

转基因玉米对田间节肢动物群落多样性的影响

任振涛¹, 沈文静², 刘标², 薛堃^{1,2}

(¹中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; ²环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘要:【目的】明确转基因抗草甘膦 (EPSPS)、抗虫 (Bt Cry1Ab) 玉米 DBN9936 对大田节肢动物群落多样性的影响, 为转基因作物的生物安全提供基本数据。【方法】于 2015 年玉米生长季, 在吉林四平伊通满族自治县实验基地, 对比转基因玉米田与对照田节肢动物群落多样性与结构。在田间隔离条件下, 采用直接观察法、陷阱法和纵剖茎秆等方法对田间玉米植株、地表和茎秆内的节肢动物数量和种类进行统计, 分析比较节肢动物的功能群和多样性指数、优势集中性指数、均匀性指数等, 并对节肢动物群落的相似度进行比较。【结果】玉米材料上的节肢动物群落由 13 目、44 科组成。主要害虫是玉米蚜、双斑萤叶甲和亚洲玉米螟; 捕食性天敌主要为草蛉、瓢虫和蜘蛛等。转基因玉米 DBN9936 整个生育期植株上的亚洲玉米螟、棉铃虫等鳞翅目靶标昆虫数量显著低于受体玉米 DBN318 和常规玉米先玉 335; 双斑萤叶甲的数量与受体玉米 DBN318 基本一致, 但明显高于常规种先玉 335, 这体现出品种间的性状差异, 而非转基因引起的次生害虫数量增大; 其他各组处理田间非靶标节肢动物数量未发现显著差异。转基因玉米 DBN9936 喷施 2 倍草甘膦除草剂后 2 周和 4 周, 对其田间节肢动物种类及数量进行调查, 发现与 DBN318、先玉 335 和未喷施除草剂的 DBN9936 相比, 各个功能群内种类和数量上没有显著差异。收获期调查钻蛀性害虫的数量和危害情况, 发现转基因玉米 DBN9936 的蛀孔数、活虫数、隧道长度和穗尖被害数等指标显著低于 DBN318 和先玉 335, 表现出对亚洲玉米螟和棉铃虫明显的抗性。转基因玉米 DBN9936 与非转基因玉米 DBN318 (对照) 和常规玉米先玉 335 相比, 田间节肢动物物种数、多样性指数、均匀性指数和优势集中性指数等指标随时间变化的趋势基本一致, 无显著差异。无论是否喷施除草剂, 转基因玉米 DBN9936 与受体相比, 节肢动物群落相似性指数呈现出逐渐上升并最终维持在高水平的变化趋势, 即在生长季各个玉米品种的田间节肢动物群落会由最初的有一定差异逐步趋于一致。【结论】在本研究中, 不同地块的节肢动物群落多样性的变化趋势基本相同, 在 7 月中下旬至 8 月中旬出现明显的波动, 结合气象条件记录和大田观察, 可以认为是干旱和双斑萤叶甲暴发而导致群落多样性水平下降, 主要体现在优势集中度上升和均匀度下降两个方面。这表明转基因玉米 DBN9936 田间节肢动物群落结构与受体品系 DBN318 和常规种先玉 335 基本相似, 与对照相比该转基因玉米对非靶标节肢动物群落影响无显著差异。

关键词: 转基因玉米; 节肢动物群落; 生物多样性; 优势集中性指数; 均匀性指数

Effects of Transgenic Maize on Biodiversity of Arthropod Communities in the Fields

REN ZhenTao¹, SHEN WenJing², LIU Biao², XUE Kun^{1,2}

(¹College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081; ²Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042)

Abstract: 【Objective】 The objective of this study is to assess the effects of transgenic glyphosate-tolerant (EPSPS) and insect-resistant (Bt Cry1Ab) maize DBN9936 on biodiversity of arthropod communities, which will supply basic data for transgenic

收稿日期: 2016-12-28; 接受日期: 2017-02-07

基金项目: 国家转基因生物新品种培育科技重大专项 (2016ZX08012005)、环保公益性行业科研专项 (201509044)、中央民族大学一流大学一流学科项目 (YLDX01013)

联系方式: 任振涛, E-mail: rztkk@163.com. 通信作者刘标, E-mail: 85287064@163.com. 通信作者薛堃, E-mail: xuekun@muc.edu.cn

crop biosafety. 【Method】 In the growing period in 2015, the biodiversity and its structure of arthropod communities in the fields of transgenic maize and its counterpart lines were compared in the experimental base in Yitong Autonomous County for Man Nationality, Siping City, Jilin Province. In the isolated maize field, with the method of observation, traps and observing the longitudinal section of stems, the number of species and individuals in the maize plants, on the ground and in the stems were counted and the functional groups, biodiversity index, dominant concentration index, evenness index and the community similarity were analyzed and compared. 【Result】 The arthropod communities in maize fields were composed of 13 orders and 44 families. The main pests included *Rhopalosiphum maidis*, *Monolepta hieroglyphica* and *Ostrinia furnacalis*; the main predatory enemies were lacewings, ladybirds and spiders. The number of target lepidoptera insects, including *O. furnacalis* and *Helicoverpa armigera*, from the transgenic maize DBN9936 in the whole growth period was significantly lower than those from the counterpart DBN318 and the conventional line Xianyu 335. The number of *M. hieroglyphica* from the transgenic maize was similar with the recipient line DBN318, while significantly higher than that from conventional line Xianyu 335, which showed the difference coming from variation between lines, rather than the genetically modification. The number of non-target arthropod in the fields had no significant difference between the other treatments. Sampling at the time of 2 and 4 weeks after spraying glyphosate, the number of specie and individual of arthropod communities in the fields had no significant difference between each two treatments. The number of boring insects and their damage were investigated during harvest, the number of holes, alive pests, the length of tunnel and the number of corns with damaged tip were significantly lower in DBN9936 than those in DBN318 and Xianyu 335, which showed that the transgenic maize DBN9936 had obviously higher resistance to *O. furnacalis* and *H. armigera*. Compared with the non-transgenic recipient line maize DBN318 and the regular line Xianyu 335, transgenic maize DBN9936 had the similar dynamic trend within the parameters of the number of species, biodiversity index, dominant concentration index and evenness index, and there was no significant difference. The similarity index of arthropod communities of DBN9936 with or without the herbicide to the recipient line DBN318 were gradually rising to a high level and maintained, which indicated that the difference of the arthropod communications from different treatments would be decrease in growing period. 【Conclusion】 In the study, the biodiversity dynamics of the arthropod communities of different treatments were similar. Combined climate recordings and field observation, the fluctuation of the dynamics from late July to mid August in 2015 could be regarded as the biodiversity decrease, especially the increase of dominant concentration index and the decrease of evenness index caused by the drought and the outbreak of *M. hieroglyphica*. These results suggested that the arthropod community structures in the fields of the transgenic maize DBN9936, the counterpart DBN318 and the conventional line Xianyu 335 were similar, and the effects of genetically modified maize on non-target arthropod community were not significant.

Key words: transgenic maize (*Zea mays*); arthropod community; biodiversity; dominance index; evenness index

0 引言

【研究意义】转基因玉米赋予了植株抗玉米螟、抗除草剂草甘膦特性,提高了植株的抗旱性,是具有优良复合性状的玉米新材料^[1]。在2014年全球商业化种植的27种转基因作物中,转基因玉米的种植面积仅次于转基因大豆,占转基因作物总种植面积的30%;尽管中国转基因作物种植面积已达390万hm²,居全球第6位,但只有转Bt基因抗虫棉和转基因抗病毒番木瓜被广泛种植^[2-3]。目前,中国玉米产量和种植面积均已超过水稻成为第一大作物^[4]。转基因玉米在中国尚未被批准商业化种植,但相关的研究早在1997年就已开展,目前中国已有一批拥有自主知识产权的转基因玉米材料,在这些新材料进行田间释放和获得环境安全证书之前,有必要对其生态环境安全问题进行评价。【前人研究进展】据国际农业生物技术应用服务

组织(ISAAA)统计,2015年全球28个国家选择种植转基因作物,种植面积达到1.797亿hm²,比1996年增长了100倍以上^[5]。关于抗虫转基因作物对非靶标昆虫的影响已有大量的报导。转Bt基因抗虫棉在杀死棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)的同时,棉田中的其他鳞翅目昆虫,如棉红铃虫(*Pectinophora gossypiella*)、亚洲玉米螟(*Ostrinia furnacalis*)、棉小造桥虫(*Anomis flava*)、棉大卷叶螟(*Sylepta derogata*)和斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)等也会被毒杀或者控制^[6-11],而转Bt基因抗虫棉田中的棉蚜(*Aphis gossypii*)、朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)、绿盲蝽(*Apolygus lucorum*)、棉叶蝉(*Empoasca biguttula*)、温室白粉虱(*Trialeurodes vaporariorum*)和烟粉虱(*Bemisia tabaci*)等比常规棉田高^[12-15]。也有研究发现,抗虫转基因作物对一些非靶标昆虫没有影响,例如抗虫转基因水稻对非靶标害虫灰飞虱(*Laodelphax striatellus*)

个体发育及种群生命参数影响不显著^[16]。MARVIER 等^[17]综合农田试验分析发现, 转 Bt 基因作物农田中的非靶标昆虫比施农药的传统作物农田更多, 但比未施农药的传统作物农田更少。【本研究切入点】由此可见, 不同的转基因作物对于同种非靶标昆虫的影响具有明显差异, 同种转基因作物对不同非靶标昆虫的影响也存在差异。对于任何转基因作物品种来说, 遵循“逐案 (case by case)”原则进行相关研究是对其安全性研究的必要步骤。【拟解决的关键问题】于 2015 年玉米生长季, 系统调查转基因抗草甘膦抗虫玉米田中节肢动物种类和数量, 通过转基因玉米田与对照田节肢动物群落多样性与结构的比较, 为转基因抗草甘膦抗虫玉米的生态安全评价提供科学的数据支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

所用玉米材料为转基因抗草甘膦 (EPSPS) 抗虫 (Bt Cry1Ab) 玉米转化体 DBN9936、受体玉米品种 DBN318 和常规玉米品种先玉 335。上述材料均由北京大北农生物技术有限公司提供。

1.2 试验处理及小区设计

依照“转基因植物及其产品环境安全检测抗虫玉米第 4 部分: 生物多样性影响”(中华人民共和国国家标准 农业部 953 号公告-10.4-2007)^[18]、“转基因植物及其产品环境安全检测抗除草剂玉米第 4 部分: 生物多样性影响”(中华人民共和国国家标准 农业部 953 号公告-11.4-2007)^[19]和“转基因玉米环境安全监测技术规范第 3 部分: 对生物多样性影响的检测”(中华人民共和国农业行业标准 NY/T 720.3-2003)^[20], 采用随机区组排列和地块设置。小区面积为 150 m² (10 m×15 m), 小区间设有 1.0 m 宽隔离带。玉米按条播的方式进行播种, 行距 60 cm, 株距 25 cm。本试验全生育期不喷施杀虫剂。试验处理包括喷施除草剂(参考有关专利, 剂量为 2 倍剂量, 将除草剂草甘膦 420 g ae/hm² 的浓度定为 1 倍剂量)与未喷施除草剂的转基因玉米、未喷施除草剂的受体玉米品种和未喷施除草剂的常规玉米, 每个处理重复 3 次。

1.3 试验方法

试验于 2015 年在吉林四平市伊通满族自治县试验基地进行。每个小区均采用对角线 5 点取样方法确定采样点位置, 使用如下 3 种方法进行调查。

1.3.1 直接观察法 用于植株上节肢动物种类数量的调查。从定苗 10 d 至成熟, 每 7 d 调查 1 次, 每点

调查 10 株玉米。记录玉米植株上所有节肢动物的种类 (及其不同发育阶段) 及数量。对田间不能识别的种类进行编号, 带回室内鉴定。

1.3.2 陷阱调查法 用于地表节肢动物的调查。在玉米定苗后 10 d 开始至成熟, 每 14 d 调查 1 次。每点埋设 3 个塑料杯 (Φ7 cm×8 cm), 间隔 0.5 m, 杯中放有 5% 的洗涤剂水, 水量为杯容积的 1/3, 过夜后调查杯中的节肢动物种类和数量, 不易识别的种类进行编号, 带回室内鉴定。

1.3.3 纵剖茎秆 于玉米成熟后收获前调查一次。每点选择 10 株玉米, 纵向剖开茎秆, 调查茎秆内部是否有钻蛀类害虫, 记录害虫种类、龄期、数量及危害状况 (钻蛀空道长度、受害穗尖长度等)。

1.4 数据分析

根据各个类群数量占总数的百分比, 将研究发现的节肢动物进行多度等级划分, 即该类群个体数占总个体数的百分比 > 10% 为优势类群, 1%—10% 为常见类群, < 1% 为稀有类群^[21-22]。

用节肢动物群落的多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数和群落相似系数 4 个指标, 分析比较各玉米材料田间整个昆虫群落的动态, 以此研究转化体对田间节肢动物群落多样性是否产生影响。

节肢动物群落的多样性指数 (Shannon-Wiener 指数) 计算公式:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

式中, H 为多样性指数, $P_i = N_i/N$; N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为总个体数。

节肢动物群落的均匀性指数 (Pielou 指数) 计算公式:

$$J = H/\ln S$$

式中, J 为均匀性指数, H 为多样性指数, S 为物种数。

节肢动物群落的优势集中性指数计算公式:

$$C = \sum_{i=1}^n (N_i/N)^2$$

式中, C 为优势集中性指数, N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为总个体数。

统计玉米田节肢动物群落物种组成的目、科、属及个体数, 利用群落相似性系数 C' 比较其相似性, 其计算公式为:

$$C' = 2w/(a+b)$$

其中, w 为 A、B 群落样本中共有物种的 2 个个体数相对低值的总和, a 、 b 分别为 A、B 群落样本中

所有物种个体数的总和。

对于符合正态分布的变量使用 t -检验对两组数据的显著性进行分析,使用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 对转基因玉米、受体玉米和常规玉米之间的差异进行分析;对于不能确定其分布的变量,采用非参数检验方法分析其差异,两组数据使用 Mann-Whitney 检验,多于两组数据则采用 Kruskal-Wallis 检

验。显著性水平均设为 0.05。

2 结果

2.1 田间节肢动物主要类群和功能群

对供试玉米材料在 2015 年全生育期内田间节肢动物种类进行调查,结果发现,玉米植株上的节肢动物群落由 13 目、44 科的昆虫及蜘蛛组成(表 1)。

表 1 玉米田间节肢动物群落的目、科分布

Table 1 The order and family patterns of the arthropod community in maize field

目 Order	科 Family
弹尾目 Collembola	长角跳虫科 Entomobryidae
蜻蜓目 Odonata	蜻科 Libellulidae、螳科 Coenagrionidae
螳螂目 Mantodea	螳科 Mantidae
直翅目 Orthoptera	蝗科 Acrididae、斑腿蝗科 Catantopidae、螞斯科 Tettigoniidae、蟋蟀科 Gryllidae、树蟋科 Oecanthidae
革翅目 Dermaptera	蠨螋科 Forficulidae
缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripidae
半翅目 Hemiptera	蚜科 Aphididae、叶蝉科 Cicadellidae、粉虱科 Aleyrodidae、飞虱科 Delphacidae、盲蝽科 Miridae、花蝽科 Anthocoridae、蝽科 Pentatomidae
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae
鞘翅目 Coleoptera	丽金龟科 Rutelidae、象甲科 Curculionidae、叶甲科 Chrysomelidae、瓢甲科 Coccinellidae、步甲科 Carabidae、隐翅虫科 Staphylinidae、芫菁科 Meloidae、叩甲科 Elateridae
双翅目 Diptera	食蚜蝇科 Syrphidae、瘿蚊科 Itonididae、蚊科 Formicidae、蝇科 Muscidae、摇蚊科 Chironomidae、寄蝇科 Tachinidae、果蝇科 Drosophilidae
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae、夜蛾科 Noctuidae
膜翅目 Hymenoptera	蜜蜂科 Apidae、蚁科 Formicidae、茧蜂科 Braconidae、赤眼蜂科 Trichogrammatidae
蜘蛛目 Araneida	狼蛛科 Lycosidae、球蛛科 Theridiidae、蟹蛛科 Thomisidae、皿蛛科 Linyphiidae

2015 年玉米生育期内玉米田间节肢动物群落中主要功能群统计见表 2。玉米材料上主要害虫是玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis*) 和双斑萤叶甲 (*Monolepta hieroglyphica*),捕食性天敌主要为草蛉、瓢虫和蜘蛛等。相比先玉 335 和受体 DBN318,转化体 DBN9936 上鳞翅目害虫明显较少,差异显著;而玉米植株上的蚜虫、瓢虫和蜘蛛均较多,处理之间不存在显著差异。转化体 DBN9936 上的叶甲数量介于受体品系和常规对照品系之间,受体品系 DBN318 玉米上叶甲数量显著高于先玉 335 玉米上的叶甲数量,在 2015 年双斑萤叶甲暴发的情况下,先玉 335 表现出一定的对双斑萤叶甲的抗性。

转化体 DBN9936 喷施 2 倍草甘膦除草剂后 2 周和 4 周,对其田间节肢动物种类及数量进行调查,发现喷施除草剂的转化体 DBN9936 与 DBN318、先玉 335 和未喷施除草剂的转化体 DBN9936 相比,各个功

能群内种类和数量上没有显著差异(表 3)。

2.2 节肢动物丰富度动态

根据前述的调查方法,连续调查转化体 DBN9936、受体 DBN318 与常规种先玉 335 植株上和小区地表节肢动物种类及数量。各处理的田间节肢动物群落物种丰富度均呈现先上升后下降的趋势,田间节肢动物物种数变化均是从调查初期的较低水平先上升至 9 月上旬玉米达到成熟期的高水平,之后 3 种玉米材料的节肢动物物种数有所下降;9 月 2 日各玉米材料在植株上的节肢动物的种数达到最大,9 月 9 日各玉米材料的地表节肢动物的种数达到最大。通过全生育期的调查,植株上和地表节肢动物结果显示,转化体 DBN9936 上的节肢动物群落物种数与先玉 335 和 DBN318 相比不存在显著差异。9 月 2 日数据中,常规种先玉 335 植株上的物种数量明显多于受体材料 DBN318,而这两种常规材料植株上的节肢动物物种

表 2 整个生育期中玉米材料上主要功能群中各物种累计数量

Table 2 The accumulated number of each species in main functional groups on maize materials during the whole growing period

功能群类别 Functional group category		功能群中个体数量 (头/100 株) Individual quantity in functional group				P 值 P value
		DBN9936	DBN9936 喷除草剂 Spray herbicide	DBN318	先玉 335 Xianyu 335	
主要害虫 Main pest	鳞翅类 Lepidopteron	2.7±1.8b	2.7±1.8b	24.0±7.0a	30.7±10.9a	0.034
	蚜虫 Aphid	1668.0±413.1a	1180.0±168.6a	1526.7±236.6a	1031.3±124.3a	0.341
	叶蝉 Leafhopper	21.3±6.4a	24.7±5.9a	22.0±5.8a	21.3±7.1a	0.978
捕食性天敌 Predatory natural enemy	叶甲 Leaf beetle	2462.0±179.5ab	2486.0±83.2ab	2684.7±66.6a	2058.0±112.2b	0.032
	瓢虫 ladybird	232.0±13.3a	242.0±31.9a	215.3±24.1a	211.3±14.8a	0.748
	草蛉 Lacewing	61.3±4.1a	50.7±8.1a	64.7±5.7a	50.7±8.2a	0.384
寄生性天敌 Parasitic natural enemy	蜘蛛 Spider	87.3±9.3a	108.7±15.5a	105.3±4.8a	118.7±7.7a	0.249
	寄生蜂 Parasitic wasp	6.0±4.2a	8.0±2.0a	6.0±4.2a	6.7±0.7a	0.963

表 3 转化体喷施 2 倍草甘膦后与其他材料中主要功能群中物种数量的比较 (施药后 2 周和 4 周)

Table 3 The number of major functional groups at the time of 2 and 4 weeks after spraying glyphosate

功能群类别 Functional group category		功能群中个体数量 (头/100 株) Individual quantity in functional group				P 值 P value
		DBN9936	DBN9936 喷除草剂 Spray herbicide	DBN318	先玉 335 Xianyu 335	
主要害虫 Main pest	鳞翅类 Lepidopteron	0.0±0.0a	0.7±0.7a	0.7±0.7a	3.3±3.3a	0.563
	蚜虫 Aphid	14.7±2.9a	8.6±1.8a	6.7±2.4a	6.7±2.4a	0.135
	叶蝉 Leafhopper	1.3±1.3a	0.7±0.7a	0.7±0.7a	0.0±0.0a	0.728
捕食性天敌 Predatory natural enemy	叶甲 Leaf beetle	6.7±2.4a	4.0±2.0a	9.3±1.8a	3.3±1.8a	0.211
	瓢虫 Ladybird	8.7±1.3a	9.3±4.7a	6.7±2.4a	8.7±2.4a	0.926
	草蛉 Lacewing	16.0±4.0a	4.0±1.2a	16.0±2.3a	13.3±5.5a	0.136
寄生性天敌 Parasitic natural enemy	蜘蛛 Spider	23.3±3.3a	24.7±3.3a	26.7±2.4a	26.0±4.2a	0.898
	寄生蜂 Parasitic wasp	1.3±1.3a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.441

数量与转化体 DBN9936 两个处理植株上的节肢动物物种数量均没有显著差异。可以认为,该转基因玉米并未引起田间节肢动物群落中物种数量的变化(图 1)。

2.3 节肢动物群落多样性

通过计算 3 种玉米材料的田间节肢动物群落的 Shannon-Wiener 指数,得到这 3 种玉米材料田间节肢动物在整个生育期的多样性动态变化(图 2)。植株上节肢动物群落调查统计结果表明,在 7 月份玉米田系统中节肢动物的多样性指数较高;8 月份由于天气干旱少雨,双斑萤叶甲大量暴发,节肢动物的种类和数量出现波动,多样性指数急剧下降,之后逐渐回升。由于 8 月之后玉米蚜种群数量较大,多样性指数回升较缓慢。而地表节肢动物群落在初期生物多样性指数较低,之后逐渐增高。从整体上看,转化体 DBN9936 与受体品种 DBN318、常规种先玉 335 的田间节肢动

物群落多样性变化趋势一致,无显著差异。

2.4 节肢动物群落优势集中性

3 种玉米材料的田间节肢动物优势集中性指数及其动态变化见图 3。在 7 月末和 8 月中,3 个玉米材料植株上的节肢动物优势集中性指数较高,呈双峰(7 月 29 日和 8 月 19 日)模式,田间节肢动物群落的物种组成集中在双斑萤叶甲和玉米蚜等少数几种节肢动物上。Shannon-Wiener 指数与优势集中性指数从不同角度反映了相同的变化趋势,即 7 月末和 8 月初田间节肢动物群落中物种数量明显下降。地表群落统计结果显示,优势集中性指数由较高水平逐渐下降。转化体 DBN9936 对节肢动物群落优势集中性没有显著影响。

2.5 节肢动物群落均匀性

3 种玉米材料 4 个处理的田间节肢动物 Pielou 指数见图 4。植株和地表各处理的节肢动物群落均匀性

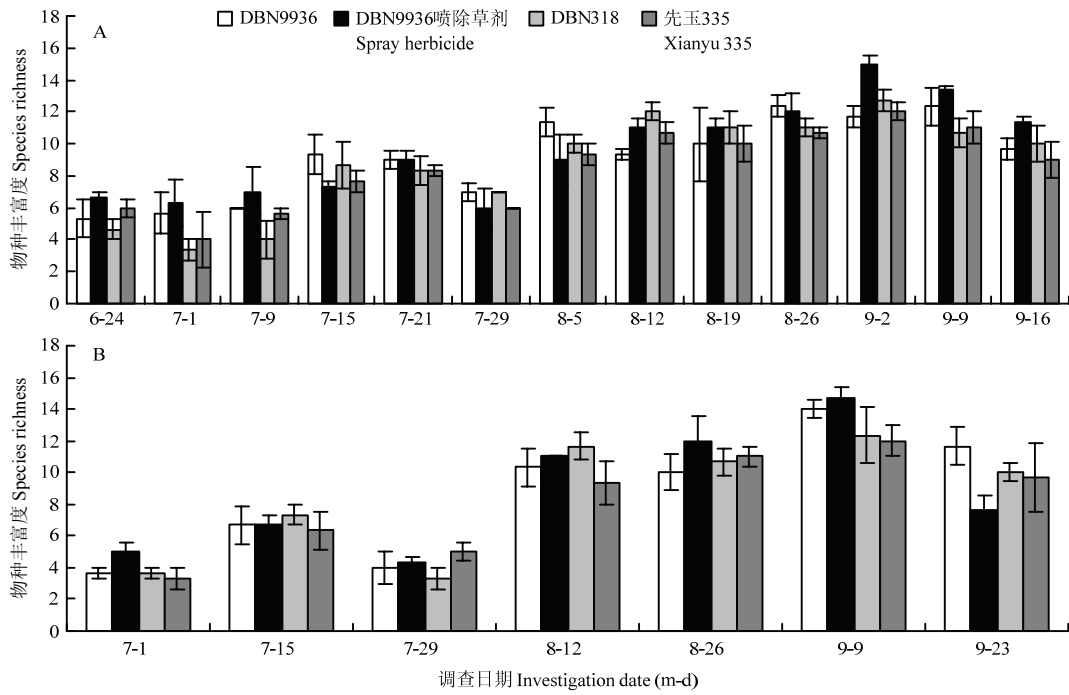


图 1 田间节肢动物群落物种丰富度动态 (A: 植株; B: 地表)

Fig. 1 The species richness dynamics of arthropod community in the fields (A: maize plant; B: land surface)

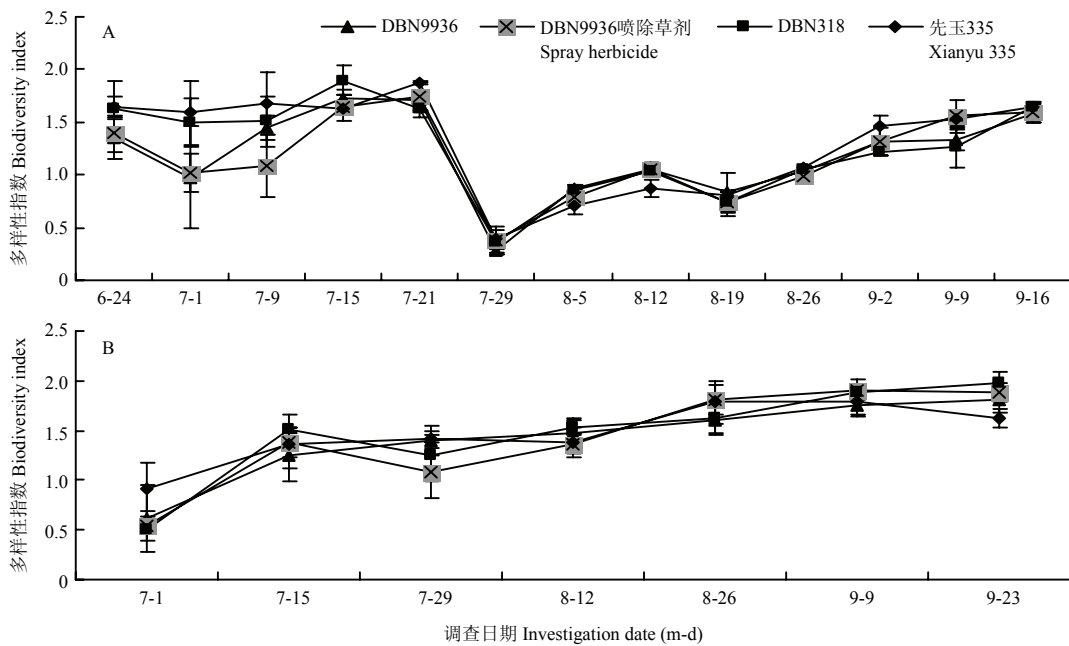


图 2 田间节肢动物多样性指数动态 (A: 植株; B: 地表)

Fig. 2 The biodiversity index dynamics of arthropod community in the fields (A: maize plant; B: land surface)

变化趋势一致，在 7 月底至 8 月中旬，双斑萤叶甲和蚜虫的先后暴发导致玉米材料的田间节肢动物群落均

匀性急剧降低后缓慢上升。植株和地表的数据统计结果和均匀性指数变化趋势说明转化体 DBN9936 对节

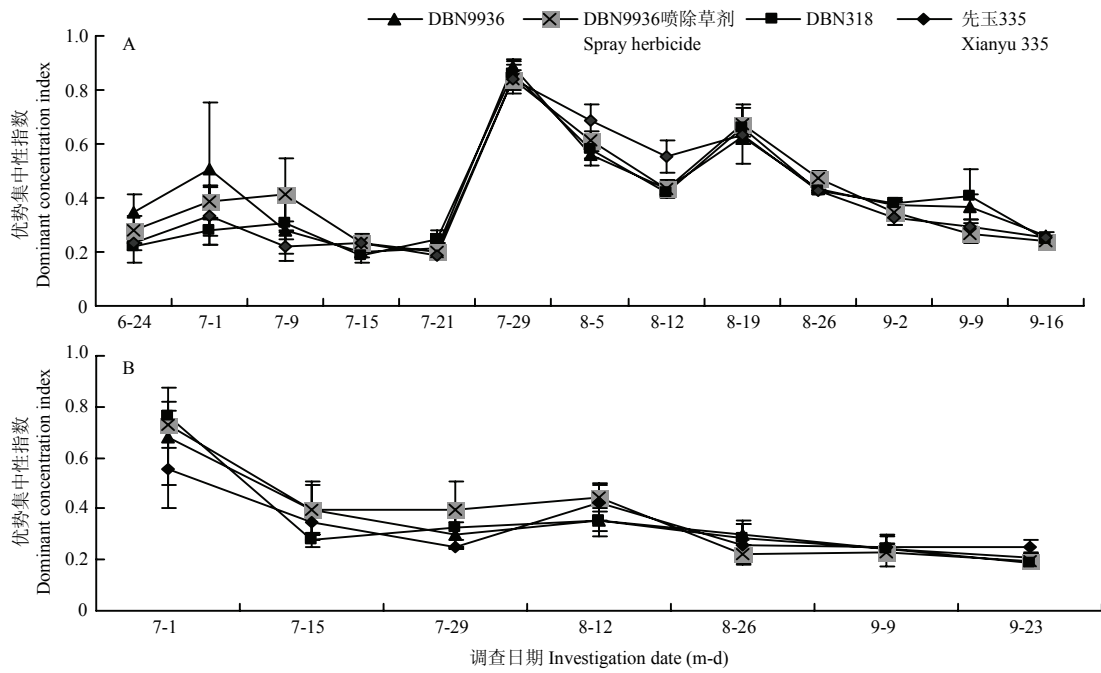


图 3 田间节肢动物优势集中性指数动态 (A: 植株; B: 地表)

Fig. 3 The dominant concentration index dynamics of field arthropod community (A: maize plant; B: land surface)

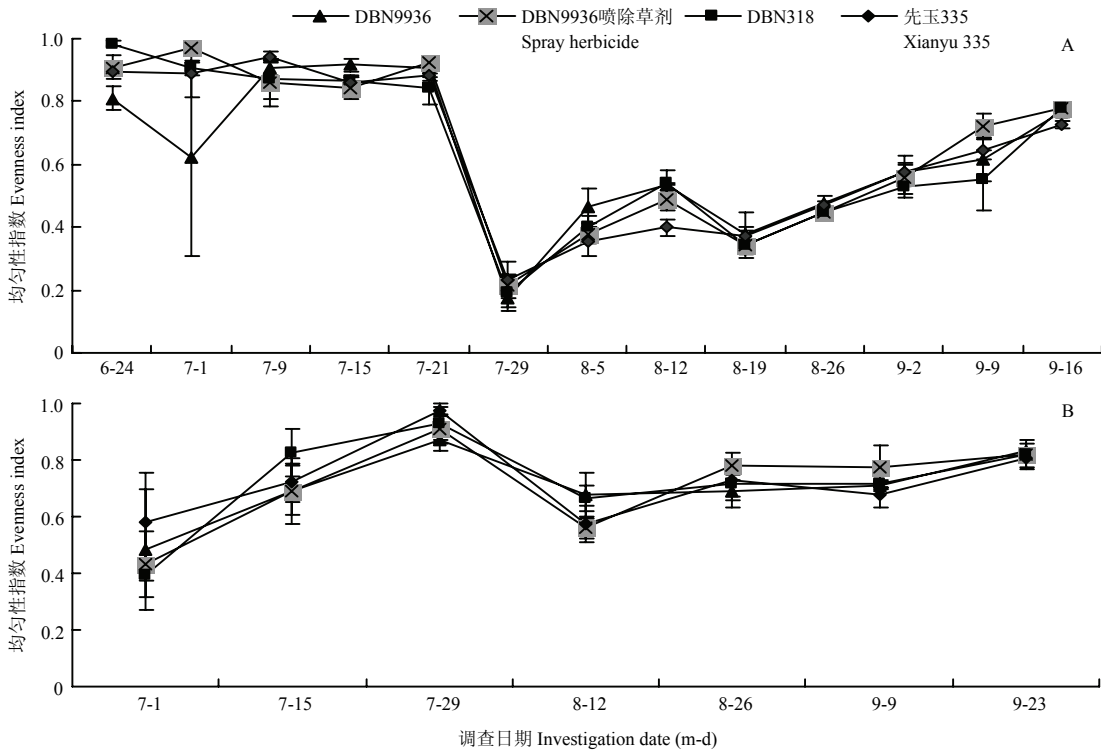


图 4 田间节肢动物物种均匀性指数动态 (A: 植株; B: 地表)

Fig. 4 The evenness index dynamics of field arthropod community (A: maize plant; B: land surface)

肢动物群落均匀性没有显著影响。植株上的节肢动物均匀性指数变化范围是 0.18—0.98，而地表节肢动物均匀性指数变化范围是 0.39—0.97，地表节肢动物均匀性指数变化范围更小。

2.6 节肢动物群落相似性

群落相似性系数反映两个不同群落物种的相似性，数值越接近 1，群落间相似性越高。常规种先玉 335、受体 DBN318、转化体品种 DBN9936 和喷施除草剂转化体品种 DBN9936 田间节肢动物群落间相似系数动态见图 5。图中可见，各处理之间的节肢动物

群落相似性变化趋势一致。喷施除草剂与未喷施除草剂的转化体、未喷施除草剂的转化体与受体、喷施除草剂的转化体与受体以及受体与常规种相比较，植株上的节肢动物群落相似度均表现为初期相似度较低，之后呈现较为明显的上升，后期维持在较高的相似度水平；而在不同处理地块地表的节肢动物群落相似度表现不同，初期相似度较高，之后呈下降趋势，于 7 月末达到低值后回升至较高相似度水平。总体来看，植株上的节肢动物群落逐步趋于一致，而种植了不同玉米材料地块的地表节肢动物群落则保持相对稳定。

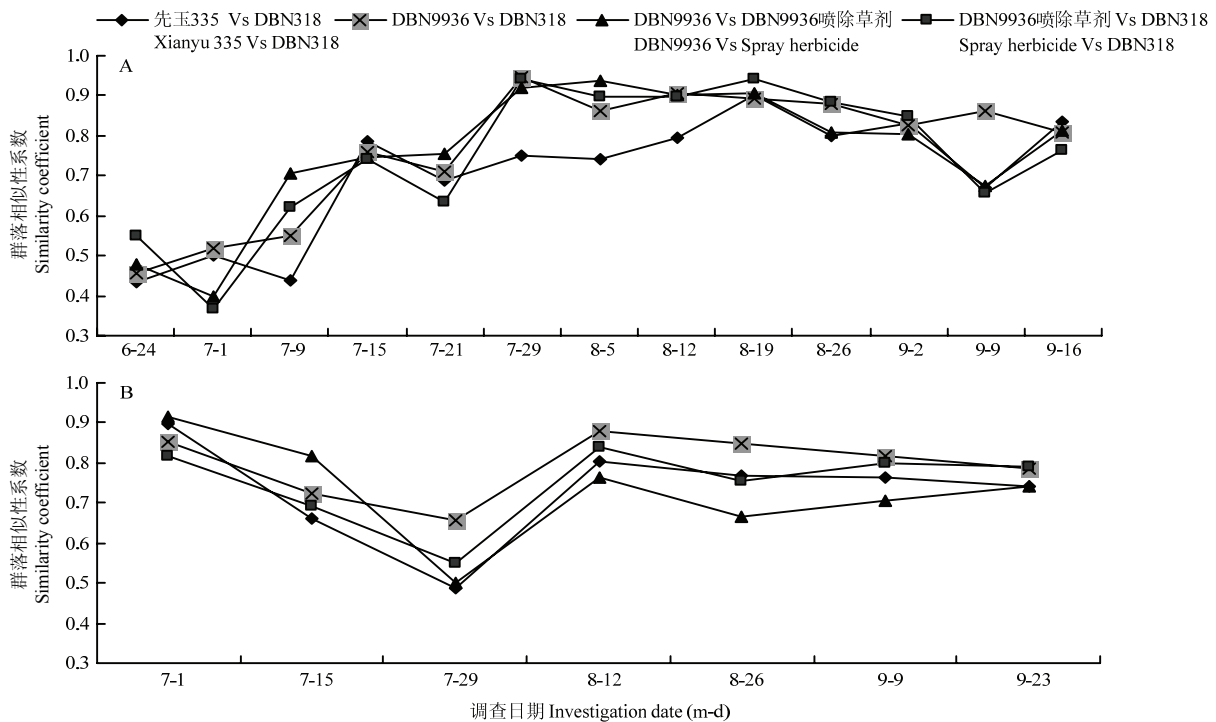


图 5 田间节肢动物群落相似性系数动态 (A: 植株; B: 地表)

Fig. 5 The similarity coefficient dynamics of field arthropod community (A: maize plant; B: land surface)

2.7 玉米穗期钻蛀类害虫危害评价

在收获前，观察穗尖并纵剖玉米茎秆，量化钻蛀类害虫对茎秆（亚洲玉米螟）和穗尖（棉铃虫）的危害。转化体 DBN9936 的植株上没有发现蛀孔，而受体 DBN318 茎秆上蛀孔平均数量为 28.5 个/百株，最长隧道长度为 16.5 cm，常规对照先玉 335 茎秆上蛀孔平均数量为 44.0 个/百株，最长隧道长度为 13.0 cm；转化体 DBN9936 植株上活虫数量不足 1 头/百株，而受体 DBN318 则大约每 5 株植株上就会发现 1 头活虫，先玉 335 约 4 株植株就会发现 1 头

活虫。转化体在蛀孔数量和活虫数量上显著低于受体和常规品种，表现出对钻蛀类害虫具有明显的抗性。穗尖被害情况也表现出与不同材料蛀害相同的趋势。根据试验方案，每个处理最终检视 150 株植株，其中，喷施除草剂和未喷施除草剂的转化体 DBN9936 玉米材料上分别有 9 株和 3 株的穗尖受到虫害，而受体材料 DBN318 则有 48 株的穗尖受害，常规对照先玉 335 穗尖受害植株数量更是达到 70 株。这些数量上的差异表明转化体对钻蛀类害虫具有明显的抗性（表 4）。

表 4 收获前期亚洲玉米螟和棉铃虫对 3 种玉米材料危害情况统计

Table 4 The damage of three maize lines by *O. furnacalis* and *H. armigera* before harvest

材料 Material	蛀孔数 (个/百株) Number of holes	活虫数 (头/百株) Number of alive pest	最长隧道长度 Maximum length of tunnel (cm)	平均隧道长度 Average length of tunnel (cm)	最长穗尖被害长度 Maximum length of damaged ear tip (cm)	平均穗尖被害长度 Average length of damaged ear tip (cm)
DBN9936	0.0±0.0b	0.6±0.6b	0	-	5.5	2.33±1.59a (n=3)
DBN9936 喷除草剂 Spray herbicide	0.0±0.0b	0.7±0.7b	0	-	4.0	1.94±0.39a (n=9)
DBN318	28.5±2.5a	20.6±2.0a	16.5	6.50±0.61b (n=43)	7.0	3.01±0.21a (n=48)
先玉 335 Xianyu 335	44.0±8.0a	25.5±3.8a	13.0	4.97±0.40a (n=65)	8.0	2.98±0.20a (n=70)

3 讨论

本研究以转基因抗草甘膦抗虫玉米为研究对象, 通过对其全生育期间田间节肢动物群落的调查, 发现转基因玉米 DBN9936 与其受体 DBN318 和常规种先玉 335 相比, 使用物种丰富度、群落多样性、优势集中性和群落均匀性等几个指数表示的群落性质上不存在显著差异。在对各个功能群进行分析时发现, DBN9936 田间害虫中鳞翅目害虫的数量显著少于受体 DBN318 和常规种先玉 335; 叶甲 (主要是双斑萤叶甲) 数量与受体 DBN318 相当, 但是显著多于常规种先玉 335。在收获前对玉米穗尖和茎秆危害情况调查表明, DBN9936 植株上的钻蛀类害虫危害状况明显轻于受体 DBN318 和先玉 335。综合以上研究结果可以发现, 转基因玉米 DBN9936 具有鳞翅目害虫抗性, 转入的抗虫基因 *Bt Cry1Ab* 的鳞翅目抗性特征有所体现; 常规种先玉 335 在双斑萤叶甲危害时抗性表现优于本试验中使用的 DBN 系列玉米品种。由此可见, 转基因玉米 DBN9936 在大田种植中在对节肢动物群落的影响上除了表现出鳞翅目害虫抗性外, 与受体品种 DBN318 基本一致, 与常规品种先玉 335 也基本一致。

近年来国内外在转基因作物的安全性方面已经取得很大进展, 先后研究了转基因抗虫棉花、转基因抗虫水稻以及转基因耐除草剂大豆等对节肢动物群落结构的影响^[23]。国内研究最多的是转 *Bt* 基因抗虫棉对害虫和天敌的影响, 由于转基因玉米在中国尚未被批准商业化种植, 所以转基因玉米对节肢动物多样性影响的研究较少。从已有的研究来看, 大多数的试验结果都支持转基因玉米对非靶标节肢动物多样性的影响较小。例如, HABUSTOVA 等^[24]通过连续 3 年对转 *Bt* 基因玉米和非转基因玉米田中地表节肢动物的抽样监测, 在生物量和物种丰度等方面未发现显著差异; CEREVKOVA 等^[25]对转基因抗虫玉米田中土壤线虫群落结构进行了取样研究, 结果未发现显著影响;

TRUTER 等^[26]调查比较了南非转 *Bt* 基因玉米和非转基因玉米田中的节肢动物多样性, 发现二者在生物多样性和物种丰度等方面无显著差异; 郭艳艳^[27]通过试验证明转 *CryIF* 基因玉米对安德森钝绥螨 (*Amblyseius andersoni*) 的生长发育没有明显影响; 郭颖慧^[28]试验证明转植酸酶玉米对玉米螟生长发育、生理生化及肠道菌群多样性指标无显著影响; 王柏凤^[29]通过对 3 种转基因玉米 (*Bt38*、*Mon89034* 和 *C63*) 及其对照品种的调查研究, 发现转基因玉米短期内并未对跳虫优势类群产生不利影响, 也没有改变其分布规律。除此之外, KRAMARZ 等^[30]用转基因玉米饲养蜗牛, 未发现明显的危害。目前, 转基因饲料也没有对畜禽营养、免疫、繁殖、肠道健康产生不利作用^[31]。本试验结果表明转基因玉米 DBN9936 在大田种植情况下对非靶标节肢动物群落的影响较小, 同上述研究一样, 为转基因玉米的安全性评价提供了基本的数据支持。

在转基因作物的生态安全性研究中, 次生害虫的问题一直是关注的重点之一。例如, LU 等^[32]在棉花和多种其他作物混种区域进行长期观测, 结果表明转 *Bt* 基因棉田中盲蝽的发生特点有明显变化, 盲蝽逐步适应了 *Bt* 棉的种植, 其种群因为杀虫剂使用的减少而逐步增大, 棉田由盲蝽的“汇”变成了“源”。本试验中, 转基因玉米材料 DBN9936 上的节肢动物种类和数量与非转基因玉米材料相比无显著差异, 暂时没有观察到次生害虫问题。需要说明的是, 在 2015 年玉米生长季, 试验区域的降水量低于往年, 并且在玉米生长的中后期, 大田中出现了大量的双斑萤叶甲, 本研究结果中各种指数的动态对此有所反映。如果要对转基因玉米在大田种植情况下对节肢动物群落的影响进行全面的认识, 还需要大量研究来进一步明确, 并对其发生的原因和机制进行进一步研究。

4 结论

转基因玉米材料 DBN9936 对非靶标节肢动物的

数量和群落结构没有显著影响。在本研究中,不同地块节肢动物群落多样性的变化趋势基本相同,在7月中下旬出现明显的波动,结合气象记录和大田观察,可以认为是干旱和双斑萤叶甲暴发而导致群落多样性水平下降,主要体现在优势集中度上升和均匀度下降两个方面。这个结果也说明,个别害虫的集中暴发会对大田试验结果产生影响,大田生物安全评价是一个长期研究的过程,应对批准大范围释放的转基因生物进行长期监测,以获得更加完善、全面的评价结果。

References

- [1] 孙越, 刘秀霞, 李丽莉, 官赞赞, 张举仁. 兼抗虫、除草剂、干旱转基因玉米的获得和鉴定. 中国农业科学, 2015, 48(2): 215-228.
SUN Y, LIU X X, LI L L, GUAN Y Y, ZHANG J R. Production of transgenic maize germplasm with multi-traits of insect-resistance, glyphosate-resistance and drought-tolerance. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(2): 215-228. (in Chinese)
- [2] JAMES C. 2015 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势. 中国生物工程杂志, 2016, 36(4): 1-11.
JAMES C. The global commercialization of biotech crops and biotech crop highlights in 2015. *China Biotechnology*, 2016, 36(4): 1-11. (in Chinese)
- [3] 邢福国, 滑慧娟, 刘阳. 转基因农产品安全性评价研究进展. 生物技术通报, 2015, 31(4): 17-24.
XING F G, HUA H J, LIU Y. The safety assessment of genetically modified agro-products. *Biotechnology Bulletin*, 2015, 31(4): 17-24. (in Chinese)
- [4] 吴孔明. 中国转基因作物的环境安全评价与风险管理. 华中农业大学学报, 2014, 33(6): 112-114.
WU K M. Environmental safety evaluation and risk management of GM crops in China. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(6): 112-114. (in Chinese)
- [5] 黄大昉. 转基因农作物育种发展与思考. 生物技术通报, 2015, 31(4): 3-6.
HUANG D F. GM crop breeding: Current status and prospects. *Biotechnology Bulletin*, 2015, 31(4): 3-6. (in Chinese)
- [6] PERLAK F J, DEATON R W, ARMSTRONG T A, FUCHS R L, SIMS S R, GREENPLATE J T, FISCHHOFF D A. Insect resistant cotton plants. *Biothechnology*, 1990, 8: 939-943.
- [7] WILSON D F, FLINT H M, DEATON R W, FISCHHOFF D A, PERLAK E J, ARMSTRONG T A, FUCHS R L, BERBERICH S A, PARKS N J, STAPP B R. Resistance of cotton lines containing a *Bacillus thuringiensis* toxin to pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae) and other insects. *Journal of Economic Entomology*, 1992, 85(4): 1516-1521.
- [8] 董双林, 马丽华, 李春花. 转 Bt 基因棉对棉铃虫玉米螟及小地老虎的抗生性测定. 中国棉花, 1996, 23(12): 15-17.
DONG S L, MA L H, LI C H. Determination of resistance of transgenic Bt cotton to cotton bollworm, corn borer and black cutworm. *China Cotton*, 1996, 23(12): 15-17. (in Chinese)
- [9] ASHFAQ M, YOUNG S Y, MCNEW R W. Larval mortality and development of *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) reared on a transgenic *Bacillus thuringiensis*-cotton cultivar expressing Cry1Ac insecticidal protein. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94(5): 1053-1058.
- [10] LIU Y B, TABSHNIK B E, DENNEHY T J, PATIN A L, SIMS M A, MEYER S K, CARRIERE Y. Effects of Bt cotton and Cry1Ac toxin on survival and development of pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94(5): 1237-1242.
- [11] 李恺求, 刘金南, 陈炳阳, 李明波. 转 Bt 基因棉抗红铃虫的效果观察. 中国植保导刊, 2004, 24(5): 29-30.
LI K Q, LIU J N, CHEN B Y, LI M B. The resistance effects of transgenic Bt cotton to pink bollworm. *China Plant Protection*, 2004, 24(5): 29-30. (in Chinese)
- [12] 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. 棉花学报, 1998, 10(5): 255-262.
CUI J J, XIA J Y. Effects of Bt transgenic cotton (with early maturity) on population dynamic, of main pests and their natural enemies. *Acta Gossypii Sinica*, 1998, 10(5): 255-262. (in Chinese)
- [13] 李进步, 方丽平, 张亚楠, 杨卫娟, 郭庆, 李雷, 毕彩丽, 杨荣志. 不同类型品种棉花上棉蚜适生性及种群动态. 昆虫学报, 2007, 50(10): 1027-1033.
LI J B, FANG L P, ZHANG Y N, YANG W J, GUO Q, LI L, BI C L, YANG R Z. Fitness and population dynamics of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on different cotton varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50(10): 1027-1033. (in Chinese)
- [14] 徐文华, 王瑞明, 武进龙, 刘标. 转 Bt 基因抗虫棉田棉盲蝽预测预报方法的改进研究. 江西农业学报, 2008, 20(1): 29-31.
XU W H, WANG R M, WU J L, LIU B. Research on improvement of forecasting methods for cotton plant bugs in transgenic Bt cotton fields. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2008, 20(1): 29-31. (in Chinese)
- [15] 薛莹, 张天国. 转基因植物的非靶标效应——以转 Bt 基因棉为例. 中央民族大学学报 (自然科学版), 2008, 17(增刊): 40-50.
XUE K, ZHANG W G. Non-target effects of transgenic plant: transgenic Bt cotton. *Journal of Minzu University of China (Natural*

- Sciences Edition*), 2008, 17(Suppl.): 40-50. (in Chinese)
- [16] 张岚, 林克剑, 李飞, 侯茂林. 转 *cry1C* 和 *cry2A* 不同抗虫基因水稻品种对非靶标害虫灰飞虱生物学特性的影响. *植物保护*, 2011, 37(6): 120-125.
- ZHANG L, LIN K J, LI F, HOU M L. The biological effects of transgenic rice varieties with *cry1C* or *cry2A* on the non-target insect pest *Laodelphax striatellus*. *Plant Protection*, 2011, 37(6): 120-125. (in Chinese)
- [17] MARVIER M, MCCREEDY C, REGETZ J, KAREIVA P. A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates. *Science*, 2007, 316(5830): 1475-1477.
- [18] 中华人民共和国农业部. 转基因植物及其产品环境安全检测 抗虫玉米: 农业部 953 号公告-10.4-2007[S]. 2007-12-18[2016-12-28]. Ministry of Agriculture of People's Republic of China. Evaluation of environmental impact of genetically modified plants and derived products. Insect-resistant maize: Announcement by the Ministry of Agriculture, No. 953-10.4-2007[S]. 2007-12-18[2016-12-28]. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国农业部. 转基因植物及其产品环境安全检测 抗除草剂玉米: 农业部 953 号公告-11.4-2007[S]. 2007-12-18[2016-12-28]. Ministry of Agriculture of People's Republic of China. Evaluation of environmental impact of genetically modified plants and derived products. Herbicide-tolerant maize: Announcement by the Ministry of Agriculture, No. 953-11.4-2007[S]. 2007-12-18[2016-12-28]. (in Chinese)
- [20] 中华人民共和国农业部. 转基因玉米环境安全监测技术规范: NY/T 720.3-2003[S]. 2003-12-01[2016-12-28]. Ministry of Agriculture of People's Republic of China. Environmental impact testing of genetically modified maize: NY/T 720.3-2003[S]. 2003-12-01[2016-12-28]. (in Chinese)
- [21] 梁文举, 张万民, 李维光, 段玉玺. 施用化肥对黑土地区线虫群落组成及多样性产生的影响. *生物多样性*, 2001, 9(3): 237-240.
- LIANG W J, ZHANG W M, LI W G, DUAN Y X. Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the Black Soil Region. *Biodiversity Science*, 2001, 9(3): 237-240. (in Chinese)
- [22] 王子健, 刘佳, 王尚, 杨巽, 席景会, 王军. 净月潭国家森林公园凋落物层土壤动物群落多样性. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(4): 368-372.
- WANG Z J, LIU J, WANG S, YANG X, XI J H, WANG J. Community diversity of litter invertebrates in Jingyuetan national forest park of Changchun. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2012, 28(4): 368-372. (in Chinese)
- [23] 姜伟丽, 马小艳, 彭军, 马亚杰, 马艳. 转基因抗草甘膦抗虫棉田害虫群落多样性季节动态研究. *棉花学报*, 2014, 26(5): 105-112.
- JIANG W L, MA X Y, PENG J, MA Y J, MA Y. Seasonal dynamics of diversity of insect communities in transgenic glyphosate-insect-resistant cotton. *Cotton Science*, 2014, 26(5): 105-112. (in Chinese)
- [24] HABUSTOVA O S, SVOBODOVA Z, SPITZER L, DOLEZAL P, HUSSEIN H M, SEHNAL F. Communities of ground-dwelling arthropods in conventional and transgenic maize: background data for the post-market environmental monitoring. *Journal of Applied Entomology*, 2015, 139 (1/2): 31-45.
- [25] CEREVKOVA A, CAGAN L. Effect of transgenic insect-resistant maize to the community structure of soil nematodes in two field trials. *Helminthologia*, 2015, 52(1): 41-49.
- [26] TRUTER J, VAN HAMBURG H, VAN DEN BERG J. Comparative diversity of arthropods on Bt maize and non-Bt maize in two different cropping systems in South Africa. *Environmental Entomology*, 2014, 43(1): 197-208.
- [27] 郭艳艳. 转基因抗虫玉米和棉花对非靶标生物的影响评价[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- GUO Y Y. The impact of Bt transgenic corn and cotton on non-target organisms[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [28] 郭颖慧. 转 *PHYA2* 基因玉米对家蚕、玉米螟生理生化反应及其肠道微生物影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- GUO Y H. Effect of phytase transgenic maize on physiological and biochemical responses and intestinal microorganism of *Bombyx mori* and *Ostrinia furnacalis*[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [29] 王柏凤. 转基因玉米对跳虫的影响[D]. 北京: 中国科学院, 2014.
- WANG B F. Effect of transgenic corn on Collembola[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2014. (in Chinese)
- [30] KRAMARZ P, DE VAUFLEURY A, GIMBERT F, CORTET J, TABONE E, ANDERSEN M N, KROGH P H. Effects of Bt-maize material on the life cycle of the land snail *Cantareus asperses*. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42(3): 236-242.
- [31] 陈亮, 黄庆华, 孟丽辉, 邢焕, 姚斌, 杨晓光, 张宏福. 转基因作物饲用安全性评价研究进展. *中国农业科学*, 2015, 48(6): 1205-1218.
- CHEN L, HUANG Q H, MENG L H, XING H, YAO B, YANG X G, ZHANG H F. Safety evaluation of feeds from genetically modified crops on livestock and poultry. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(6): 1205-1218. (in Chinese)
- [32] LU Y H, WU K M, JIANG Y Y, XIA B, LI P, FENG H Q, WYCKHUYS K A G, GUO Y Y. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 2010, 328(5982): 1151-1154.

(责任编辑 岳梅)