

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2024.04.007

# 转基因玉米对田间节肢动物生物多样性及虫害发生的影响

刘靖<sup>1,2</sup>, 杨晓然<sup>1,2</sup>, 杨牧之<sup>1,2</sup>, 任振涛<sup>1,2</sup>, 刘来盘<sup>3</sup>, 刘标<sup>3\*</sup>, 薛堃<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>民族地区生态环境国家民委重点实验室, 中央民族大学, 北京 100081; <sup>2</sup>中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; <sup>3</sup>生态环境部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042

**摘要:**【目的】明确转基因抗虫(*cry1Ab*)耐除草剂(*epsps*)玉米 DBN9936 对田间节肢动物生物多样性及虫害发生的影响, 为转基因作物的生物安全提供数据支持。【方法】在田间隔离条件下, 采用直接观察法对田间节肢动物种类和数量进行统计, 采用剖秆法调查钻蛀类害虫的危害情况。分析比较转基因玉米宏碲 1799 转化体和远科 105 转化体及其非转基因玉米受体品种、非转基因玉米栽培品种先玉 335 的田间节肢动物功能群、丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀性指数、优势集中性指数等相关参数。【结果】1) 转基因玉米与非转基因玉米受体品种的田间节肢动物丰富度指数、多样性指数、均匀度指数、优势集中性指数随时间变化趋势基本一致; 2) 转基因玉米的叶片平均受害率、茎秆平均受害率和穗尖平均受害率均低于非转基因玉米; 3) 转基因玉米与喷施杀虫剂的非转基因玉米上玉米螟、棉铃虫和黏虫等鳞翅目害虫的危害程度均较非转基因玉米有不同程度的降低。【结论】与非转基因对照玉米相比, 受试转基因玉米有降低鳞翅目靶标害虫发生的趋势, 且对田间节肢动物生物多样性无明显影响。

**关键词:** 转基因玉米; *cry1Ab*; *epsps*; 多样性指数



开放科学标识码  
(OSID 码)

## Effects of transgenic maize on arthropod biodiversity and insect pest occurrence in the field

LIU Jing<sup>1,2</sup>, YANG Xiaoran<sup>1,2</sup>, YANG Muzhi<sup>1,2</sup>, REN Zhentao<sup>1,2</sup>,  
LIU Laipan<sup>3</sup>, LIU Biao<sup>3\*</sup>, XUE Kun<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Ecological Environment in Ethnic Areas of the State Ethnic Affairs Commission, Minzu University of China, Beijing 100081, China; <sup>2</sup>College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; <sup>3</sup>Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing, Jiangsu 210042, China

**Abstract:** 【Aim】 The effects of transgenic maize DBN9936 with the traits of insect-resistant (*cry1Ab*) and glyphosate-tolerant (*epsps*) on arthropod biodiversity and pest occurrence in the field were assessed, which would support the biosafety evaluation of transgenic crops. 【Method】 In isolated fields, the arthropod species and their numbers were identified and counted by direct observation. The number and harm caused by drill borer pests were investigated after slitting the stalks lengthwise when the corn was harvested. The parameters of arthropod function group, richness index, Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index, and dominant concentration index of arthropods in genetically modified maize Hongshuo1799 and Yuanke105, non-transgenic recipient varieties, and regular maize cultivar Xianyu335 were analyzed and compared. 【Result】 1) Although there were a few differences, the dynamic trends of the arthropod richness index, diversity index, evenness index, and dominant concentration index of transgenic maize and non-transgenic control varieties were similar during the growth season. 2) The average damage rate of leaves, stems, and ears of transgenic maize was lower than that of non-transgenic maize, according to the valuation and analyses. 3) The damage of transgenic and non-transgenic maize with insecticide treatment made by lepidopteran pests, such as the corn borer *Ostrinia furnacalis*, the cotton bollworm *Mythimna separate*, and the oriental armyworm *Hrelicoverpa armigera*, was reduced. 【Conclusion】 Compared with their non-transgenic counterparts, the transgenic maize Hongshuo1799 and Yuanke105 could reduce the occurrence trend of lepidopteran target pests and had no significant negative effects on arthropod biodiversity in the field.

收稿日期 (Received): 2022-07-25 接受日期 (Accepted): 2022-11-06

基金项目: 民族地区生态环境国家民委重点实验室(中央民族大学)自主课题(KLEEMA202102); 转基因生物新品种培育重大科技专项(2021ZX08013001-002-007)

作者简介: 刘靖, 女, 硕士研究生。研究方向: 转基因安全评价。E-mail: liujing020945@163.com

\* 通信作者 (Author for correspondence), 刘标, E-mail: liubiao@nies.org; 薛堃, E-mail: xuekun@muc.edu.cn

**Key words:** genetically modified maize; *cry1Ab*; *epsps*; diversity index

转基因技术能赋予植株新的特性(如抗虫、耐除草剂等),也可以提高植株的抗逆性(如抗旱等),通过转基因技术可以培育出具有优良性状的新材料(孙越等,2015)。自转基因作物商业化以来,这些遗传修饰作物的种植面积呈逐年增长趋势,取得了显著的经济、生态和社会效益(李东阳等,2022; 吴孔明和刘海军,2014; Shetty *et al.*, 2018)。根据国际农业生物技术应用服务组织(The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application, ISAAA)统计,2019 年全球有 29 个国家种植转基因作物,种植面积达到了 1.904 亿  $\text{hm}^2$ ,其中包括抗虫耐除草剂转基因玉米 *Zea mays* L. 在内复合性状转基因作物的种植面积已达到 8510 万  $\text{hm}^2$ ,约占全球转基因作物种植面积的 45%(国际农业生物技术应用服务组织, 2021; 蒋田田和文君慧, 2021)。根据单作的种植面积计算,2019 年全球范围内种植转基因玉米的面积已接近玉米种植面积的 1/3(国际农业生物技术应用服务组织, 2021)。目前,对于转基因玉米的目标性状研究主要集中在品质改良、抗虫、耐除草剂以及非生物胁迫耐性等方面,其中抗虫耐除草剂转化体占商业化转基因玉米复合性状转化体总数的 96%(焦悦等,2021)。我国也开展了抗虫耐除草剂转基因玉米的研究(李国平等,2019; 孙红炜等,2021; 邹俊杰等,2022),也在积极推进转基因玉米的商业化。截至 2021 年,中国农业农村部向 4 个转基因抗虫耐除草剂玉米(抗虫耐除草剂玉米 DBN9936、耐除草剂玉米 DBN9858、抗虫玉米 DBN9501、抗虫耐除草剂玉米瑞丰 125)颁发了生物安全证书(梁晋刚等,2021)。

转基因玉米的生态安全性是研究热点(叶绵圳等,2020; Albajes *et al.*, 2013; Jan, 2015),转基因玉米对非靶标节肢动物的潜在影响是转基因玉米生态安全评价的重要内容(高越,2020)。节肢动物在农田生态系统中发挥了多种生态服务功能,如授粉、生物防治和有机物的分解与循环等(戈峰等, 2014; 何浩鹏等, 2018; Comas *et al.*, 2014; Efsa, 2010)。大部分研究表明,转基因作物的种植不会对田间节肢动物群落多样性产生明显的影响(陈景超等,2021; 陈彦君等,2020; 刘来盘等,2020; 马燕

婕等,2019; 沈文静等,2021; 尹俊琦等,2017; 王成等,2021; Lee, 2021; Marques *et al.*, 2018)。也有部分研究认为,转基因抗虫作物的种植在一定程度上会造成非靶标害虫数量的上升(杨益众等,2006),或田间节肢动物群落的丰富度和多样性提高(Bhatti *et al.*, 2005)。因此,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。

2021 年,本研究在玉米生长季系统调查了 2 个抗虫耐除草剂转基因玉米转化体田间节肢动物的种类和数量,比较分析了转基因玉米和喷施杀虫剂的非转基因玉米对田间节肢动物生物多样性及虫害发生的影响,以期转基因抗虫耐除草剂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

本研究所用的材料包括非转基因玉米栽培品种先玉 335 (XY)、转基因玉米宏硕 1799 (T1)及其非转基因受体 (NT1)、转基因玉米远科 105 (T2)及其非转基因受体(NT2)。T1 和 T2 为同一转化体 DBN9936 与本地玉米品种的杂交体,表达 *cry1Ab* 和 *epsps* 基因,具有抗虫和耐除草剂特性。

常规除草采用的除草剂为莠去津(浓度 19.5%, 剂量  $1.8 \times 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ )、烟嘧磺隆(浓度 2.5%, 剂量  $1.8 \times 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ )和硝磺草酮(浓度 10%, 剂量  $1.2 \times 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ )三元混剂。草甘膦除草采用草甘膦钾盐(浓度 43%, 剂量  $4.2 \times 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ )。喷施杀虫剂为康宽(浓度  $200 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 剂量  $1.5 \times 10^{-5} \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ )。

### 1.2 试验处理及小区设计

本试验依据农业部 953 号公告-10.4-2007、农业部 953 号公告-11.4-2007 和农业行业标准 NY/T 720.3-2003 相关规定执行,采用随机区组方法进行小区规划。试验共 8 个处理,除 XY、T1、NT1、T2 和 NT2 之外,XY、NT1 和 NT2 分别设置除虫处理,即 XY-除虫、NT1-除虫和 NT2-除虫(表 1)。每个处理 3 重复,共计 24 个小区。每个小区面积  $3335 \text{ m}^2$  ( $145 \text{ m} \times 23 \text{ m}$ ),小区间设有 1.0 m 宽的隔离带。玉米按条播的方式进行播种,行距 60 cm,株距 25 cm。

表 1 各玉米材料试验处理  
Table 1 Experimental treatment of maize materials

试验材料 Experimental material	转基因 Genetic modification	处理 Treatment	编号 Number
先玉 335 Xianyu335	-	常规除草 Conventional herbicide treatment	XY
		常规除草+喷杀虫剂 Conventional herbicide and insecticide treatment	XY-除虫 XY-deinsectization
		常规除草 Conventional herbicide treatment	NT1
宏硕 1799 Hongshuo1799	-	常规除草+喷杀虫剂 Conventional herbicide and insecticide treatment	NT1-除虫 NT1-deinsectization
		草甘膦除草 Glyphosate herbicide treatment	T1
	cry1Ab+epsps	常规除草 Conventional herbicide treatment	NT1
		常规除草+喷杀虫剂 Conventional herbicide and insecticide treatment	NT1-除虫 NT1-deinsectization
远科 105Yuanke105	-	常规除草 Conventional herbicide treatment	NT2
		常规除草+喷杀虫剂 Conventional herbicide and insecticide treatment	NT2-除虫 NT2-deinsectization
	cry1Ab+epsps	草甘膦除草 Glyphosate herbicide treatment	T2
		草甘膦除草 Glyphosate herbicide treatment	T2

### 1.3 试验方法

2021 年玉米生长季,在内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼前旗额尔格图镇图门嘎查试验基地(46°15'50.35" N,122°24'17.35" E)进行试验,该试验点外 300 m 内无玉米种植。每个小区采用对角线 5 点取样法进行采样。使用如下 2 种方法进行节肢动物调查。

1.3.1 直接观察法 于玉米植株定苗 10 d 至成熟,每 10 d 调查 1 次,每个采样点选取 10 株玉米,通过直接观察记录整株玉米上的节肢动物种类和数量。对田间不能即时识别的物种进行采集并编号,带回室内鉴定。

1.3.2 剖秆法 于收获前,每采样点选择 15 株玉米,观察穗尖和叶片的为害情况,并纵剖玉米茎秆,调查茎秆内部是否有钻蛀类害虫。通过纵剖玉米茎秆、剥穗和观察叶片,记录钻蛀空道长度、穗尖受害长度、叶片受害长度等来量化钻蛀类害虫对茎秆、穗尖和叶片的危害情况。

### 1.4 数据分析

采用物种累积曲线判断本次调查的充分性。选用 4 个指标表征各处理田间节肢动物的多样性。物种丰富度(S)即群落中的物种数量,利用自助法(Bootstrap)、Abundance-base Coverage Estimator(ACE)以及 Chao 1 法估算生育期玉米田间节肢动物的丰富度(吴岚等,2016)。多样性指数(H)、均匀性指数(J)和优势集中性指数(C)的计算公式如下:

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

$$J = H / \ln S$$

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

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;J 为均匀性指数,C 为优势集中性指数,S 为物种数。

计算分析采用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 软件,差异显著性水平设为 0.05。

## 2 试验结果

### 2.1 玉米田节肢动物种类及功能群组成

通过调查供试玉米材料整个生育期内田间节肢动物的种类,共发现节肢动物 11 目 53 科 19259 头,其中半翅目和鞘翅目为优势类群,各计 10 科,各占群落总科数的 18.87%;从物种数量组成分析,鞘翅目昆虫 18 种,占 22.22%;半翅目 15 种,占 18.52%;双翅目 14 种,占 17.28%;鳞翅目 11 种,占 13.58%。从个体数量方面分析,8 月下旬—9 月中旬玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) 暴发,半翅目个体数量最高达 14508 只,占群落个体总数的 75.33% (表 2)。不同处理间节肢动物种类分布无显著差异。

2021 年玉米全生育期内田间节肢动物群落中主要功能团种群统计见表 3。功能群分类统计结果显示,转化体 T1 和 T2 上鳞翅目害虫的数量低于 NT1 和 NT2。

表 2 玉米田间节肢动物的群落组成  
Table 2 Composition of the total arthropod communities in maize field

Table with 7 columns: 类群 Species, 科 Families (数量 No, 占比 Proportion/%), 种 species (数量 No, 占比 Proportion/%), 个体 Individuals (数量 No, 占比 Proportion/%). Rows include Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Araneida, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Neuroptera, Odonata, Collembola, Psocoptera, and Total.

表 3 不同玉米材料全生育期田间主要功能团中各物种累积数量  
Table 3 The accumulated number of each species in main functional groups on different maize fields during the whole growth period

Table with 10 columns: 功能群类别 Functional groups, 功能团平均数/(头·株⁻¹) Individual numbers in different functional group (XY, XY-除虫, NT1, T1, NT1-除虫, NT2, T2, NT2-除虫), p 值 p-value. Rows include Main pest (鳞翅目, 蚜虫, 飞虱, etc.), Predator (瓢虫, 蜘蛛, etc.), and Parasitoid (寄生蜂, wasp).

数据为均值±标准误差,同一行数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 (p<0.05)。

Data form in this table are mean ± SE, and different lowercases after the same row represent significant differences among treatments (p<0.05).

2.2 不同玉米田间节肢动物多样性分析

2.2.1 节肢动物物种丰富度 图 1 所示为各玉米材料田间节肢动物的物种累积曲线,所有曲线上升均比较舒缓,呈典型抛物线,表明本次调查比较充分。利用 ACE、Chao1、Bootstrap 进行估算,调查区域物种丰富度值分别为 94.42、91.04、87.81,实际调查物种数为 79 种,占调查估计值的 83.67%、86.78%、89.97%,表明本次调查的结果接近真实值,可靠度较高。

在生育期不同阶段的调查中,各处理的物种丰富度(S)呈现相似的动态趋势(图 2)。各玉米田间节肢动物物种数调查初期较低,之后逐渐上升,8 月上旬双斑萤叶甲 Monolepta hieroglyphica (Motschulsky) 暴发,且由于频繁降雨,玉米长势逐渐受到影响,物种数有所下降;9 月玉米达到成熟期,物种数逐渐下降。由图 2 可知,在整个生育期,转基因品种与非转基因受体品种上的节肢动物物种丰富度无显著差异。

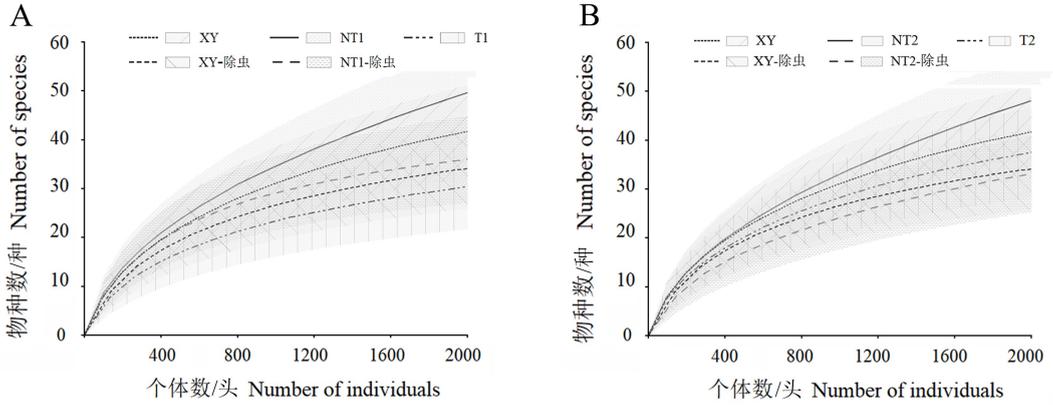


图1 田间节肢动物的物种累积曲线

Fig.1 The species accumulation curves of arthropod community in the fields

A: NT1 与 XY 不同处理间物种累积曲线; B: NT2 与 XY 不同处理间物种累积曲线。

A: Species accumulation curve between NT1 and XY treatments; B: Species accumulation curve between NT2 and XY treatments.

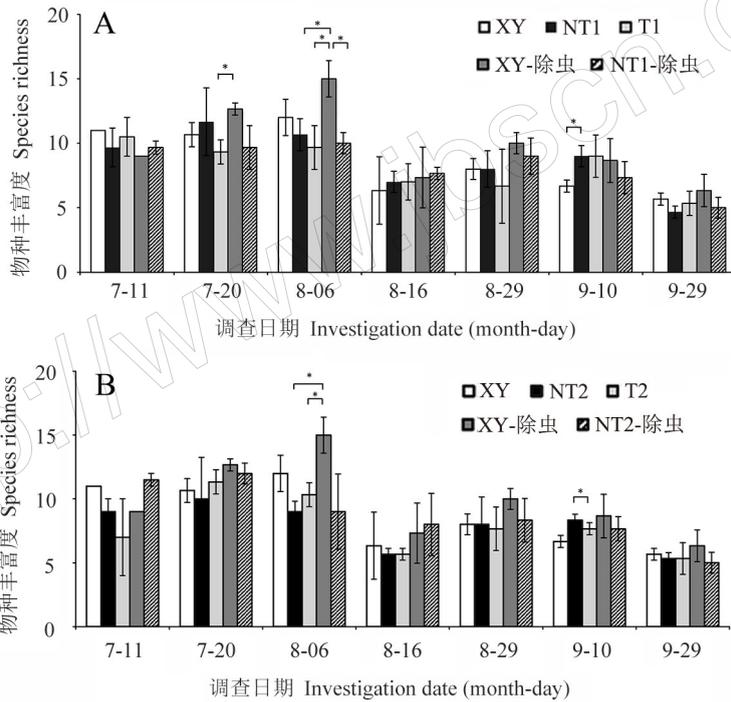


图2 不同玉米田节肢动物群落物种丰富度动态

Fig.2 The species richness dynamics of arthropod community in different maize fields

A: NT1 与 XY 不同处理间物种丰富度动态; B: NT2 与 XY 不同处理间物种丰富度动态; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ 。

A: Dynamics of species richness between NT1 and XY treatments; B: Dynamics of species richness between NT2 and XY treatments; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ 。

2.2.2 节肢动物群落的多样性 各玉米材料田间节肢动物的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H$ ) 呈现相似的动态趋势 (图 3)。在 7 月份多样性指数较高,之后随着双斑莹叶甲和玉米蚜的相继暴发,多样性指数呈波动下降趋势。在整个生育期中间阶段,虽然不同处理间的节肢动物多样性指数存在显著差异,但只有 7 月 20 日转基因玉米 T1 与非转基因受体品种 NT1 的多样性指数显著差异。

2.2.3 节肢动物群落的均匀度 各玉米材料的均匀性指数 ( $J$ ) 呈现相似的动态 (图 4)。在整个生育期,转基因玉米与非转基因受体品种间的均匀性指数无显著差异。

2.2.4 节肢动物群落的优势集中性 各玉米材料的优势集中性指数 ( $C$ ) 呈现相似的动态 (图 5),均为逐步上升的变化趋势。结合田间采集记录可知,8 月上旬的双斑莹叶甲暴发和 9 月的玉米蚜暴发导

致优势集中性指数上升。在整个生育期统计中,只有 7 月 20 日调查的 T1 与 NT1 的优势集中性指数

的显著差异指向转基因玉米和非转基因对照存在不同。

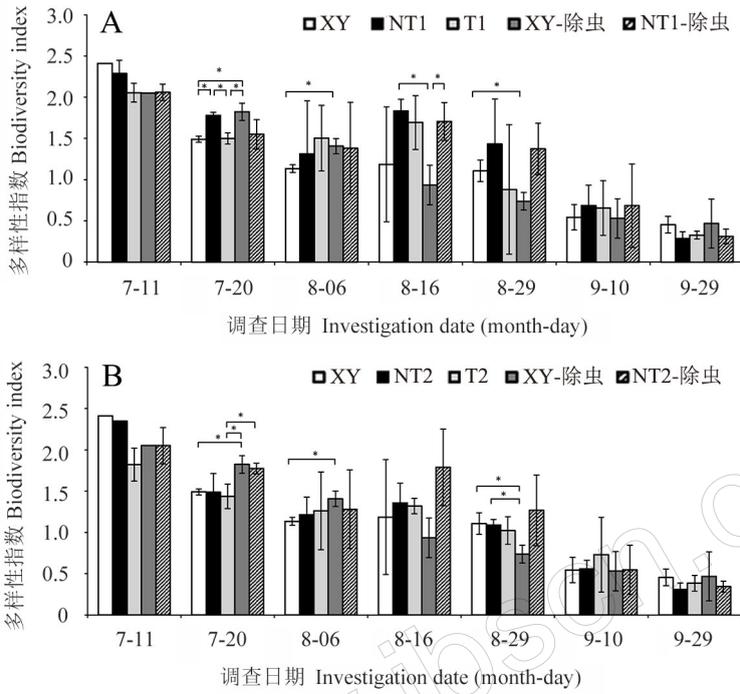


图 3 不同玉米田节肢动物多样性指数动态

Fig.3 The biodiversity index dynamics of arthropod community in different maize fields

A: NT1 与 XY 不同处理间多样性指数动态; B: NT2 与 XY 不同处理间多样性指数动态; \*: P < 0.05; \*\*: P < 0.01。

A: Dynamics of biodiversity index between NT1 and XY treatments; B: Dynamics of biodiversity index between NT2 and XY treatments; \*: P < 0.05; \*\*: P < 0.01.

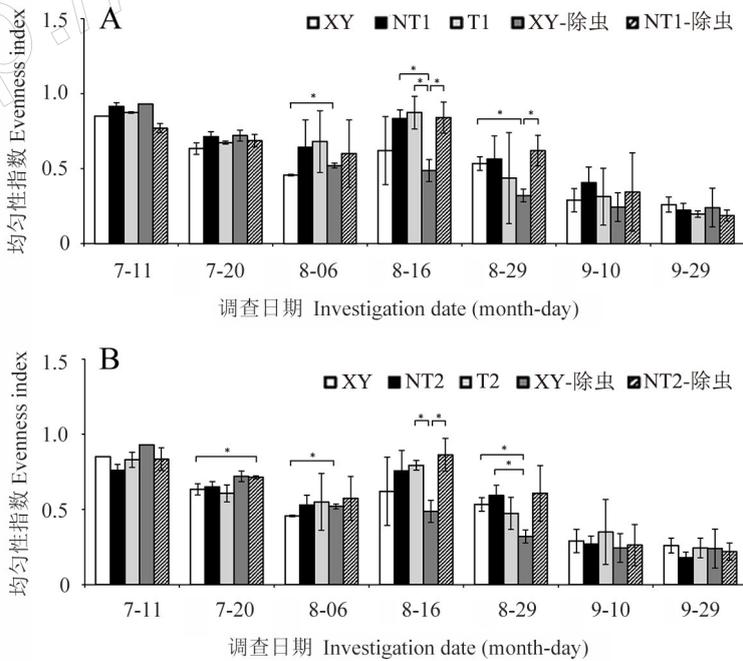


图 4 不同玉米田节肢动物物种均匀性指数动态

Fig.4 The evenness index dynamics of arthropod community in different maize fields

A: NT1 与 XY 不同处理间物种均匀性指数动态; B: NT2 与 XY 不同处理间物种均匀性指数动态; \*: P < 0.05; \*\*: P < 0.01。

A: Dynamics of evenness index between NT1 and XY treatments; B: Dynamics of evenness index between NT2 and XY treatments; \*: P < 0.05; \*\*: P < 0.01.

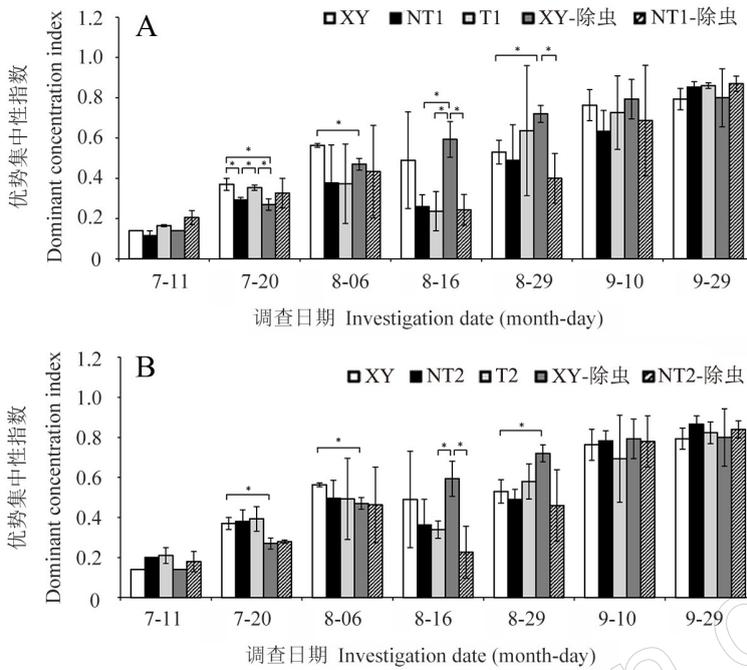


图 5 不同玉米田节肢动物优势集中性指数动态

Fig.5 The dominant concentration index of arthropod community in different maize fields

A: NT1 与 XY 不同处理间优势集中性指数; B: NT2 与 XY 不同处理间优势集中性指数; \* :  $P < 0.05$ ; \*\* :  $P < 0.01$ 。

A: Dynamics of dominant concentration index between NT1 and XY treatments; B: Dynamics dominant concentration index between NT2 and XY treatments; \* :  $P < 0.05$ ; \*\* :  $P < 0.01$ 。

### 2.3 玉米田靶标害虫危害评价

转基因玉米 T1 和 T2 的外源基因为 *cry1Ab* 和 *epsps* 基因,靶标害虫主要包括黏虫 *Mythimna separate Walker*、玉米螟 *Ostrinia furnacalis Guenee* 和棉铃虫 *Helicoverpa armiger Hubner* 等鳞翅目昆虫,分别危害玉米茎秆、穗尖和叶片。在收获前,通过纵剖玉米茎秆、剥穗和观察叶片,量化靶标害虫的危害情况(表 4),发现非转基因玉米叶片平均受害率为 17.8%,茎秆平均受害率为 27.8%,穗尖平均受害

率为 11.5%;喷施化学杀虫剂的非转基因玉米叶片平均受害率为 9%,茎秆平均受害率为 7.7%,穗尖平均受害率为 5.5%;转基因玉米受害率极低,叶片平均受害率仅为 4.5%,茎秆平均受害率仅为 5.7%,穗尖平均受害率仅为 2.3%。其中,T2 与 NT2 的穗尖受害总长度、穗尖受害率和茎秆受害率存在显著差异;T2 的茎秆受害总长度显著低于 NT2-除虫,XY-除虫茎秆受害总长度显著低于 XY。

表 4 靶标害虫对玉米材料危害情况

Table 4 The damage of maize lines by target pests before harvest

试验材料 Experimental material	穗尖 Ear tip			叶片 Leaf		蛀孔数 Number of holes /(个·株 <sup>-1</sup> )	茎秆 Stalk		
	受害总长度 Total length of damage /cm	最长穗尖 被害长度 Maximum length of damaged ear tip/cm	受害率 Damage rates/%	受害总长度 Total length of damage /cm	受害率 Damage rates/%		受害总长度 Total length of damage /cm	最长隧道 长度 Maximum length of tunnel/cm	受害率 Damage rates/%
XY	2.67±2.05ab	1.33±0.94ab	11.00±8.29a	4.33±1.25a	7.00±0.00a	0.03±0.00a	18.67±8.51a	8.33±1.25a	22.33±6.60ab
XY-除虫	3.33±2.05ab	2.33±1.25a	13.33±5.31a	0.67±0.94a	2.33±3.30a	0.00±0.00a	1.83±1.65b	1.67±1.70a	6.67±5.31b
NT1	1.33±1.25ab	1.33±1.25ab	4.67±3.30b	3.17±4.48a	11.00±15.56a	0.06±0.08a	9.17±3.01ab	4.67±5.25a	13.67±9.43b
T1	0.67±0.47ab	0.67±0.47ab	4.67±3.30b	0.33±0.47a	2.33±3.30a	0.00±0.00a	4.00±5.66b	4.00±5.66a	2.33±3.30b
NT1-除虫	1.67±2.40ab	1.00±1.41ab	4.33±6.13b	6.83±6.51a	9.00±2.83a	0.03±0.01a	4.17±5.20b	2.67±3.09a	6.67±5.31b
NT2	4.00±1.63a	2.00±0.82ab	17.67±3.30a	13.67±18.62a	24.67±30.07a	0.12±0.15a	33.00±25.47a	9.83±5.81a	42.00±22.55a
T2	0.00±0.00b	0.00±0.00b	0.00±0.00b	4.00±5.66a	6.67±9.43a	0.02±0.03a	18.17±24.64a	4.83±5.81a	9.00±8.29b
NT2-除虫	1.33±1.25ab	1.00±0.80ab	6.67±5.31b	3.67±5.19a	9.00±12.73a	0.04±0.06a	3.67±3.57b	2.17±2.10a	8.67±6.13b

数据为均值±标准误差,同一列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $p < 0.05$ )。

Data in this table are mean ± SE, and different lowercases after the same column represent significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).

### 2.4 对主要非靶标害虫的影响

本年调查中玉米田间的主要害虫为双斑萤叶甲和玉米蚜,二者先后发生。通过统计分析,得到

整个生育期内玉米植株上的双斑萤叶甲和蚜虫的发生动态。图 6 显示不同处理间均无显著差异。

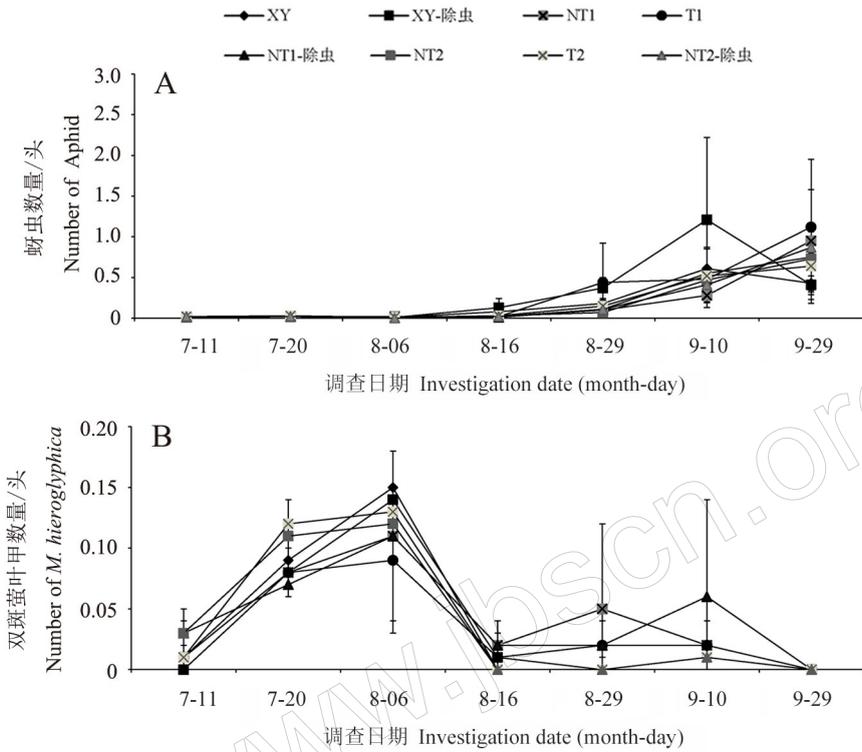


图 6 玉米植株上主要害虫玉米蚜 (A) 和双斑萤叶甲 (B) 的发生动态

Fig.6 The dynamics of major pest populations Aphid (A) and *M. hieroglyphica* (B) on the maize plant

### 3 讨论

转基因抗虫玉米可以有效控制靶标害虫的发生 (Burkness *et al.*, 2001; Chilcutt *et al.*, 2007), 提高农业生产经济效益, 保障国家粮食安全。在我国, 玉米在生育期极易受亚洲玉米螟、黏虫和棉铃虫等鳞翅目害虫的危害, 严重时会导致减产甚至绝收 (王振营和王晓鸣, 2019)。本研究中的转基因玉米品种为同一转基因玉米转化体 DBN9936 与试验地区主栽品种的杂交种。转基因抗虫耐除草剂玉米 DBN9936 能有效防控田间鳞翅目靶标害虫的发生, 降低了除草剂和杀虫剂的使用量, 同时减少了农业生产活动对环境造成的破坏, 提高了农业生产的经济效益, 为绿色农业的可持续发展增添了新动力 (Liang *et al.*, 2021)。本研究结果表明本次评估的 2 个转基因抗虫玉米转化体可以降低叶片蛀孔数、茎秆被害长度及穗尖被害长度等鳞翅目害虫的危害指标。转基因玉米抗虫效果与常规玉米没有显著差异的原因可能与本次调查过程中的害虫危害情况不严重有关。往往在虫压相对较小时, 转基因

品种有能降低鳞翅目靶标害虫发生的趋势, 但与非转基因品种无显著差异 (秦勤, 2016; 张富丽等, 2012), 而在虫压相对较大时, 转基因品种的抗虫优势才能明显显现 (张富丽等, 2012)。

转基因玉米 (T1/T2) 与使用化学杀虫剂的非转基因玉米 (NT1-除虫/NT2-除虫) 均有能降低靶标害虫发生的趋势。虽然如此, 但化学杀虫剂防治时间滞后, 无法控制实际减产 (孙红炜等, 2021); 且使用杀虫剂生产成本投入较高, 污染环境, 不能适应农业绿色高质量发展的需要 (李国平和吴孔明, 2022), 还可能会影响节肢动物生物多样性 (郑许松等, 2006; Arfan *et al.*, 2018)。转基因作物由于自身转入了外源基因, 可以持续性地表达抗虫蛋白, 因此在害虫发生早期就能对其进行有效控制, 避免了害虫的大规模危害, 减少了农药对天敌的毒害并保护了环境 (孙红炜等, 2021); 且绝大多数研究结果显示, 转基因作物的种植对节肢动物多样性无显著影响 (陈景超等, 2021; 高越, 2020; 马燕婕等, 2019; 张洵铭等, 2018; Lee, 2021; Liang *et al.*,

2021; Marques *et al.*, 2018), 或者转基因作物对节肢动物多样性的影响要小于化学杀虫剂, 有利于节肢动物群落保持一定的稳定性(刘志诚等, 2004; Reed *et al.*, 2001)。本次调查结果为此观点提供数据支持。

本研究中转基因玉米种植的整体表现符合预期, 也与同类研究结果相似, 不同处理玉米田的各类多样性指数随时间变化的趋势基本一致, 各类多样性指数在部分时间点的波动可能是由于个别害虫(双斑萤叶甲和蚜虫)的集中暴发或者天气的影响。但是, 转基因玉米的生物安全评价是一个长期研究的过程, 需要进行多次多年多点的检测, 才能获得更加全面可靠的试验数据。

### 参考文献

- 陈景超, 崔海兰, 于海燕, 李政, 贾芳, 李香菊, 2021. 抗草甘膦转基因大豆‘ZH10-6’对田间生物多样性的影响. 植物保护, 47(3): 109-114, 121.
- 陈彦君, 关潇, 任梦云, 2020. 转 *Cry1Ab* 基因抗虫玉米 HGK60 对田间节肢动物及杂草多样性的影响. 应用生态学报, 31(12): 4180-4188.
- 高越, 2020. 转 *cry1Ab* 基因玉米对非靶标节肢动物多样性的影响及抗虫性的评价. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.
- 戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. 应用昆虫学报, 51(3): 597-605.
- 国际农业生物技术应用服务组织, 2021. 2019 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, 41(1): 114-19.
- 何浩鹏, 任振涛, 沈文静, 刘标, 薛堃, 2018. 耐除草剂转基因玉米对田间节肢动物群落多样性的影响. 生态与农村环境学报, 34(4): 333-341.
- 蒋田田, 文君慧, 2021. 我国抗除草剂转基因作物面临的机遇和挑战. 安徽农业科学, 49(22): 239-242.
- 焦悦, 韩宇, 杨桥, 黄耀辉, 安吉翠, 杨亚洲, 叶纪明, 2021. 全球转基因玉米商业化发展态势概述及启示. 生物技术通报, 37(4): 164-176.
- 李东阳, 朱香镇, 张开心, 王丽, 姬继超, 牛林, 高雪珂, 雒珺瑜, 崔金杰, 2022. 转基因抗虫作物对捕食性瓢虫的安全性研究进展. 生物安全学报, 31(3): 203-209.
- 李国平, 刘冰, 黄建荣, 邱峰, 封洪强, 2019. 转聚合 *cry1A*. 105、*cry2Ab2* 和 *cp4epsps* 基因抗虫耐除草剂玉米的田间抗性评价. 植物保护, 45(1): 142-147.
- 李国平, 吴孔明, 2022. 中国转基因抗虫玉米的商业化策略. 植物保护学报, 49(1): 17-32.
- 梁晋刚, 张旭冬, 毕研哲, 王颢潜, 张秀杰, 2021. 转基因抗虫玉米发展现状与展望. 中国生物工程杂志, 41(6): 98-104.
- 刘来盘, 沈文静, 薛堃, 刘标, 2020. 转 *g10-epsps* 基因耐除草剂大豆 ZUTS-33 对农田生物多样性的影响. 应用生态学报, 31(1): 122-128.
- 刘志诚, 叶恭银, 胡萃, 2004. 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, 15(12): 2309-2314.
- 马燕婕, 何浩鹏, 沈文静, 刘标, 薛堃, 2019. 转基因玉米对田间节肢动物群落多样性的影响. 生物多样性, 27(4): 419-432.
- 秦琴, 2016. 不同生境下转 *Bt* 基因棉花的适合度. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.
- 沈文静, 刘来盘, 方志翔, 张莉, 刘标, 2021. 转基因杨树林下种植转基因棉花对转基因杨棉复合系统内节肢动物群落多样性的影响. 昆虫学报, 64(10): 1187-1195.
- 孙红炜, 徐晓辉, 李凡, 杨淑珂, 路兴波, 2021. 转基因玉米双抗 12-5-21 的抗虫性及对草甘膦的耐受性. 生物安全学报, 30(1): 43-49.
- 孙越, 刘秀霞, 李丽莉, 官赞赞, 张举仁, 2015. 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, 48(2): 215-228.
- 王成, 姚俊津, 高越, 王雅偲, 解美霞, 赵新, 兰青阔, 王永, 2021. 转 *g2-epsps* 和 *gat* 基因的耐除草剂大豆 ZH10-6 对田间生物多样性的影响. 中国油料作物学报, 43(1): 141-148.
- 王振营, 王晓鸣, 2019. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策. 植物保护, 45(1): 1-11.
- 吴孔明, 刘海军, 2014. 中国转基因作物的环境安全评介与风险管理. 华中农业大学学报, 33(6): 112-114.
- 杨益众, 陆宴辉, 薛文杰, 刘洋, 杨海燕, 李晓慧, 王峰, 余月书, 2006. 转基因棉田棉蚜种群动态及相关影响因素分析. 昆虫学报, 49(1): 80-85.
- 叶绵圳, 黄芩, 邓贵仲, 代欢, 李梦寒, 2020. 基于文献计量学的中国转基因玉米研究进展. 贵州农业科学, 48(3): 169-172.
- 尹俊琦, 武奉慈, 周琳, 宋新元, 2017. 转 *cry1Ac* 基因抗虫玉米 Bt-799 对田间节肢动物群落多样性的影响. 生物安全学报, 26(2): 159-167.
- 张富丽, 刘勇, 佟洪金, 尹全, 陶李, 王东, 周西全, 常丽娟, 宋君, 刘文娟, 雷绍荣, 郭灵安, 2012. 不同虫压下转 *Bt* 基因水稻与非转基因水稻生态适合度差异. 应用与环境生物学报, 18(1): 35-41.
- 张润铭, 崔彦泽, 王柏凤, 宋新元, 王军, 2018. 转 *cry1Ab*/

- cry2Aj* 和 *G10evo-epsps* 基因玉米 12-5 对田间节肢动物群落的影响. 延边大学农学学报, 40(3): 22-28.
- 张彦琴, 2015. 玉米转基因技术研究现状及发展趋势. 安徽农业科学, 43(32): 197-199.
- 郑许松, 吕仲贤, 俞晓平, 王济良, 裘列群, 陈建明, 徐红星, 陈列忠, 张珏锋, 2006. 氮肥和杀虫剂稻田生物多样性及稻飞虱和天敌的影响. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- 邹俊杰, 徐妙云, 张兰, 罗彦忠, 刘源, 郑红艳, 王磊, 2022. 转基因抗虫、耐除草剂及品质改良复合性状玉米 BBHTL8-1 的分子特征及功能评价. 中国农业科技导报, 24(2): 77-85.
- ALBAJES R, LUMBIERRES B, PONS X, COMAS J, 2013. Representative taxa in field trials for environmental risk assessment of genetically modified maize. *Bulletin of Entomological Research*, 103(6): 724-733.
- ARFAN, ANSHARY A, BASRI Z, TOANA H, 2018. Effect of chemical insecticides on the arthropod diversity in the agroecosystem of red onion crops. *Asian Journal of Crop Science*, 10(3): 107-114.
- BHATTI M A, JIAN D, HEAD G P, JIANG C, MCKEE M J, NICKSON T E, PILCHER C L, PILCHER C D, 2005. Field evaluation of the impact of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae)-protected *Bt* corn on foliage-dwelling arthropods. *Environmental Entomology*, 34(5): 1336-1345.
- BURKNESS E C, HUTCHISON W D, BOLIN P C, BARTELS D W, WARNOCK D F, DAVIS D W, 2001. Field efficacy of sweet corn hybrids expressing a *Bacillus thuringiensis* toxin for management of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 94(1): 197-203.
- CHILCUTT C F, ODVOGY G N, CARLOS C J, JEFF R, 2007. Effects of *Bacillus thuringiensis* transgenic corn on corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) densities. *Journal of Economic Entomology*, 100(2): 327-334.
- COMAS C, LUMBIERRES B, PONS X, ALBAJES R, 2014. No effects of *Bacillus thuringiensis* maize on nontarget organisms in the field in southern Europe: a meta-analysis of 26 arthropod taxa. *Transgenic Research*, 23(1): 135-143.
- EFSA, 2010. Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. *EFSA Journal*, 8(11): 1879.
- JAN L, 2015. Public acceptance of plant biotechnology and GM crops. *Viruses*, 7(8): 4254-4281.
- LEE S Y, 2021. Effects of *Bt* rice expressing *cry1Ac* on ecological functional guilds and community of non-target insects. *Entomological Research*, 51(4): 196-205.
- LIANG J G, ZHANG D D, LI D Y, ZHAO S Y, WANG C Y, XIAO Y T, XU D, YANG Y Z, LI G P, WANG L L, 2021. Expression profiles of *cry1Ab* protein and its insecticidal efficacy against the invasive fall armyworm for Chinese domestic GM maize DBN9936. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 12.
- MARQUES L H, SANTOS A C, CASTRO B A, STORER N P, BABCOCK J M, LEPPING M D, VERISSIMO S, MOSCARDINI V F, RULE D M, FERNANDES O A. 2018. Impact of transgenic soybean expressing *cry1Ac* and *cry1F* proteins on the non-target arthropod community associated with soybean in Brazil. *PLoS ONE*, 13(2): e0191567.
- REED G L, JENSEN A S, RIEBE J, HEAD G, DUAN J J, 2001. Transgenic *Bt* potato and conventional insecticides for Colorado potato beetle management: comparative efficacy and non-target impacts. *Entomologia experimentalis et applicata*, 100(1): 89-100.
- SHETTY M J, CHANDAN K, HC K, APARNA G S, 2018. Genetically modified crops: an overview. *AkiNik Publications*, 7(1): 2405-2410.

(责任编辑:郭莹)