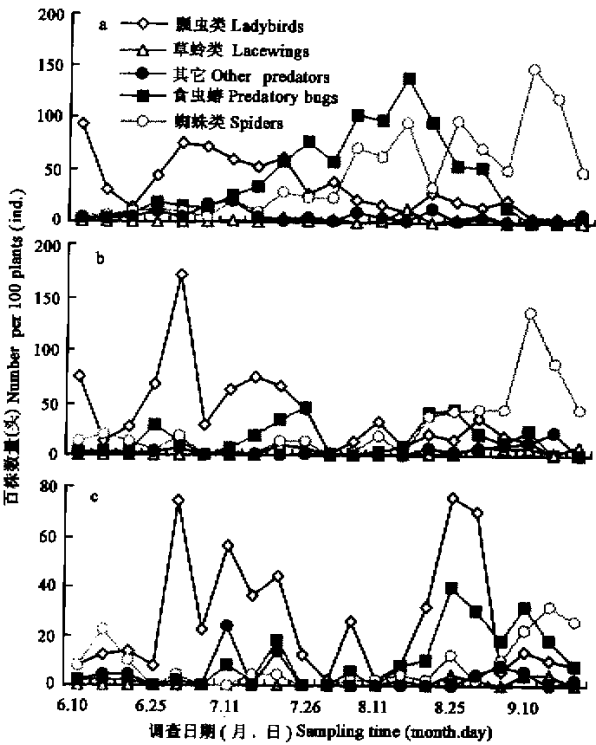


图2 3类棉田(a, Bt棉田; b, 综防棉田; c, 化防棉田)天敌功能团数量的季节发生动态

Fig. 2 Seasonal dynamics of predators functional groups in transgenic Bt cotton field (a), conventional IPM cotton field (b) and conventional chemically controlled cotton field (c)

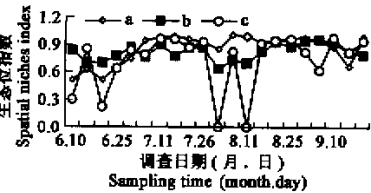


图3 不同棉田棉铃虫捕食性天敌空间生态位季节动态
Fig. 3 Seasonal dynamics of spatial niches of predators in transgenic Bt cotton field (a), conventional IPM cotton field (b) and conventional chemically controlled cotton field (c)

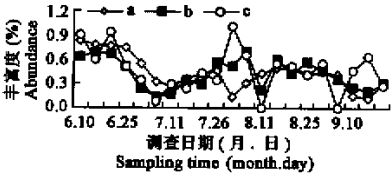


图4 三类棉田(a, Bt棉田; b, 综防棉田; c, 化防棉田)棉株上部棉铃虫捕食性天敌丰富度的季节动态
Fig. 4 Seasonal dynamics of predators in the upper parts of plants in transgenic Bt cotton field (a), conventional IPM cotton field (b) and conventional chemically controlled cotton field (c)

2.2.4 寄生性天敌的控制作用 侧沟绿茧蜂和棉铃虫齿唇姬蜂为棉铃虫幼虫优势寄生性天敌,其中侧沟绿茧蜂占 61.5%(表 2)。Bt 棉田棉铃虫幼虫寄生蜂累计百株数量比综防棉田和化防棉田分别减少 42.9%和 52.9%。棉铃虫幼虫数量少,则寄生蜂数量也少,但从寄生蜂与棉铃虫幼虫的数量比来看,化防棉田<综防棉田<Bt 棉田。Bt 棉田寄生蜂与棉铃虫幼虫数量比值较高可能是由于寄生蜂从毗邻棉田迁移而来。

表 2 不同棉田百株棉铃虫幼虫(头)及其寄生蜂发生数量(头)

	棉铃虫幼虫	侧沟绿茧蜂	齿唇姬蜂	寄生蜂与棉铃虫幼虫比值
	Cotton bollworm	<i>M. mediatar</i>	<i>C. chloridaeae</i>	Ratio of parasitic wasps/cotton bollworm
Bt 棉田 Transgenic Bt cotton field	32	12	4	0.5
综防棉田 Conventional IPM cotton field	135	14	14	0.21
化防棉田 Conventional chemically controlldd field	192	22	12	0.18

棉铃虫幼虫不同发生期的寄生率不同。在棉铃虫幼虫高峰期其寄生率低,综防棉田和化防棉田二代幼虫的被寄生率分别为 25.0%和 11.1%;三代分别为 12.2%和 4.1%;高峰期后(约 10d 左右)的被寄生率高,二代为 45.0%~65.0%,三代为 66.2%,可能是棉铃虫幼虫高峰期积累了寄生蜂基数,加强了对后期棉铃虫幼虫的控制作用。Bt 棉田棉铃虫幼虫的被寄生率低,8 月上旬调查仅为 5.0%,明显低于常规棉田。

2.3 棉铃虫天敌群落稳定性

2.3.1 天敌功能团多样性和物种多样性 Bt 棉田天敌物种平均每次调查为 10.2 ± 2.1 种,综防棉田为 7.9 ± 3.5 种,化防棉田为 5.4 ± 3.0 。Bt 棉田天敌功能团平均多样性指数为 0.987 ± 0.309 ,比综防棉田和化防棉田分别增加 10.1%和 24.1%,后者分别为 0.890 ± 0.357 和 0.786 ± 0.467 。Bt 棉田天敌功能团平均优势度指数为 0.470 ± 0.180 ,比综防棉田和化防棉田分别减少 8.4%和 16.5%,后者分别为 0.513 ± 0.187 和 0.563 ± 0.257 ;Bt 棉田天敌功能团平均均匀度指数为 0.676 ± 0.189 ,比综防田和化防田分别增加 2.0%和 221.9%,后者分别为 0.663 ± 0.218 和 0.210 ± 0.118 。从多样性标准差可以看出,多样性波动幅度为:化防棉田>综防棉田>Bt 棉田。前期 Bt 棉田由于棉田外多种天敌的迁入,6 月 20 日多样性达到高峰,天敌物种为 12,数量较均衡;之后多样性逐渐下降,至 7 月上旬降至低谷,天敌仅 6 种;8 月份(即伏蚜发生高峰期后),天敌多样性保持较高值。综防棉田和化防棉田喷施农药后多样性显著降低,甚至为 0,物种数仅为 1~2 种。

2.3.2 功能团多样性与物种多样性的关系 Bt 棉田、综防棉田和化防棉田,棉铃虫天敌功能团与物种的优势度、多样性、均匀度变化趋势较一致,均极显著相关(表 3),说明用功能团来代替物种进行棉铃虫天敌群落学研究是可行的。其对应的相关系数表现为:化防棉田>综防棉田>Bt 棉田,这是由于施用农药,减少了天敌稀有种的种类,使天敌种类趋于简单,从而模糊了天敌功能团内天敌之间的差异性。

表 3 棉铃虫天敌功能团多样性与物种多样性的相关系数

	Bt 棉田			综防棉田			化防棉田		
	Transgenic Bt cotton field			Conventional IPM cotton field			Chemically controlled field		
相关项目 Related items	D_1-D_2	$H'_1-H'_2$	$J'_1-J'_2$	D_1-D_2	$H'_1-H'_2$	$J'_1-J'_2$	D_1-D_2	$H'_1-H'_2$	$J'_1-J'_2$
相关系数 Related coefficients	0.778	0.675	0.645	0.842	0.760	0.912	0.980	0.954	0.985
概率值 Probability	0.0001	0.0008	0.0016	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

* D :dominance diversity, J' :evenness; 1:functional groups, 2:species

3 结论与讨论

崔金杰和夏敬源 2000 年研究发现,同常规未施药棉田相比,麦套夏播转 Bt 基因棉田对棉田捕食性天敌影响不显著,棉铃虫幼虫寄生蜂数量显著减少^[6];天敌群落多样性和均匀度指数均降低,优势集中性高,天敌群落稳定性降低^[7]。显然,未施药的常规棉田单靠自然天敌几乎不能控制棉铃虫和蚜虫的为害。因此,Fitt 等^[8]认为,比较 Bt 棉影响的合适参照物应是目前大量应用农药的常规棉。本研究表明,Bt 棉田天敌种类、多样性、捕食性天敌数量均依次大于常规棉综防棉田和化防棉田;棉铃虫幼虫寄生蜂数量低于综防棉田和化防棉田,且寄生率降低。这与 Fitt 等^[8]的分析相一致。Bt 棉田捕食性天敌数量增加,主要原因是由于减少农药的施用,对天敌起到了保护作用;另外,Bt 棉田较多的次要害虫和中性节肢动物为天敌的增殖提供了食物^[9]。Schuler 等于 1999 年研究证实,转 Bt 作物对寄生蜂无直接毒性^[10]。因此,Bt 棉田棉铃虫幼虫寄生蜂数量减少,一方面是由于转基因棉田棉铃虫幼虫数量明显减少,直接影响了其寄生性天敌种群的增长,另一方面是由于棉铃虫取食转基因棉后发育延迟,间接影响寄生蜂幼虫的发育和成虫的羽化^[11]。

不同类型的天敌功能团在不同类型的棉田数量动态差异明显,除施用农药的影响外,还受天敌功能团本身的生物学特性、周边环境等因素的影响。Bt 棉田瓢虫、草蛉数量和综防棉田差异不大,而食虫蝽和蜘蛛数量却远大于综防棉田和化防棉田。前期棉田天敌主要来自于周边前茬作物小麦和其它生境,其中主要为瓢虫类。Bt 棉田和综防棉田残留苗蚜吸引来自麦田的瓢虫滞留,从而在 6 月 10 日出现第一个“峰”。后因蚜虫减少、此期棉株稀疏、地表光秃、气候干燥,棉田生境不适于瓢虫的滞留而迁走;6 月底至 7 月初棉株现蕾、棉田生境渐适,瓢虫数量至最高“峰”,其后因死亡而逐渐下降,至 8 月中旬下降至全年的最低点。至伏蚜发生时,瓢虫因取食伏蚜产卵繁殖数量上扬,出现第三个“峰”,后因棉株的衰老、棉田生境的不适而迁走。棉田前期小花蝽、姬猎蝽和少量的大眼蝉长蝽主要来自周边生境,中、后期主要是由于食虫蝽在棉田增殖所致。7 月下旬草蛉主要迁自周边环境,此期草蛉数量无法增加可能是由于食物缺乏和草蛉黑小蜂对草蛉卵的寄生(18.4%~30.2%)和受其它捕食性天敌(如龟纹瓢虫等)的攻击或捕食。

Bt 棉对棉铃虫杀虫活性存在明显的时间差异和器官差异,前期抗性强,后期抗性减弱^[12]。据报道,棉铃虫三、四代期,一些棉区的 Bt 棉田仍须进行必要的药剂防治^[6, 13]。本研究中 Bt 棉田棉铃虫百株累计 32 头,伏蚜发生甚轻,均无须化防,天敌在其中可能起到了重要的补充作用。一般来说,天敌和转 Bt 基因作物的联合控害作用表现为增效关系^[14]。另外,文中亦可看出,综防棉田的棉铃虫幼虫数低于化防棉田,除赤眼蜂的控制效果外,天敌在其中也起到了协同增效作用。

在天敌控害过程中,除数量多少这个主要因子外,天敌的数量必须与害虫发生在空间分布上相似,时间发生上同步,才能起到较好的控制效果^[15]。天敌的保护利用亦须根据害虫的发生动态来制订相应的阶段性对策。河北省南皮县棉区二、三、四代棉铃虫卵盛期分别发生在 6 月下旬、7 月下旬、8 月下旬。二代棉铃虫卵高峰期(约 6 月 20~25 日),Bt 棉田和综防棉田天敌多样性高,上部天敌丰富度大,但优势度低,数量少,此期天敌存在控制作用的“空缺”,主要是平面生态位上的“空缺”,即天敌数量不足而造成的棉株上有棉铃虫卵无天敌的局面。对 Bt 棉来说,前期的高抗性弥补了这一缺陷。常规棉则容易失控,可人工释放赤眼蜂来增强控制效果。6 月底~7 月初,棉铃虫卵量下降,尽管天敌多样性低,但优势度高,捕食性天敌数量多(其中主要为瓢虫),对棉铃虫卵和低龄幼虫可起较好控制作用。另外,即使施药,天敌的恢复能力亦较强,但仍应注意对天敌的合理保护。棉铃虫三代发生期,化防棉田和综防棉田由于施药,天敌控害作用急剧下降,此期天敌恢复和重建能力减弱,需采取其它措施如释放赤眼蜂和选用生物农药等补充措施增加控害作用,而 Bt 棉田天敌多,增加了控害作用。棉铃虫四代发生相对较轻,而天敌数量有所增加,无论常规棉还是抗虫棉均应以采用以生物防治为主的生态调控措施。

参考文献

- [1] 万方浩, LI S Y (李世友), GU Y Y (郭予元). Studies on the life table of cotton bollworm. *Acta Phytophylacica Sinica*(in Chinese) (植物保护学报), 1991, 18(3): 199~205.

[2] DING Y Q (丁岩钦), CHEN Y P (陈玉平). Predation pattern of the green lacewing, *Chrysoperla (chrysopa) sinica* on cotton aphids and cotton bollworm. *Chinese Journal of Biological Control*(in Chinese) (生物防治通报), 1986, **2**(3):97~102.

[3] CUI S Z (崔素贞). Studies on biological characteristics of *Propylea japonica* and its predation function to *Helicoverpa armigera*. *Acta Gossypii Sinica* (in Chinese) (棉花学报), 1996, **2**(1):24~28.

[4] LI D Q (李代芹), ZHAO J Z (赵敬钊). The spider community and its diversity in cotton fields. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1993,**13**(3):205~213.

[5] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, **163**:688.

[6] CUI J J (崔金杰), XIA J Y (夏敬源). Effects of Bt (*Bacilius thuringiensis*) transgenic cotton on the dynamics of pest population and their enemies. *Acta Phytophylacica Sinica*(in Chinese) (植物保护学报), 2000, **27**(2):141~145.

[7] CUI J J (崔金杰), XIA J Y (夏敬源). Studies on the components of diversity of the community in transgenic Bt cotton. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 2000, **20**(5): 824~829.

[8] Fitt G P, Mares C L, Llewelly D J, *et al.* Field evaluation and potential ecological impact of transgenic cottons in Australia. *Biocontrol Science and Technology*, 1994, **4**:535~548.

[9] LIU W X (刘万学), WAN F H (万方浩), GUO J Y (郭建英). Structure and seaonal dynamics of arthropods in transgenic Bt cotton field. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese) (生态学报), 2002(5):729~735.

[10] Schuler T H, Potting R P J, Denholm I, *et al.* Parasitoid behaviour and Bt plants. *Nature*, 1999, **400**:825~826.

[11] CUI J J (崔金杰), XIA J Y (夏敬源). Effects of transgenic Bt cotton on the population dynamics of natural enemies. *Acta Gossypii Sinica* (in Chinese) (棉花学报), 1999, **11**(2):84~91.

[12] ZHAO J Z (赵建周), ZHAO G J (赵奎军), LU M G (卢美光), *et al.* Interactions between *Helicoverpa armigera* and transgenic Bt cotton in north China. *Scientia Agricultura Sinica* (in Chinese)(中国农业科学), 1998, **28**(1): 1~7.

[13] ZHANG H Z (张惠珍), WANG M D (王马的), DAI H P (戴慧平), *et al.* Dynamics of *Helicoverpa armigera* in Bt transgenetic cotton fields and its damage. *Entomological Knowledge* (in Chinese)(昆虫知识), 2000,**37**(3):146~148.

[14] HOU M L (侯茂林), LIU W X (刘万学), WAN F H (万方浩). Interaction of transgenic Bt crops with pests and natural enemies. In: *Annals of agricultural science of Chinese youth* (in Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Press, 1999. 463~469.

[15] LIU W X (刘万学), WAN F H (万方浩), ZHANG F (张帆), *et al.* Evaluation on roles of predators in *Helicoverpa armigera* control. *Chinese Journal of Biological Control* (in Chinese)(中国生物防治), 2000,**16**(3): 97~101.