

抗草甘膦转基因大豆对非靶标节肢 动物群落多样性的影响

吴 奇, 彭德良*, 彭于发

(中国农业科学院植物保护所植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100094)

摘要:在田间自然条件下,用直接观察法和吸虫器研究了抗草甘膦转基因大豆对豆田节肢动物群落的影响。结果表明,种植抗除草剂转基因大豆的豆田节肢动物群落和非转基因亲本大豆豆田节肢动物群落的物种数,优势集中性指数、多样性指数相似程度较高,它们之间差异不显著,说明抗除草剂转基因大豆对节肢动物群落多样性无明显影响。

关键词:抗除草剂转基因大豆;节肢动物群落;多样性;物种数

文章编号:1000-0933(2008)06-2622-07 中图分类号:Q142, Q145, Q16 文献标识码:A

Effects of herbicide tolerant soybean on biodiversity of non-target arthropods communities

WU Qi, PENG De-Liang*, PENG Yu-Fa

The State Key Laboratory for Biology of Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2622 ~ 2628.

Abstract: Effects of herbicide tolerant soybean on biodiversity of non-target arthropods communities were evaluated and conducted in the soybean field using direction observation and vacuum-suction machine methods in 2005 in Hebei, China. The results showed that there were no significant difference between herbicide tolerant soybean and non-transgenic soybean in Shannon-winner diversity index, simpson, evenness, number of species and dominant concentration of arthropod communities. This results indicated the herbicide tolerance soybean has no significatence impact on biodiversity of arthropods populations.

Key Words: herbicide tolerant soybean; arthropod communities; biodiversity; number of species

转基因作物(genetically modified crops, GMO)的研究开发取得了举世瞩目的成就,全球转基因作物的种植面积也从 1996 年的 170 万 hm^2 增加到 2006 年的 10200 万 hm^2 [1] 年均增幅在 13%。近年来国内外对转基因作物安全性研究已经取得很大进展,在国内已经先后研究了转基因棉花 [2]、转基因水稻 [3]、转基因玉米 [4] 等对

基金项目:国家 973 计划资助项目(2007CB109200);国家 863 国际合作资助项目(2002AA217101)

收稿日期:2007-03-14; 修订日期:2007-10-29

作者简介:吴奇(1979-),男,辽宁人,硕士,主要从事转基因大豆生物安全研究. E-mail: wuqi5577511@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dlpeng@ippcaas.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Basic Research Program of China (No. 2007CB109200); Hi-Tech Research and Development Program of China, International Cooperation Program of China (No. 2002AA217101)

致谢:参与本研究进行田间试验调查工作的还有湖南农业大学本科实习学生彭焕、彭可维;湖北长江大学的胡朝兴、陈强强等,在此表示感谢

Received date:2007-03-14; Accepted date:2007-10-29

Biography: WU Qi, Master, mainly engaged in biosafety of transgenic soybean. E-mail: wuqi5577511@yahoo.com.cn

节肢动物群落结构影响的研究。

种植转基因植物是否影响农业生态系统中有益天敌生物的种类和种群数量已经成为各国科学家关注的焦点^[5]。有报道指出在转 Bt 基因马铃薯地块中虽然节肢动物数量较多,但其生物多样性却远远低于对照地块^[6];种群模拟模型指出转抗除草剂基因的植物,由于很好的控制了杂草,却减少了以杂草种子为食物的云雀的食物来源,当地的云雀种群数量受到了影响^[7],还有报道使用除草剂克无踪和高盖对棉田节肢动物地面肉食动物和地面植食动物亚群落多样性指数与对照非转基因棉花的差异显著^[8]。因此开展抗除草剂转基因作物对非靶标生物和环境安全性研究对农业生态及其生物多样性的保护有着重要意义,正确评价抗除草剂转基因作物的安全性仍需要大量科学数据。本研究的目的是评价抗草甘膦转基因大豆对豆田节肢动物种群的影响,为转基因大豆的环境安全评价提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点设在河北省廊坊市安次区炊庄的中国农科院廊坊科研中试基地,位于东经 116. 60109° ~ 116. 60169°E,北纬 39. 51004° ~ 39. 51083°N。栽培管理措施按当地常规方式进行,全生育期田间管理除必要的农事操作(如锄草、灌水)外,不使用除草剂,以减少人为影响;人工精细收获试验材料,单脱单藏,按要求统一管理;实验完毕后,销毁所有试验材料。2005 年试验期间,5 月至 9 月份的平均气温分别为 19. 76、26. 28、28. 13、25. 27、22. 43℃,平均降雨量分别为 75. 2、48. 3、50、87. 4mm 和 63. 8mm。7 月份严重干旱,降雨量偏少。

1.2 试验材料与试验设计

试验材料为抗除草剂转基因大豆品种 AG5601 及转基因受体大豆品种 SNK500(孟山都公司提供);当地常规大豆品种:非转基因大豆中黄 13 号。

本试验设 4 个处理,每处理 4 次重复,共 16 个小区。处理 1:抗除草剂转基因大豆 AG5601,不喷施农药(简称 RR);处理 2:转基因受体大豆 SNK500,不喷施农药(简称 CRR);处理 3:当地常规大豆品种中黄 13,不喷施农药(简称 LB);处理 4:抗除草剂转基因大豆 AG5601,喷施农药处理(简称 RR+)。小区采用随机排列,小区间设有 1.5m 宽的空白隔离带;小区面积 150m²(长 11.5m,宽 13m)。

1.3 调查方法

1.3.1 直接观察法

从出苗后一个月开始到成熟,各处理从 6 月份到 9 月份,每 5d 调查 1 次。每次调查时,每小区对角线 5 点取样,每点调查 1m 以内的 20 株大豆,记载大豆上、中、下 3 个叶位的节肢动物的种类和所处的发育阶段,对于未知种类进行统一编号记载,装入小瓶带回实验室内鉴定。

1.3.2 吸虫器调查法

在大豆齐苗后 V3 ~ V5(3 ~ 5 片复叶)的 2005 年 7 月 8 日开始用吸虫器调查第 1 次,以后每隔 14d 左右吸虫器吸虫调查 1 次,共调查 5 次。每次调查时,每处理调查 5 点,调查 20 株,每点用吸虫器由上往下吸取全株大豆及地面上的节肢动物。吸取样品用 75% 乙醇溶液浸泡,带回室内整理和分类鉴定。

1.4 数据分析方法

群落结构与动态分析采用国内常用的物种个体数量、物种丰富度(S)、Shannon-Winner 多样性指数(H') $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$,其中: $P_i = N_i/N$, S 为群落中物种数; P_i 为群落中第 i 个物种个体数量占群落中总个体数的比例。

Simpson 集中性概率指数公式:

$$C = \sum_{i=1}^s \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

式中,s 为物种丰富度;N 为群落中所有物种的个体数之和; N_i 为第 i 种个体的个体数。

均匀性指数(evenness), Pielou 定义均匀性指数为: $J = H'/H'_{\max} = H'/\log_2 S$

J 的取值范围是 $0 \sim 1$ [9]。

原始数据先在 EXCEL2003 经过整理, 再在计算机上运用 DPS [10] 和 SAS 数据处理软件计算。

2 结果与分析

2.1 不同调查方式对大豆田节肢动物群参数的影响

由表 1 可以看出在物种丰富度上直接调查和抽虫方式调查效果相当接近, 直接调查中转基因大豆的物种丰富度要略高于受体对照 CRR (18.75), 但差异不显著 ($P > 0.05$, $P > 0.01$); 转基因大豆的物种丰富度高于当地品种的物种丰富度 LB (15.75), 差异显著 ($P < 0.05$); 而在抽虫方式调查也有相似的结果。在每个小区个体数上, 统计 5 个点百株大豆上节肢动物头数, 可以看出直接调查法的种群个体数比吸虫器调查的个体数高, 主要原因是抽虫时, 吸虫器的吸力有限, 同时由于吸虫器工作时的噪音和工作时要碰动植株导致节肢动物逃逸, 都减少了吸进的数量。但这没有影响对这 4 个处理的比较, 可以看出在直接调查中, 虽然 RR 个体数量 (325) 高于 CRR (275.25)、RR+ (274), 但三者间的差异不显著 ($P > 0.05$), RR 个体数量与 LB 的个体数 (118.75) 的差异极显著 ($P < 0.05$)。吸虫器调查法中 RR、CRR、RR+ 之间在个体数量上较接近, 差异不显著, 但和 LB 的差异极显著。在优势集中度指数方面, 直接调查中转基因大豆 RR (0.61)、RR+ (0.64) 的优势集中性指数要低于常规豆 CRR (0.66)、LB (0.69); 吸虫器调查法 RR (0.83)、RR+ (0.84) 也低于常规豆 CRR (0.85)、LB (0.91), 但 RR、RR+ 与 CRR 差异不显著; 在多样性指数方面, 尽管直接调查中的 4 个处理的多样性指数差异不显著, 但其中多样性指数方面转基因大豆 RR (2.26)、RR+ (2.36) 要低于 CRR (2.38)、LB (2.49), 而吸虫器调查法 RR、RR+、CRR 之间差异不显著, 但与当地品种 LB 差异显著; RR (0.55、0.78)、RR+ (0.57、0.80) 的均匀度指数在两种调查方式中均低于 CRR (0.58、0.81), 但差异不显著, 而当地品种 LB 的均匀度指数 (0.65、0.89) 与 RR、RR+ 均匀度指数的差异极显著 (表 1)。

表 1 不同调查方式下抗除草剂转基因大豆节肢动物群落参数 (头/百株, 2005 年)

Table 1 Parameters of arthropod community in Herbicide tolerant Soybean under different survey pattern

		物种丰富度 Number of species	个体数 头/区 Number of arthropods	优势集中性指数 Simpson index	多样性指数 (H') Diversity index	均匀度指数 Pielou index
RR	Z	19.00 ± 0.82aA	325.00 ± 122.21aA	0.61 ± 0.07bA	2.26 ± 0.24aA	0.55 ± 0.06bB
RR	C	19.55 ± 1.61aA	60.95 ± 10.27aA	0.83 ± 0.04bB	3.29 ± 0.14bB	0.78 ± 0.04bB
CRR	Z	18.75 ± 0.50aA	275.25 ± 70.02aAB	0.66 ± 0.02abA	2.38 ± 0.10aA	0.58 ± 0.03bAB
CRR	C	18.95 ± 1.29aA	59.4 ± 7.18aA	0.85 ± 0.03bAB	3.37 ± 0.17bAB	0.81 ± 0.04bB
RR+	Z	19.25 ± 0.96aA	274.00 ± 55.60aAB	0.64 ± 0.02abA	2.36 ± 0.14aA	0.57 ± 0.03bB
RR+	C	18.05 ± 1.57aA	59.4 ± 6.24aA	0.84 ± 0.02bB	3.29 ± 0.16bB	0.80 ± 0.02bB
LB	Z	15.75 ± 0.96bB	118.75 ± 40.15bB	0.69 ± 0.03aA	2.49 ± 0.13aA	0.65 ± 0.02aA
LB	C	17.60 ± 1.10aA	37.95 ± 4.73bB	0.91 ± 0.03aA	3.64 ± 0.15aA	0.89 ± 0.03aA

表中数据为平均值 ± 标准差; 数据后不同小写字母表示同一列处理田块之间在 $\alpha = 0.05$ 差异显著, 不同大写字母表示在同一处理田块之间在 $\alpha = 0.01$ 差异显著; Z 为直接调查方式, C 为吸虫器调查法; RR 为转基因大豆, CRR 为转基因大豆受体对照; RR+ 为转基因大豆的施药处理; LB 为当地常规品种

The data in the table are mean ± SD and those in the same column followed by different small letters indicate significant difference at $\alpha = 0.05$ by LSD test; and those in the same column followed by different capital letters indicate significant difference at $\alpha = 0.01$ by LSD test; Z represent direct survey; and C represent indirect survey; RR, roundup ready soybean; CRR The CK of roundup ready soybean; RR+ roundup ready soybean + glyphosate; LB local breeds

2.2 对豆田多样性指数在整个生长期间的影响

2.2.1 多样性指数动态变化

由图 1 可以看出, 在田间直接调查 4 个处理中的 Shannon-Winner 多样性指数趋势大体一致, 而且曲线较平稳, 多样性指数波动不大; 仅 7 月份多样性略低, 主要是由于 7 月份天气干旱, 降雨偏少。在直接调查法的

多样性指数在 2.5 上下,而吸虫器调查法的略高,在 3.5 左右(图 1),这主要是由于用吸虫器能吸到一些直接调查法肉眼很难分辨的小节肢动物。还可以看出抗除草剂转基因大豆 RR 及 RR+ 和对照品种 CRR 田中的多样性指数在整个生长期趋势一致,它们之间差异不显著。

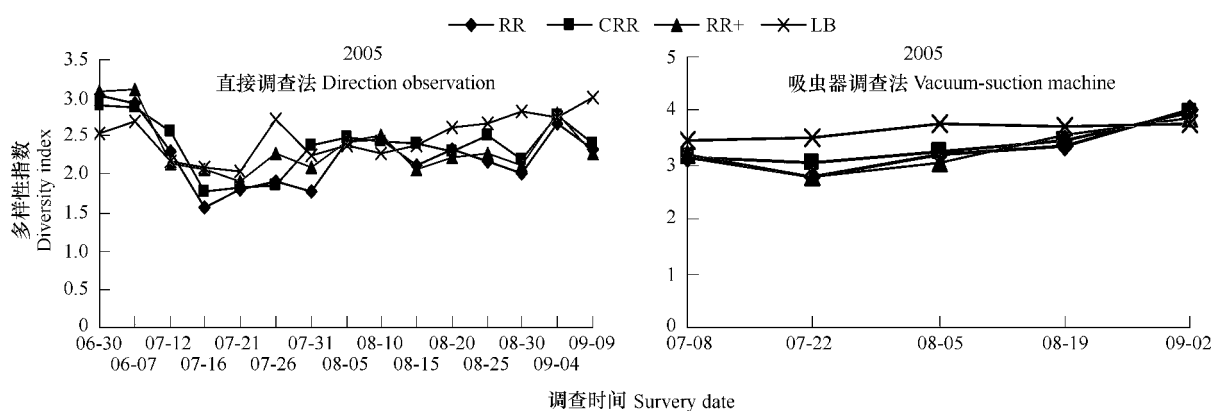


图 1 豆田节肢动物群落多样性动态

Fig. 1 Dynamic of the diversity index (H') of arthropods communities in soybean field

2.2.2 优势集中性指数的动态

在直接调查中(图 2)由于早期调查的物种数较少,优势集中度指数较高,之后随着田间节肢动物种类增加逐渐降下来,而且随着天气和时间的变化有些波动,抗除草剂大豆 RR、RR+ 和受体对照 CRR 在总体上变化趋势一致,当地品种 LB 要有些变动,在吸虫器调查法(图 2),抗除草剂大豆 RR、RR+ 和受体对照 CRR 在整体的趋势也一致,而 LB 一直略高。可以看出抗除草剂大豆 RR、RR+ 与受体对照 CRR 田中的优势集中性指数差异不显著。

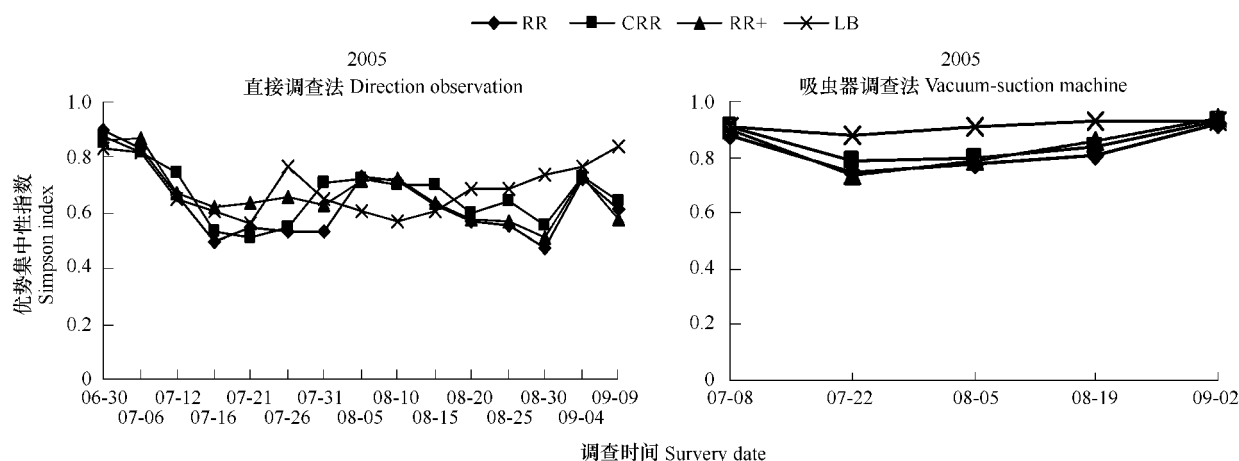


图 2 豆田节肢动物群落优势集中性指数动态

Fig. 2 Dynamic of the Dominant concentration (C) of arthropods in soybean field

2.2.3 均匀度指数的动态

两种调查方式下的均匀度指数大体趋势是一致的,都是 LB 的均匀度指数要高于其他 3 个处理,而抗除草剂大豆 RR、RR+ 与受体对照 CRR 的在整个生长期间的趋势都一致。在直接调查中(图 3)调查前几次的均匀度指数要高一些,之后大体都在 0.5 水平上下波动,而吸虫器调查法(图 3)中则在 0.8 左右;由图 3 这两种方式调查可以看出总体趋势是均匀性指数在生长期早期和晚期要较中期高些,主要是由于豆田苗期和成熟期的节肢动物较少,而抗除草剂大豆 RR、RR+ 与受体对照 CRR 田中的均匀度在整个生长期无论是田间直接调查法还是吸虫器调查法的差异均不显著。

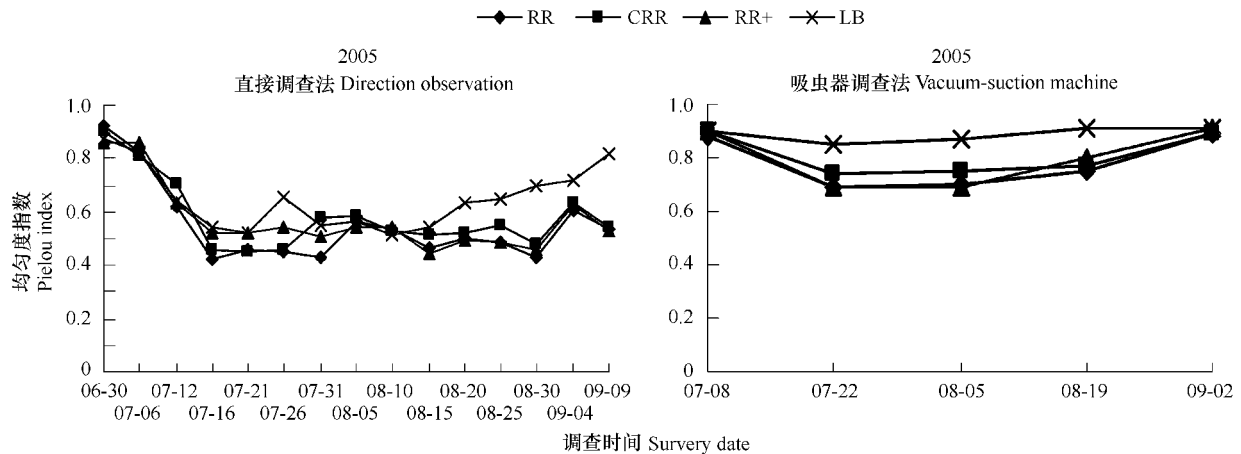


图3 豆田节肢动物群落均匀度动态

Fig. 3 Dynamic of the Pielou index of arthropods communities in soybean field

2.2.4 物种数指数的动态

在直接调查中(图4)4个处理的物种数曲线呈一个抛物线形状,在8月份即花期达到物种数最多,之后就呈下降趋势,其中而抗除草剂大豆RR、RR+与受体对照CRR的曲线较为一致,而LB的要相应前移主要是由于这个品种的花期要早于其他3个处理,而吸虫器调查法(图4)也大体反映这个趋势,不过由于抽虫次数限制,造成曲线不够顺畅,可以看出在直接调查及吸虫器调查法抗除草剂大豆RR、RR+和受体对照CRR田中节肢动物物种数之间没有差异。

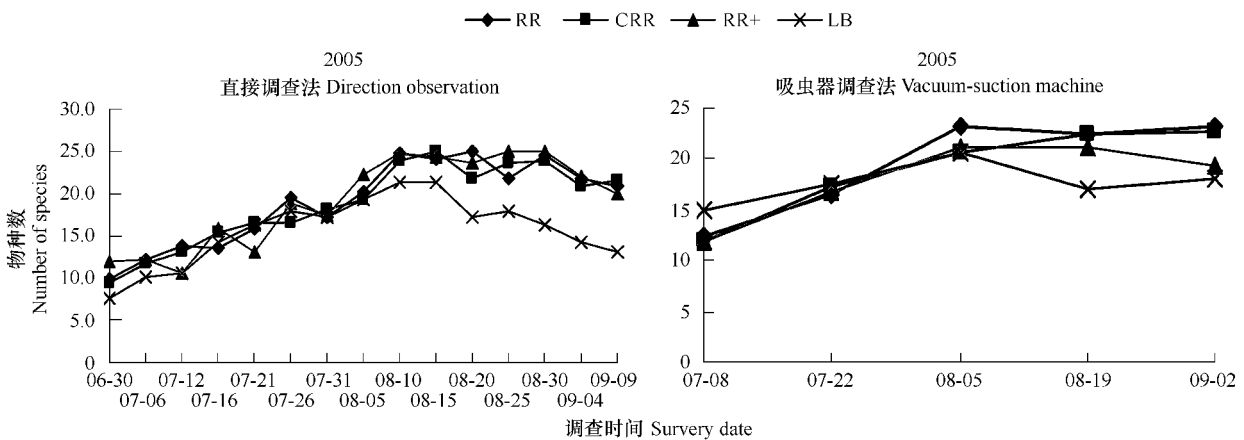


图4 豆田节肢动物群落物种数动态

Fig. 4 Dynamic of the number of species of arthropods communities in soybean field

3 讨论

3.1 抗除草剂转基因大豆对豆田节肢动物群落的影响

国外关于抗草甘膦转基因大豆的安全性研究多集中在基因的导入及人畜食用后的安全性方面,而对抗草甘膦转基因大豆的环境安全性方面的研究目前较少。转基因作物在直接作用靶标生物的同时,可能通过食物链等对非靶标生物产生影响。美国 Kansas 大学昆虫学家 Taylor 认为如此快速的大面积种植抗除草剂转基因大豆和玉米,会造成大田马利筋种群的减少,从而会间接对以马利筋为唯一食物来源的大斑蝶类蝴蝶幼虫产生严重影响,进而威胁到大斑蝶的生存^[11]。在本研究中,可以看出抗草甘膦转基因大豆对田间的节肢动物无明显影响,在物种丰富度上与受体对照大豆之间的差异不显著,当地品种 LB 由于蚜虫和粉虱少所以单位面积的个体数较转基因大豆 RR、RR+ 少,同时也较受体品种 CRR 要少一些,这主要是由于品种间对蚜虫和粉虱

等害虫的抗性差异的原因。陈晓娟等 2001、2002 年研究表明转基因水稻田和常规稻田生境中蜘蛛的数量及其种类无明显差异,而且对稻田水生生物诸如鱼虾、水生昆虫等数量及种类也无明显影响^[12]。徐遥、吴孔明等认为转基因棉对非靶标害虫有间接影响,转基因棉花对天敌数量影响不大^[13]。高素红等报道转基因 741 杨对非目标害虫有一定影响:在食叶害虫数量方面,抗性株系略有增加,但与对照差异不大;在刺吸害虫数量方面,转基因 741 杨对其明显有抑制作用^[14]。

本研究结果表明,转基因大豆的豆田节肢动物群落的主要参数(Shannon-Winner 多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数、物种丰富度)与常规品种的对照豆田没有差异,这与蔡万伦^[15]、刘志诚^[16]对 Bt 基因水稻对稻田节肢动物群落的研究结果一致。虽然对照豆田 CRR(2.38 3.37)、LB(2.49 3.64)的生物多样性指数略高于抗除草剂转基因大豆豆田 RR(2.26 3.29)、RR+(2.36 3.29)的多样性指数值,但他们之间的差异达不到显著水平。

许立瑞等人报道对不同类型棉田昆虫群落结构特征分析结果表明,由于棉田施用农药多少不同,非抗虫棉田比转 Bt 基因抗虫棉田物种丰富度有不同程度的减少,两类棉田害虫优势度和优势种不完全相同,昆虫总群落、害虫亚群落和天敌亚群落多样性指数在时间序列上受外界环境条件影响较大,总的表现是转 Bt 基因抗虫棉田昆虫群落变化较规律,多样性指数偏高^[17];崔金杰在转基因棉得出了转基因棉田昆虫群落、害虫和天敌群落的多样性均低于常规棉田^[18]的结果一致。在均匀度指数及优势集中性指数上抗草甘膦转基因大豆 RR、RR+ 的也要低于对照品种 CRR 及 LB。本研究与杨国正等人报道抗虫棉棉田昆虫群落、害虫亚群落以及天敌亚群落的多样性、均匀性均较对照棉田小,而优势集中性比对照棉田高,认为抗虫棉棉田昆虫群落结构稳定性较差^[19]有部分一致。在除草剂处理的抗除草剂转基因大豆的物种丰富度上 RR+(19.25 18.05)的两种调查方式中和受体对照 CRR(18.95 18.95)互有高低,这也和物种丰富度的动态表现一致,和王向阳报道的除草剂对棉田地面节肢动物群落的丰富度有一定影响^[8]是相符的。

3.2 不同调查方式对豆田节肢动物群落的影响

本研究采用了直接观测法和吸虫器调查法等两种调查方式对豆田节肢动物群落进行调查,这两种调查方式互有利弊,直接观测调查时能够对一些个体大且不易移动的节肢动物进行分辨,而对于一些个体较小的如姬蜂类肉眼很难分辨其种类,对易动(如蜘蛛)、易飞节肢动物容易逃逸,很难及时看清,很难记录,吸虫器调查法虽然能解决一些小的难以分辨节肢动物的识别问题,但对一些个体大的节肢动物由于吸虫器的吸力原因很难吸进去,一些不动的昆虫如蚜虫即使见到也很难吸进去。还有由于抽虫次数限制,抽虫的数据比田间直接观测调查的少,可以说这两种调查方式相互结合才更能说明问题。本研究用两种方式同时对豆田的节肢动物群落进行调查其结果有较高的相似性。这方面与刘雨芳,苏军等应用吸虫器法与剥查法研究报道的转基因水稻对水稻害虫的物种丰富度、个体数量、多样性与均匀度时间动态等水稻害虫群落的这些参数均无显著影响的结果有相似性^[20]。

综上所述,与亲本受体大豆相比,抗草甘膦转基因大豆对豆田群落节肢动物群落无明显影响,对豆田生物群落的多样性指数、优势集中性指数、物种数无明显影响。

References:

- [1] Clive James. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops:2006. ISAAA Brief,2006,35:3—5.
- [2] Cui J J, Xia J J. Effects of transgenic Bt cotton on the structures and composition of insect community. Journal of Hennan Agricultural University, 1999,33(4):342—345.
- [3] Liu Z C. Ecological Risk Assessment of Bt Rice on Arthropod Community and Dominant Natural Enemies in Rice Paddy Habitat. Hangzhou: Zhejiang University Dissertation for Ph. D., 2002.
- [4] Liu H. Effects of Transgenic Bt Corn Expressing Cry1Ab Toxin on Diversity of Arthropod Community. Beijing:the Chinese Academy of Agricultural Science Dissertation for Ph. M., 2005.
- [5] Zhang Y J, Wu K M, Peng Y F, *et al.* The Ecological Risks of Genetically Engineered Plants, 2002, 22(11):1951—1959.
- [6] Daly J C. Ecology and resistance management for *Bacillus thuringiensis* transgenic plants. Biocontrol Science and Technology, 1994, 4:563—571.

- [7] Watkinson A R, Freckleton R P, Robinson R A, *et al.* Prediction of biodiversity response to genetically modified herbicide tolerant. *Crops Science*, 2000, 289: 1554 — 1557.
- [8] Wang X Y, Zou Y D, Meng Q L, *et al.* Effects of herbicides on diversity indices of cotton field arthropod community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 514 — 518.
- [9] Ge F. *Ecology*. Beijing: Science Press, 2002.
- [10] Tang Q Y, Feng M G. *DPS Data Processing System for pradreal Statistics*. Beijing: China Agriculture Press, 1997. 108 — 125.
- [11] Taylor C. Monarch butterflies may be threatened in their North American range *Environ Review*, 1999, 6(4): 1 — 9.
- [12] Chen X J, He S L, Cheng K L, *et al.* Effect of Bt-Transgenic Rice on Organism Community in Paddy-field. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2003, 21(2): 185 — 186.
- [13] Xu Y, Wu K M, Li H B, *et al.* Effects of Transgenic Bt Cotton on Main Pests and Community of Natural Enemies in Cotton Fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2004, 41(5): 345 — 347.
- [14] Gao S H, Gao B J, Liu J, *et al.* Impact soft transenic insect resistance hybrid poplar 741 on the population dynamics of pests and natural enemies *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3491 — 3498.
- [15] Cai W L, Shi S B, Peng Y F, *et al.* Difference of arthropod communities in Bt rice paddies under different cropping patterns. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48(4): 537 — 543.
- [16] Liu Z C, Ye G Y, Hu C. Effects of *Bacillus thuringiensis* transgenic rice and chemical insecticides on arthropod communities in paddy-fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(12): 2309 — 2314.
- [17] Xu L R, Li H G, Hu C M, *et al.* Study on structure of insect community in Bt transgenic cotton field. *Shandong Agricultural Sciences*, 2002, (02): 13 — 17.
- [18] Cui J J, Xia J Y. Studies on the components of diversity of the community in transgenic Bt cotton. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 824 — 829.
- [19] Yang G Z, Zhan M, Yang C J, *et al.* Study on the Pest Community Structure in Bt Transgenic Cotton Fields. *Hubei Agricultural Sciences*, 2005 (05): 53 — 56.
- [20] Liu Y F, Su J, You M S, *et al.* Effect of transgenic pest-resistant rice on pest insect communities in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48(4): 544 — 553.

参考文献:

- [2] 崔金杰, 夏敬源. 转 Bt 基因棉对昆虫群落结构与组成的影响. *河南农业大学学报*, 1999, 33(4): 342 ~ 345.
- [3] 刘志诚. Bt 水稻对稻田节肢动物群落和优势天敌的生态风险评价. 浙江: 浙江大学博士学位论文, 2002.
- [4] 刘慧. 转 Bt 基因玉米对节肢动物群落多样性的影响. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2005.
- [5] 张永军, 吴孔明, 彭于发, 等. 转基因植物的生态风险. *生态学报*, 2002, 22(11): 1951 ~ 1959.
- [8] 王向阳, 邹运鼎, 孟庆雷, 等. 两种除草剂对棉田节肢动物群落多样性指数的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 514 ~ 518.
- [9] 戈峰. *现代生态学*. 北京: 科学出版社, 2002. 252 ~ 254.
- [10] 唐启义, 冯明光. *实用统计分析及其计算机处理平台*. 北京: 中国农业出版社, 1997. 108 ~ 125.
- [12] 陈晓娟, 何树林, 程开禄, 等. 转 Bt 基因抗虫水稻对稻田生物群落的影响. *四川农业大学学报*, 2003, 21(2): 185 ~ 186.
- [13] 徐遥, 吴孔明, 李号宾, 等. 转基因抗虫棉对新疆棉田主要害虫及天敌群落的影响. *新疆农业科学*, 2004, 41(5): 345 ~ 347.
- [14] 高素红, 高宝嘉, 刘军侠, 等. 转基因 741 杨节肢动物群落主要害虫及天敌的动态变化. *生态学报*, 2006, 26(10): 3491 ~ 3498.
- [15] 蔡万伦, 石尚柏, 彭于发, 等. 不同种植方式下转 Bt 基因水稻对稻田节肢动物群落的影响. *昆虫学报*, 2005, 48(4): 537 ~ 543.
- [16] 刘志诚, 叶恭银, 胡萃. 抗虫转基因水稻和化学杀虫剂对稻田节肢动物群落的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2309 ~ 2314.
- [17] 许立瑞, 李洪刚, 徐春明, 等. 转 Bt 基因抗虫棉田昆虫群落结构的研究. *山东农业科学*, 2002, (02): 13 ~ 17.
- [18] 崔金杰, 夏敬源. 转 Bt 基因棉田昆虫群落多样性及其影响因素研究. *生态学报*, 2000, (20): 824 ~ 829.
- [19] 杨国正, 展茗, 杨长举, 等. Bt 转基因抗虫棉田昆虫群落结构研究. *湖北农业科学*, 2005(05): 53 ~ 56.
- [20] 刘雨芳, 苏军, 尤民生, 等. 转基因抗虫水稻对水稻害虫群落的影响. *昆虫学报*, 2005, 48(4): 544 ~ 553.