

DOI: 10.20103/j.stxb.202309262085

陈彦君, 张瑜函, 傅博, 潘丽波, 邢世平, 肖能文, 关潇. 转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 对田间节肢动物多样性的影响. 生态学报, 2024, 44(16): 7360-7370.

Chen Y J, Zhang Y H, Fu B, Pan L B, Xing S P, Xiao N W, Guan X. Impact of transgenic insect-resistant maize HGK60 with *Cry1Ah* gene on biodiversity of arthropods in the fields. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(16): 7360-7370.

转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 对田间节肢动物多样性的影响

陈彦君¹, 张瑜函³, 傅博², 潘丽波¹, 邢世平¹, 肖能文¹, 关潇^{1,*}

1 中国环境科学研究院国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012

2 生态环境部机关服务中心, 北京 100006

3 桓台县公园城市管理服务中心, 淄博 256400

摘要:在常规作物中引入有益目的基因得到的转基因作物, 可以为人类社会提供可持续的农业和经济效益, 但其大面积种植可能带来的环境安全问题也得到了越来越多的关注。以转 *Cry1Ah* 基因玉米 HGK60 和对照常规玉米郑 58 为研究对象, 采用直接观测法、陷阱调查法和扫网法, 在 2019—2021 连续 3 年对苗期、喇叭口期、抽穗期和完熟期玉米田间节肢动物进行调查, 分析其群落组成、生态指标、群落相似性及稳定性等。结果表明: (1) 调查共获得 124 种 48746 个体, 隶属于 11 目 40 科, 除中性类群个体数在 2019 年抽穗期存在显著差异 ($P < 0.05$), HGK60 与郑 58 在植食性、捕食性、寄生性以及中性 4 个类群的个体数量和种数没有显著差异 ($P > 0.05$), 且不同类群的个体数和物种数在 3 年各生育期所占比重基本一致。(2) 对丰富度指数、Shannon 指数、优势度指数和均匀度指数的分析显示, HGK60 和郑 58 在 3 年各生育期均未表现出显著差异 ($P > 0.05$), 认为 HGK60 的种植对田间节肢动物各生态指标无显著影响。(3) 从整体及各营养类群来看, HGK60 与郑 58 相似系数较高, 认为二者田间节肢动物群落组成相似。(4) HGK60 种植对节肢动物群落的相对稳定性没有显著影响 ($P > 0.05$)。整体上, HGK60 种植对田间节肢动物群落生物多样性的影响很小。研究结果为进一步研究转基因作物的环境风险提供了数据支撑。

关键词:转基因玉米; 环境安全; 节肢动物群落; 生态指标; 相似系数; 稳定性

Impact of transgenic insect-resistant maize HGK60 with *Cry1Ah* gene on biodiversity of arthropods in the fields

CHEN Yanjun¹, ZHANG Yuhan³, FU Bo², PAN Libo¹, XING Shiping¹, XIAO Nengwen¹, GUAN Xiao^{1,*}

1 State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2 Government Service Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100006, China

3 Huantai County Park City Management Service Center, Zibo 256400, China

Abstract: The introduction of genetically modified crops with beneficial target genes into conventional crops can provide sustainable agricultural and economic benefits for human society, but the environmental safety problems that may be brought about by its large-scale cultivation have been widely concerned. In this study, HGK60, a transgenic maize with *Cry1Ah* gene, and Zheng 58, a control conventional maize, were investigated in seedling stage, bell stage, heading stage and full ripe stage from 2019 to 2021 by direct observation method, trap investigation method and net sweeping method, and their community composition, ecological indices, community similarity and stability were analyzed. Results showed that: (1) A

基金项目: 国家科技重大专项 (2016ZX08012005)

收稿日期: 2023-09-26; 网络出版日期: 2024-06-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cynthia815@126.com

total of 48746 individuals of 124 species belonging to 11 orders and 40 families were obtained. Except for the neutral group at heading stage in 2019, there was no significant difference in the number of individuals and species between HGK60 and Zheng 58 in the four groups of herbivorous, predatory, parasitic and neutral ($P > 0.05$). Moreover, the number of individuals and species of different group accounted for the same proportion at each growth period in 3 years. (2) The analysis of richness index, shannon index, dominance index and evenness index showed that there was no significant difference between HGK60 and Zheng 58 at each growth period in 3 years ($P > 0.05$), and it was concluded that the planting of HGK60 had no significant effect on the ecological indices of arthropods in the field. (3) From the perspective of the whole and each trophic group, the similarity coefficient of HGK60 and Zheng 58 was higher, and it was believed that the arthropod community composition of HGK60 and Zheng 58 was similar. (4) The planting of HGK60 had no significant effect on the relative stability of arthropod communities ($P > 0.05$). Overall, the planting of HGK60 had little effect on the biodiversity of arthropod communities in the fields. The results provide data support for further research on the environmental risks of genetically modified crops.

Key Words: transgenic maize; environmental safety; arthropod community; ecological index; similarity coefficient; stability

最新报告显示,全球转基因作物的种植面积已从 1996 年的 170 万 hm^2 增加到 2022 年的 2.022 亿 hm^2 ,增长了约 112 倍,极大地提高了全球农作物生产力^[1]。转基因作物在带来显著经济效益的同时,其可能带来的环境安全性问题也越来越多的受到关注,种植后是否会对生态环境造成影响还需要进行长期、全方位的安全性测定。迄今为止,已经报道了一些转基因作物商业种植引发的相关农业的问题^[2],例如,靶标昆虫抗性的产生^[3-5]、“超级杂草”^[6]、对非靶标生物的影响^[7]等。

节肢动物作为生态系统的重要组成部分,在食物链构建、生物防治、授粉和有机物分解等方面都发挥了重要作用,是维持农田生态系统功能的重要参与者^[8-10],对其多样性的评估是转基因作物环境安全评价的重要环节之一。*Cry1Ah* 蛋白是一种来自 *Bt* 亚种的杀虫基因,对鳞翅目昆虫表现出极大的毒性,杀虫效率高于 *Cry1Ab*、*Cry1Ac* 等,但是对家蚕等经济昆虫的毒性却相对较低^[11]。本研究以转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 为研究对象,研究了其种植对田间节肢动物的影响,以期用更加详实的数据为转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 的环境安全评价提供数据支撑,为生物安全管理健康发展贡献力量。

1 试验区概况

试验区位于河北省廊坊市中国农业科学院国际农业高新技术产业园(116°36'34"E,39°36'10"N),属暖温带大陆性季风气候,年均气温约 11.9℃,年平均降水量为 554.9 mm,降水多集中于夏季,年平均日照时数约 2660 h。该基地为农业农村部已认定的农业转基因生物试验基地,符合《农业转基因生物安全管理通用要求试验基地》(农业部 2406 号公告-3—2016)相关规定。

2 材料与方法

2.1 供试材料与实验设计

选用玉米品种为中国农业科学院生物技术研究所(北京)提供的转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60(简称“HGK60”)及其对照常规玉米郑 58(亲本,简称“郑 58”)。以 HGK60 为试验组,以郑 58 为对照组,采取随机区组设计,两个处理均设置 6 个重复(10 m×10 m),不同处理间设置 1 m 隔离带,采用一穴一粒、一穴两粒的循环播种方式进行玉米播种,保持种植行距 60 cm,株距 25 cm,田间管理同当地玉米常规种植,种植时间为 2019 年、2020 年和 2021 年 5 月初。

2.2 样品的采集与处理

采用直接观测法、陷阱调查法和扫网法^[12],连续 3 年在玉米生长期的苗期、喇叭口期、抽穗期和成熟期,

按照五点采样法进行田间节肢动物样本的采集,每个生育期分别进行 3 次。

直接观察法:每点选择 15 株玉米,调查植株上节肢动物种类和数量;陷阱调查法:每点埋设 5 个塑料杯(直径 7.5 cm,间隔 0.5 m),其中放置 1/3 防冻液(5%),保持杯口与地面平齐,24 h 后调查杯中节肢动物的种类和数量并记录。扫网法采样时间为 16:00—19:00^[12],每个点随机抽检 10 株玉米,采用直径 30 cm 的防虫网,对玉米植株茎叶自上而下取样 10 次。将所有标本放入含 70%酒精的瓶中,带回实验室,进行物种鉴定与统计^[13]。按其在食物链中的位置(营养水平)大致分为四个类群:植食性、捕食性、寄生性和中性类群(包括腐生类和对植物无危害、不食其他昆虫的类群)。蛛形纲(Arachnida)的物种被划分为捕食类群^[14]。

2.3 数据处理与分析

统计分析玉米各生育期田间节肢动物的群落结构与组成,计算各生态学指数。

(1) Margalef 指数: $Dmg = (S - 1) / \ln N$

(2) Shannon 指数: $H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$

(3) 优势度指数: $\lambda = \sum_{i=1}^s P_i^2$

(4) 均匀度指数: $J = H / \ln S$

式中: S 为物种数; $P_i = N_i / N$, 其中 N_i 为第 i 种物种的个体数, N 为总个体数。

群落相似性系数: $C' = 2W / (a + b)$, 其中 W 是 HGK60 和郑 58 共有物种数量, a 是 HGK60 的物种总数, b 是郑 58 的物种总数。 $0.75 \leq C' < 1.0$ 表示非常相似, $0.5 \leq C' < 0.75$ 表示中等相似, $0.25 \leq C' < 0.5$ 表示中等差异, $0 < C' < 0.25$ 表示差异较大^[15]。

用 $Nn/Np/Nd/Np/Sn/Sp/Sd/Sp$ 值反应节肢动物群落中天敌类群和中性类群对植食性类群的调控作用。其中, Nn 、 Np 、 Nd 分别表示天敌类群、植食性类群、中性类群个体数, Sn 、 Sp 、 Sd 分别代表天敌类群、植食性类群、中性类群物种数^[16]。天敌类群包括捕食性、寄生性天敌。

利用 Excel 2010 软件进行数据整理,利用 SPSS 16.0 软件分析两处理差异(t -test)。

3 结果与分析

3.1 田间节肢动物群落组成

调查 2019—2021 年 HGK60 与郑 58 玉米田间节肢动物,共记录 11 目 40 科 124 种 48746 头(表 1)。比较同一生育期 HGK60 与郑 58 玉米田间节肢动物数量,螟蛾科在 2021 年抽穗期、完熟期表现为 HGK60 与郑 58 差异显著($P < 0.05$);盲蝽科、姬蝽科、草蛉科仅在 2019 年抽穗期表现为 HGK60 显著高于郑 58($P < 0.05$);蝗科仅在 2021 年苗期表现为二者差异显著($P < 0.05$);实蝇科仅在 2021 年抽穗期表现为二者差异显著($P < 0.05$);食蚜蝇科、园蛛科仅在 2021 年完熟期表现为二者差异显著($P < 0.05$)。其他物种及生育期均表现为 HGK60 与郑 58 差异不显著($P > 0.05$)(图 1)。

表 1 田间节肢动物群落的目、科、种分布

Table 1 Patterns of the arthropod community in different orders, families and species

目 Orders	科 Families	种 Species
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	玉米螟 <i>Pyrausta nubilalis</i> 、二化螟 <i>Chilo suppressalis</i> 、三化螟 <i>Scirpophaga incertulas</i> 、褐边螟 <i>Catagela adjurella</i> 、桃蛀螟 <i>Conogethes punctiferalis</i> 、葡萄卷叶野螟 <i>Pyralidae</i> 、稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> 、二点螟 <i>Chilo infuscatellus</i>
	弄蝶科 Hesperidae	小黄斑弄蝶 <i>Ampittia dioscorides</i>
	粉蝶科 Pieridae	菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> 、山楂绢粉蝶 <i>Aporia crataegi</i>
	羽蛾科 Pterophoridae	<i>Pterophorus monodactylus</i>
半翅目 Hemiptera	盲蝽科 Miridae	绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i> 、华氏卵盲蝽 <i>Cyrtorrhinus chinensis</i> 、小赤须盲蝽 <i>Tenuis</i> 、苜蓿盲蝽 <i>Adelphocoris lineolatus</i> 、三点盲蝽 <i>Adelphocoris fuscicollis</i>
	姬蝽科 Nabidae	华姬蝽 <i>Nabis sinoferus</i> 、 <i>Gorpius brevilineatus</i>

续表

目 Orders	科 Families	种 Species
同翅目 Homoptera	长蝽科 Lygaeidae	横带红长蝽 <i>Lygaeus equestris</i> 、红脊长蝽 <i>Tripidothorax elegans</i> Distant、大眼长蝽 <i>Geocoris pallidipennis</i>
	花蝽科 Anthocoridae	<i>Orius similis</i> 、东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i> 、微小花蝽 <i>Orius minutus</i>
	猎蝽科 Reduviidae	<i>Coranus lativentris</i> 、 <i>Haematolochea nigrorufa</i> 、 <i>Oncocephalus confusus</i>
	缘蝽科 Coreidae	点蜂缘蝽 <i>Riptortus pedestris</i> 、南瓜缘蝽 <i>Cores marginatus</i> 、茶色赭缘蝽 <i>Ochrochira camelina</i>
	飞虱科 Delphacidae	白背飞虱 <i>Sogatella furcifera</i> 、长绿飞虱 <i>Saccharosydne procerus</i> 、白条飞虱 <i>Terthron albivittata</i> 、褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i> 、拟褐飞虱 <i>Nilaparavata bakeri</i> 、伪褐飞虱 <i>Nilaparvata muii</i> 、灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i>
直翅目 Orthoptera	叶蝉科 Cicadellidae	大青叶蝉 <i>Cicadella viridis</i> 、黑尾叶蝉 <i>Nephotettix bipunctatus</i> 、电光叶蝉 <i>Inazuma dorsalis</i> 、白翅叶蝉 <i>Thaia rubiginosa</i> 、一点叶蝉 <i>Erythroneura sudra</i> 、四点叶蝉 <i>Macrostes quadrimaculata</i> 、二点叶蝉 <i>Cotton leafhopper</i> 、小绿叶蝉 <i>Jacobiasca formosana</i> 、大白叶蝉 <i>Tettigoniella spectra</i>
	蚜科 Aphidoidea	玉米蚜 <i>Rhopalosiphum maidis</i> 、麦长管蚜 <i>Sitobion avenae</i> 、桃蚜 <i>Myzus persicae</i> 、油菜蚜 <i>Lipaphis erysimi pseudobrassicae</i>
	木虱科 Psyllidae	中国梨木虱 <i>Psyllia chinensis</i> 、桑木虱 <i>Anomoneura mori</i> Schwarz
	蟋蟀科 Gryllidae	北京油葫芦 <i>Telegryllus emma</i> 、大扁头蟋 <i>Loxoblemmus doenitzi</i> Stein
脉翅目 Neuroptera	蝗科 Acrididae	亚洲小车蝗 <i>Oedaleus decorus asiaticus</i> 、日本黄脊蝗 <i>Patanga japonica</i> 、中华蚱蜢 <i>Acrida cinerea</i> 、东亚飞蝗 <i>Locusta migratoria manilensis</i>
	蚱科 Tetrigoidea	花胫绿纹蝗 <i>Aiolopus tamulus</i> 、菱蝗 <i>Tetrigid</i> 、平背棘菱蝗 <i>Eucrotettix oculatus</i>
	草蛉科 Chrysopidae	中华通草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i> 、大草蛉 <i>Chrysopa pallens</i> 、丽草蛉 <i>Chrysopa formosa</i> Brauer、多斑草蛉 <i>Chrysopa intima</i>
鞘翅目 Coleoptera	步甲科 Carabidae	黄斑青步甲 <i>Chlaenius micans</i> Fabricius、中华星步甲 <i>Calosoma Chinese</i> 、后斑青步甲 <i>Chlaenius Posticalis</i> 、一棘婪步甲 <i>Scarites terricola</i> 、毛婪步甲 <i>Harpalus griseus</i>
缨翅目 Thysanoptera	瓢虫科 Staphylinidae	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i> 、异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i> 、二星瓢虫 <i>Adalia bipunctata</i> 、十二星瓢虫 <i>Henosepilachna pusillanima</i> 、 <i>Coccinella septempunctata</i> 、 <i>Adonia variegata</i>
	隐翅虫科 Staphylinidae	<i>Paederus fuscipes</i>
	蓟马总 Thripidae	禾蓟马 <i>Frankliniella tenuicornis</i> 、西花蓟马 <i>Frankliniella occidentalis</i>
双翅目 Diptera	食蚜蝇 Syrphidae	<i>Dideopsis aegrotus</i> 、 <i>Eristalis tenax</i> 、 <i>Sphaerophoria</i> sp.、 <i>Bacch maculata</i>
	实蝇科 Tephritidae	瓜实蝇 <i>Bactrocera cucurbitae</i> 、柑橘大实蝇 <i>Bactrocera Minax</i>
	寄蝇科 Tachinidae	<i>Exorista civilis</i> 、 <i>Lydella grisea</i> 、 <i>Cuphocera varia</i>
	蝇科 Muscidae	<i>Musca domestica</i> 、厩腐蝇 <i>Muscina stabulans</i> 、厩螫蝇 <i>Stomoxys calcitrans</i> 、夏厕蝇 <i>Fannia canicularis</i>
蜻蜓目 Odonata	果蝇科 Drosophilidae	黑腹果蝇 <i>Drosophila melanogaster</i> 、拟暗果蝇 <i>D.pseudoobscura</i>
	麻蝇科 Sarcophagidae	肥须亚麻蝇 <i>Parasarcophaga crassipalpis</i> 、拟对岛亚麻蝇 <i>Parasarcophaga (Kanoisca) kanoi</i>
	螳螂科 Coenagrionidae	<i>Ischnura asiatica</i> 、 <i>Ischnura elegans</i>
膜翅目 Hymenoptera	姬蜂科 Ichneumonidae	<i>Charops bicolor</i> 、 <i>Vulgichneumon leucaniae</i> 、 <i>Campoletis chloridae</i> 、 <i>Coccygomimus disparis</i> 、 <i>Diplozon laetatorius</i> 、 <i>Butenyacra picta</i>
	赤眼科 Trichogrammatidae	<i>Trichogramma ostrinae</i>
	跳小蜂科 Encyrtidae	<i>Aphidencyrus aphidivorus</i>
	青蜂科 Chrysididae	<i>Chrysis shanghaiensis</i>
	泥蜂科 Sphecidae	<i>Sceliphron deform</i> 、 <i>Sphex umbrosus</i> 、
	金小蜂科 Pteromalidae	<i>Dibrachys xavus</i>
	缨小蜂科 Mymaridae	<i>Lymaenon</i> sp.
	茧蜂科 Braconidae	<i>Macrocentrus cingulum</i>
	园蛛科 Araneidae	大腹园蛛 <i>Araneus ventricosus</i> 、 <i>Araneus ejusmodi</i> 、 <i>Araneus yuanminensis</i> 、银背艾蛛 <i>Cyclosa argenteoalba</i> 、八瘤艾蛛 <i>Cyclosa octotuberculata</i> 、黄褐新园蛛 <i>Neoscone doenitzi</i> 、茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>
	蟹蛛科 Thomisidae	<i>Misumenops tricuspidatus</i> 、 <i>Xysticus ephippiafus</i>
蜘蛛目 Araneae	跳蛛科 Salticidae	<i>Marpissa elongata</i> 、 <i>Myrmarachne formicaria</i> 、 <i>Sitticus sinensis</i>

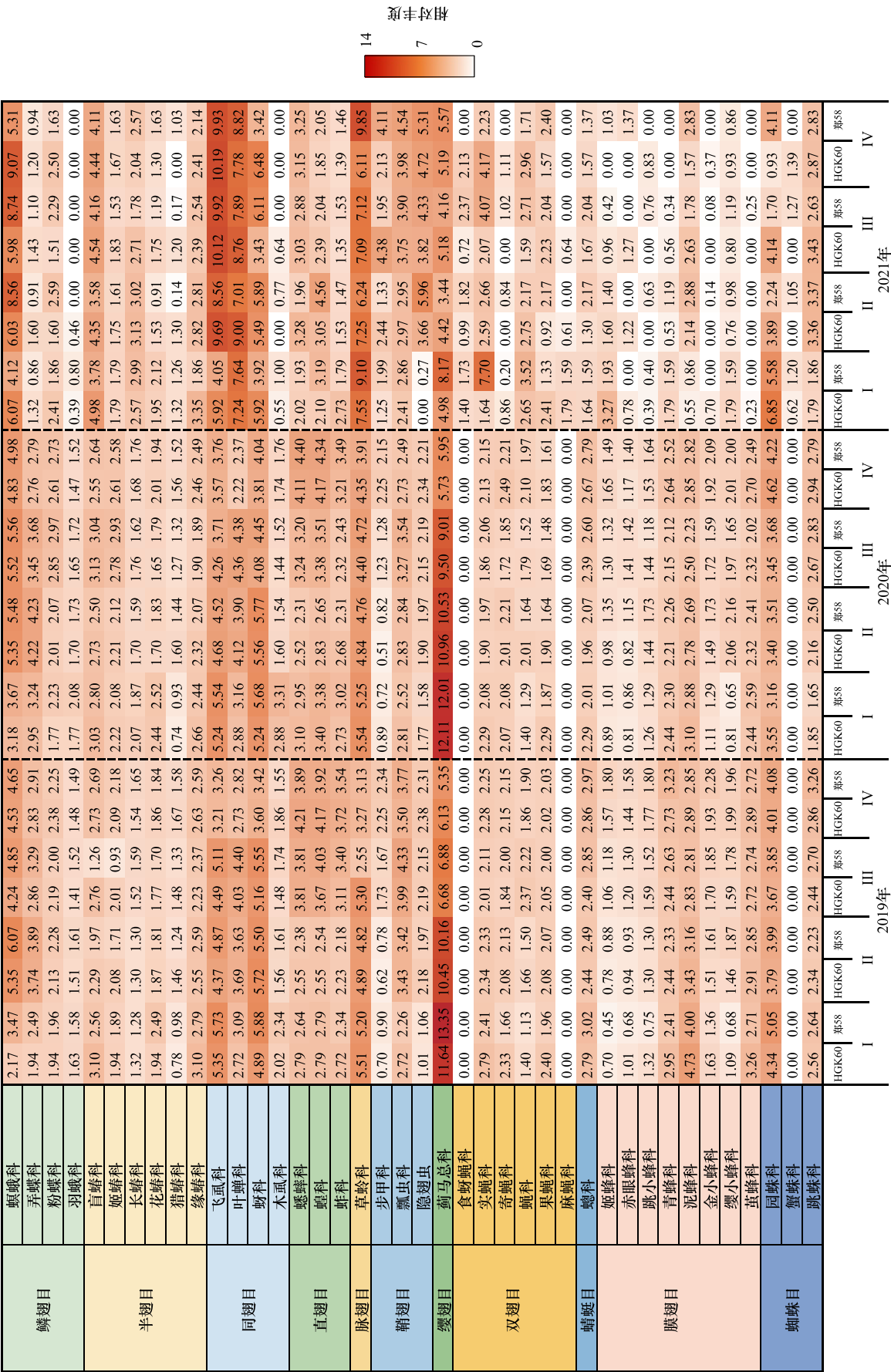


图1 田间节肢动物相对丰度聚类热图
The cluster heatmap of relative abundance of arthropods in the fields

I, 苗期 Seedling stage; II, 喇叭口期 Bell stage; III, 抽穗期 Heading stage; IV, 完熟期 Full ripe sta

对不同营养类群田间节肢动物的物种数和个体数进行统计分析(图2)。植食性、捕食性和寄生性类群分析结果显示,连续3年各生育期 HGK60 与郑 58 在物种数和个体数上均没有显著差异($P>0.05$)。对于中性类群, HGK60 与郑 58 田间节肢动物的物种数在各种生育期均无显著差异($P>0.05$),其个体数仅在 2019 年的抽穗期表现为 HGK60 显著高于郑 58($P<0.05$)。总体上, HGK60 种植对田间节肢动物各营养类群的种类数和个体数均无显著影响($P>0.05$)。进一步研究不同营养类群节肢动物物种数与个体数在田间节肢动物中所占比例,植食性类群的物种数在两种玉米田间节肢动物群落中所占比例最大,寄生性类群、中性类群的物种数相对较少。各类群节肢动物个体数亦表现为植食性类群最多,捕食性次之,寄生性和中性类群相对较少。同一年份同一生育期, HGK60 与郑 58 田间各类群节肢动物物种数和个体数所占比例基本保持一致(图3)。

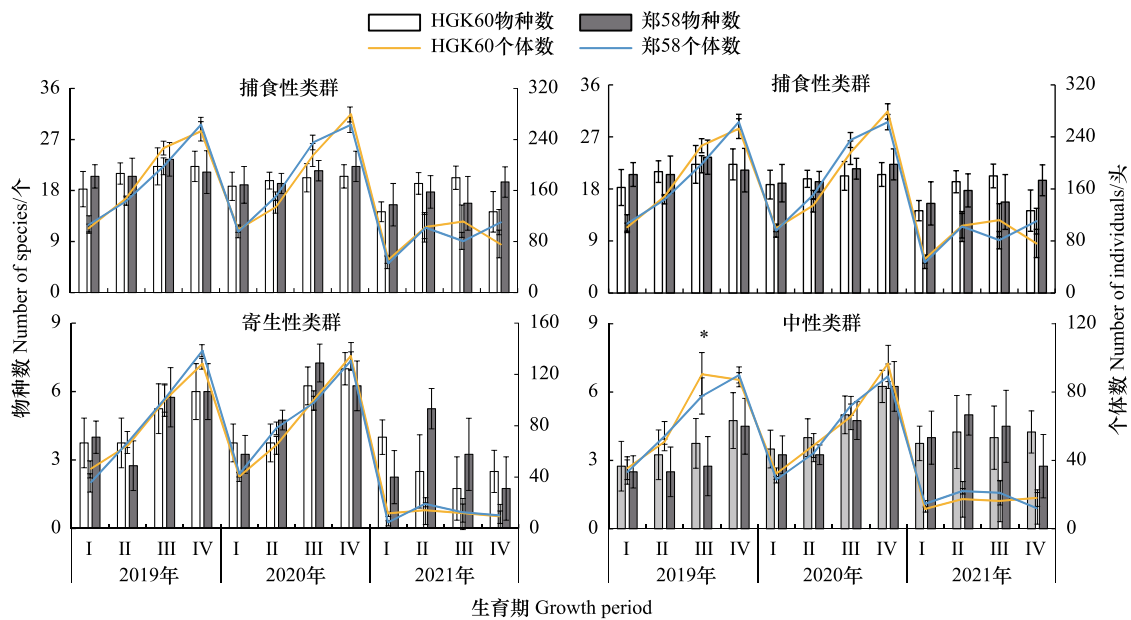


图2 田间各营养类群节肢动物物种数和个体数

Fig.2 Species number and individual number of four groups of arthropods in the fields

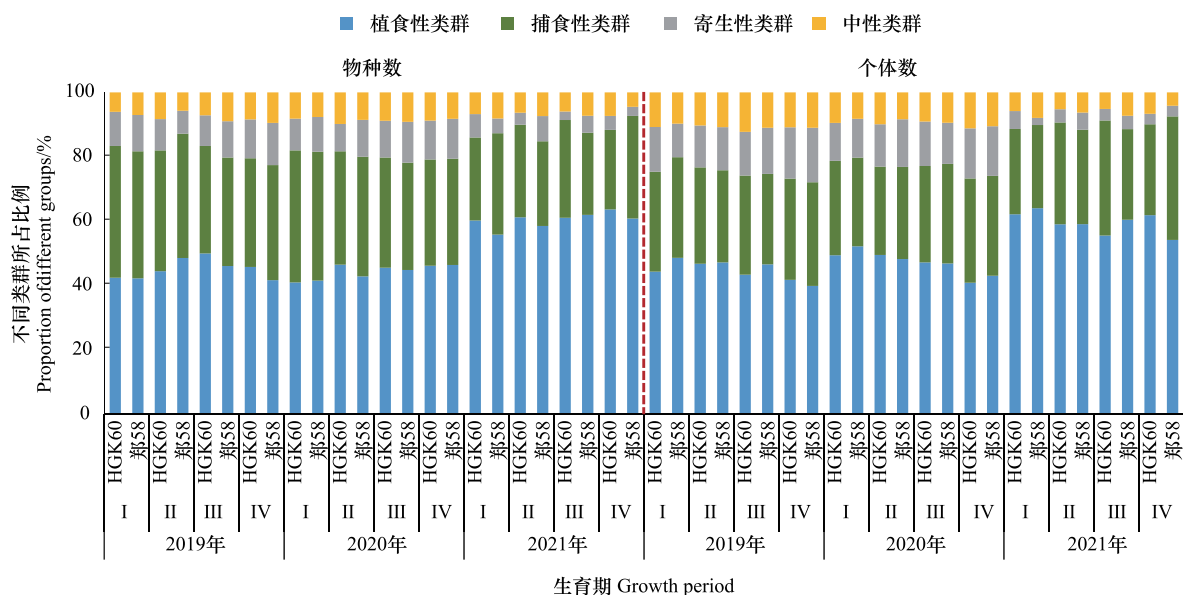


图3 田间节肢动物物种数和个体数的百分比

Fig.3 The percentage of the species number and individual number of arthropods

3.2 田间节肢动物群落生态指标

选取丰富度指数、Shannon 指数、优势度指数和均匀度指数对 HGK60 与郑 58 田间节肢动物生态指标进行分析,结果显示 2019—2021 连续 3 年的各生育期 HGK60 和郑 58 在各指数均未表现出显著差异($P>0.05$),认为 HGK60 的种植对田间节肢动物各生态指标无显著影响(图 4)。

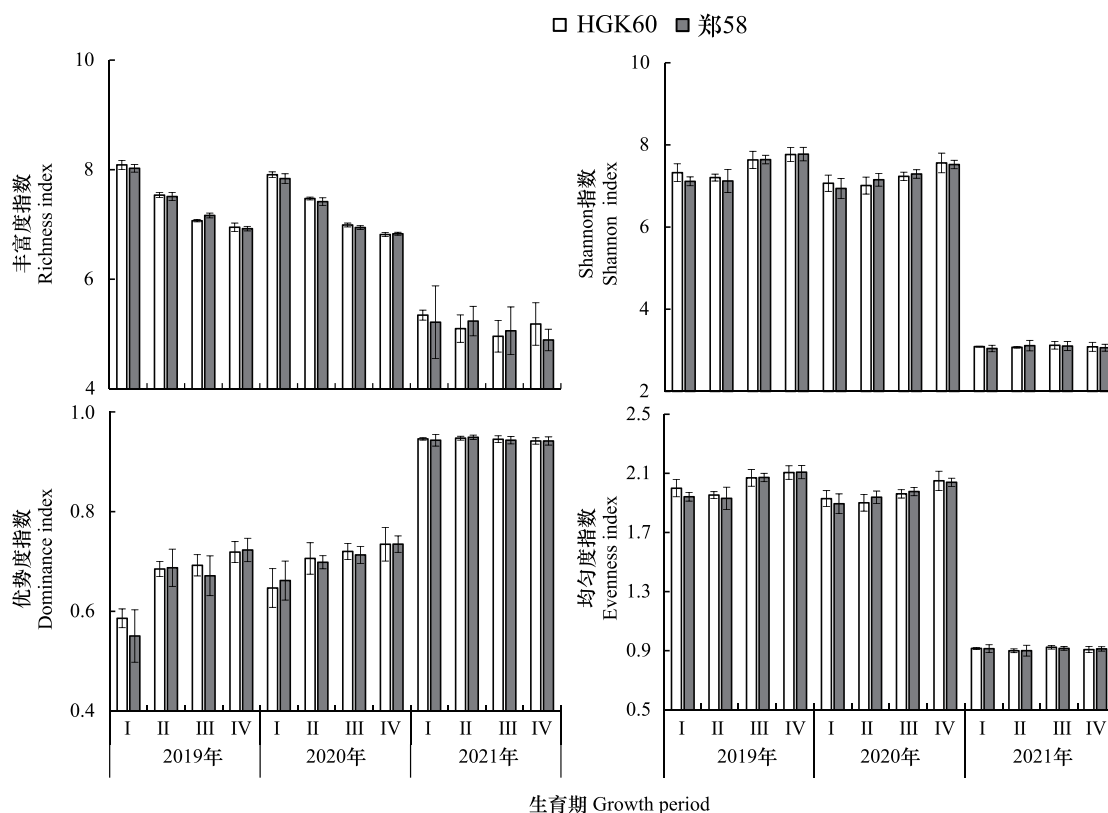


图 4 田间节肢动物群落各生态指标

Fig.4 The biodiversity indexes of arthropods in the fields

3.3 田间节肢动物群落相似性和稳定性分析

对节肢动物群落相似性研究结果显示(表 2),3 年各生育期 HGK60 与郑 58 田间节肢动物群落相似性系数均高于 0.7,除 2019 年苗期、2020 年喇叭口期以及 2021 年的苗期、抽穗期,二者在均达到高度相似水平;HGK60 与郑 58 植食性类群相似性亦较高,二者在 3 年的各生育期均接近或达到高度相似水平,其中二者 2020 年抽穗期的相似性最高,相似性系数达到 0.8;捕食性类群的相似性在 2019 及 2020 年各生育期均为高度相似水平,2021 年相似性略低于前两年,但均达到中度相似并趋向高度相似水平;对寄生性类群的分析结果显示,二者在 3 年各生育期的相似性系数均大于 0.6,达到中度相似水平,其中 2019 年喇叭口期、完熟期以及 2020 年完熟期为高度相似水平;2019、2020 年完熟期 HGK60 与郑 58 田间节肢动物的中性类群为高度相似,其他生育期均为中度相似。

同一生育期 HGK60 与郑 58 玉米田间节肢动物的群落稳定性差异较小(表 3)。Nn/Np 仅在 2021 年抽穗期和完熟期表现出 HGK60 与郑 58 的显著差异($P<0.05$);Nd/Np 仅在 2020 年的苗期表现为 HGK60 与郑 58 间差异显著($P<0.05$);Sn/Sp 连续 3 年各生育期均表现为二者差异不显著($P>0.05$),Sd/Sp 仅在 2021 年的完熟期表现为 HGK60 与郑 58 差异显著($P<0.05$)。总体上,玉米各生育期田间节肢动物的群落稳定性指标 Nn/Np、Nd/Np、Sn/Sp、Sd/Sp 相对稳定,田间节肢动物群落中天敌类群和中性类群对植食性类群的调控作用未因 HGK60 的种植产生显著变化。

表 2 田间节肢动物群落相似性系数

Table 2 The similarity coefficient of the arthropod community

年份 Year	生育期 Growth period	节肢动物 Arthropod community	植食性类群 Herbivorous group	捕食性类群 Predatory group	寄生性类群 Parasitic group	中性类群 Neutral group
2019	苗期	0.73	0.72	0.76	0.67	0.67
	喇叭口期	0.75	0.73	0.78	0.83	0.60
	抽穗期	0.75	0.77	0.76	0.67	0.71
	完熟期	0.78	0.79	0.76	0.76	0.80
2020	苗期	0.75	0.77	0.78	0.62	0.60
	喇叭口期	0.74	0.73	0.78	0.71	0.62
	抽穗期	0.76	0.80	0.75	0.70	0.67
	完熟期	0.80	0.76	0.84	0.78	0.88
2021	苗期	0.72	0.74	0.75	0.68	0.71
	喇叭口期	0.76	0.76	0.73	0.72	0.69
	抽穗期	0.71	0.74	0.73	0.65	0.72
	完熟期	0.75	0.74	0.68	0.73	0.65

表 3 河北玉米田节肢动物群落稳定性比较

Table 3 Comparison of stability of arthropod community in maize fields in Hebei

年份 Year	生育期 Growth period	玉米材料 Maize treatments	稳定性指数 Stability index			
			N_n/N_p	N_d/N_p	S_n/S_p	S_d/S_p
2019	苗期	HGK60	1.02±0.14	0.24±0.03	1.13±0.25	0.15±0.10
		郑 58	0.86±0.03	0.20±0.05	1.18±0.27	0.12±0.02
	喇叭口期	HGK60	0.92±0.02	0.22±0.02	1.11±0.18	0.15±0.05
		郑 58	0.89±0.08	0.23±0.05	0.99±0.38	0.11±0.04
	抽穗期	HGK60	1.02±0.05	0.28±0.02	1.09±0.23	0.14±0.02
		郑 58	0.92±0.12	0.24±0.02	1.12±0.22	0.11±0.05
	完熟期	HGK60	1.14±0.06	0.26±0.03	1.29±0.29	0.22±0.07
		郑 58	1.23±0.05	0.28±0.02	1.24±0.11	0.21±0.02
2020	苗期	HGK60	0.84±0.08	0.19±0.02 *	1.14±0.26	0.17±0.04
		郑 58	0.76±0.08	0.16±0.04	1.18±0.37	0.16±0.05
	喇叭口期	HGK60	0.82±0.09	0.20±0.03	1.02±0.21	0.17±0.03
		郑 58	0.90±0.06	0.17±0.01	1.02±0.05	0.14±0.02
	抽穗期	HGK60	0.93±0.06	0.19±0.01	1.07±0.29	0.19±0.02
		郑 58	0.93±0.01	0.20±0.03	1.09±0.14	0.18±0.06
	完熟期	HGK60	1.17±0.05	0.27±0.03	1.05±0.17	0.24±0.04
		郑 58	1.08±0.04	0.25±0.02	1.03±0.12	0.23±0.04
2021	苗期	HGK60	0.52±0.09	0.10±0.03	0.56±0.12	0.12±0.04
		郑 58	0.44±0.12	0.13±0.07	0.65±0.16	0.15±0.04
	喇叭口期	HGK60	0.61±0.11	0.09±0.01	0.53±0.01	0.10±0.01
		郑 58	0.61±0.19	0.11±0.05	0.59±0.10	0.13±0.04
	抽穗期	HGK60	0.72±0.22 *	0.09±0.04	0.54±0.07	0.10±0.02
		郑 58	0.55±0.22	0.12±0.04	0.50±0.16	0.12±0.04
	完熟期	HGK60	0.53±0.24 *	0.11±0.02	0.46±0.14	0.12±0.02 *
		郑 58	0.77±0.12	0.08±0.04	0.57±0.05	0.07±0.03

N_n : 天敌类群个体数 the number of individuals of natural group; N_p : 植食性类群个体数 the number of individuals of herbivorous group; N_d : 中性类群个体数 the number of individuals of neutral group; S_n : 天敌类群物种数 the number of species of natural group; S_p : 植食性类群物种数 the number of species of herbivorous group; S_d : 中性类群物种数 the number of species of neutral group; 表中数据(均数±标准差)加上星号表示 HGK60 和郑 58 之间经 t 检验在 $P<0.05$ 时有显著性差异

4 讨论

随着转基因作物研发工作的不断推进,农业农村部已陆续发放多个转基因生物安全证书,转基因作物种植是否会带来环境安全性问题也得到了越来越多的关注,其可能存在环境安全问题主要包括转基因植物入侵、对非靶标生物的影响、靶标昆虫抗性的产生、次生害虫的爆发等几个方面。节肢动物是农田生物多样性重要的组成部分,是农田中最丰富的生物类群之一^[17-18],同时节肢动物多样性随环境的变化也是评估农田生态环境质量的重要指标之一^[19]。

通过对田间节肢动物的调查发现,整体上转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 与对对照常规玉米郑 58 在田间节肢动物群落组成与结构上没有显著差异,在相对丰度、多样性、相似性、稳定性等方面偶尔出现的差异并未持续、重复存在。在前期研究工作中,我们在其他地区、不同播种季也进行了转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 对田间节肢动物的影响研究,与此次连续多年的调查结果基本一致,可以说即使在不同的生态区位上、在各非生物因素的影响下,HGK60 种植均未对田间节肢动物产生显著影响^[20]。许多专家学者研究亦认为转基因作物种植对土壤动物多样性的影响很小甚至没有^[21-23]。对长春地区田间节肢动物调查发现,*Bt*-799 的群落组成、群落结构和对照玉米之间没有显著差异,季节变化也一致^[24]。郭井菲等人连续 2 年采用直接观察、气盆诱捕器、地面诱捕器和昆虫引诱器 4 种方法,得出转基因玉米田间节肢动物数量、多样性指数、优势集中指数和节肢动物均匀度指数与对照无显著差异的结论,表明转 *Cry1Ie* 基因玉米的种植对田间节肢动物群落的结构和多样性没有显著影响^[25]。Habustova 在 ČESKÉBUDĚJOVICE 连续 3 年监测转基因 *Bt* 玉米田间节肢动物,发现转基因 *Bt* 作物和对照之间的生物量和物种丰度没有显著差异^[26]。Wang 等在北京调查了两年转植酸酶玉米田间节肢动物群落的组成和丰度,结果表明,转植酸酶玉米与对照玉米田间节肢动物在物种数量、种体数量、群落多样性指数、相似系数和群落相对稳定性等方面均无显著差异^[12]。此外,许多对转基因大豆、水稻的生态风险评估也表明,转基因大豆、水稻等的种植不会对田间节肢动物产生显著影响^[27]。亦有专家学者认为,转基因抗虫作物的种植有效减少了杀虫剂的使用,降低了杀虫剂对田间节肢动物的影响从而增加了其丰度和群落多样性,有益于种植区域生态系统稳定性的提高^[28-29]。

从营养类群的角度来看,HGK60 的种植并未对植食性类群、天敌类群以及中性类群产生持续且显著的影响。目前,转基因作物种植对田间节肢动物影响的研究主要集中在植食性和天敌两大类群,主要通过研究“信息链影响植物-植食性昆虫-天敌间的化学信息通讯”等分析对植食性昆虫和天敌的群落组成和种群动态的影响^[30]。1999 年,John Losey 研究发现植食性昆虫黑脉金斑蝶取食拌有转 *Bt* 基因抗虫玉米花粉后死亡率升高^[7],在科学界引起风暴,但后续科研人员针对黑脉金斑蝶开展的研究结果并不支持此结论^[31-32]。部分对天敌昆虫的研究认为,转基因抗虫植物的利用会明显降低靶标害虫的危害,从而降低虫害诱导植物挥发物 (HIPVs) 的释放,最终影响植物对天敌昆虫行为的调控作用^[33],从而一定程度上造成田间天敌昆虫数量的改变^[30, 34],但多数研究与本结果较为一致,认为转基因抗虫作物的种植对天敌昆虫的影响并不显著^[20, 35-36],*Cry1Ab*、*Cry1Ac*、*Cry2Aa*、*Cry2Ab*、*Cry1Ah*、*CryIF* 等杀虫蛋白混入饲料后对天敌昆虫的生长发育亦无显著影响^[37-39]。目前,对中性昆虫的影响研究相对较少,但仅仅分析对植食性与天敌昆虫的影响是不够的^[40-41]。生态学意义上,中性昆虫属基位物种,是中位、顶位物种的捕食对象之一,对研究生态系统的物质和能量循环有重要意义^[42],是不可忽视的一个类群。因此,中性昆虫也将是此后研究的重点。

5 结论

从玉米的整个生长阶段来看,转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 的种植对田间节肢动物的种类、数量、生态指标以及群落相似性与稳定性等均未造成显著影响。偶尔出现的短暂性差异因存在不可重复性,不能否定 HGK60 种植对田间节肢动物无显著影响的结论。

尽管本研究认为 HGK60 种植对田间节肢动物无显著影响,但是按照“个案”原则^[43],转入不同基因而产

生的不同转基因事件其表现可能存在差异,其他转基因作物对田间节肢动物的影响仍然存在争议。另一方面,转基因作物的环境安全评估是一个长期的研究过程,需要在多个地点进行连续多年的检测,以丰富重复检测结果,获得更全面和可靠的结论。

参考文献 (References):

- [1] 李浩辉,刘彩月,张海文,王旭静,唐巧玲,王友华. 2022 年度全球转基因作物产业化发展现状及趋势分析[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(12): 6-16.
- [2] Nawaz M A, Mesnage R, Tsatsakis A M, Golokhvast K S, Yang S H, Antoniou M N, Chung G. Addressing concerns over the fate of DNA derived from genetically modified food in the human body: A review. Food and Chemical Toxicology, 2019, 124: 423-430.
- [3] Tabashnik B E, Carrière Y. Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. Nature Biotechnology, 2017, 35: 926-935.
- [4] Campos S O, Santana I V, Silva C, Santos-Amaya O F, Guedes R N C, Pereira E J G. Bt-induced hormesis in Bt-resistant insects: theoretical possibility or factual concern? Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 183: 109577.
- [5] Guan Z J, Wei W, Stewart C N, Tang Z X. Effects of transgenic oilseed rape harboring the *Cry1Ac* gene on microbial communities in the rhizosphere soil. European Journal of Soil Biology, 2021, 103: 103277.
- [6] Mandal A, Sarkar B, Owens G, Thakur J K, Manna M C, Niazi N K, Jayaraman S, Patra A K. Impact of genetically modified crops on rhizosphere microorganisms and processes: a review focusing on Bt cotton. Applied Soil Ecology, 2020, 148: 103492.
- [7] Losey J E, Rayor L S, Carter M E. Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature, 1999, 399: 214.
- [8] 戈峰,欧阳芳,赵紫华. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 597-605.
- [9] 王尚,王柏凤,严杜升,王军,武奉慈,席景会,宋新元. 转 EPSPS 基因抗除草剂玉米 CC-2 对田间节肢动物多样性的影响. 生物安全学报, 2014, 23(4): 271-277.
- [10] 任振涛,薛莹,周宜君. 转基因作物安全性评价研究的文献计量可视化分析. 生态与农村环境学报, 2021, 37(12): 1503-1513.
- [11] Li X Y, Lang Z H, Zhang J, He K L, Zhu L, Huang D F. Acquisition of insect-resistant transgenic maize harboring a truncated *cry1Ah* gene via *Agrobacterium*-mediated transformation. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(5): 937-944.
- [12] Wang M, Guan X. The effects of phytase transgenic maize on the community components and diversity of arthropods. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2020, 23(4): 1228-1234.
- [13] 蔡晓明. 昆虫分类学(修订版). 北京: 化学工业出版社, 2017: 528-831.
- [14] Chen Y J, Ren M Y, Pan L B, Liu B, Guan X, Tao J. Impact of transgenic insect-resistant maize HGK60 with *Cry1Ah* gene on community components and biodiversity of arthropods in the fields. PLoS One, 2022, 17(6): e0269459.
- [15] 马克平,刘灿然,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II β 多样性的测度方法. 生物多样性, 1995, (1): 38-43.
- [16] 蒋杰贤,万年峰,季香云,淡家贵. 桃园生草对桃树节肢动物群落多样性与稳定性的影响. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2303-2308.
- [17] 段美春,刘云慧,王长柳, Axmacher J C, 李良涛, 宇振荣. 坝上地区不同海拔农田和恢复半自然生境下尺蛾多样性. 应用生态学报, 2012, 23(3): 785-790.
- [18] 章家恩. 中国农业生物多样性及其保护. 农村生态环境, 1999, (2): 37-41.
- [19] 岳天祥. 生物多样性研究及其问题. 生态学报, 2001, (3): 462-467.
- [20] 陈彦君,李俊生,闫冰,关潇,陶均. 转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米 HGK60 对生物多样性的影响. 环境科学研究, 2021, 34(4): 964-975.
- [21] Singh A K, Dubey S K. Current trends in Bt crops and their fate on associated microbial community dynamics: a review. Protoplasma, 2016, 253(3): 663-681.
- [22] 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.
- [23] Farinós G P, Poza M D L, Hernández-Crespo P, Ortego F, Castañera P. Diversity and seasonal phenology of aboveground arthropods in conventional and transgenic maize crops in Central Spain. Biological Control, 2008, 44(3): 362-371.
- [24] 尹俊琦,武奉慈,周琳,宋新元. 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, 2017, 26(2): 159-167.
- [25] 郭井菲,张聪,袁志华,何康来,王振营. 转 *cry1Ie* 基因抗虫玉米对田间节肢动物群落多样性的影响. 植物保护学报, 2014, 41(4): 482-489.
- [26] Habuštová O S, Svobodová Z, Spitzer L, Doležal 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.

- [27] Horak M J, Rosenbaum E W, Phillips S L, Kendrick D L, Carson D, Clark P L, Nickson T E. Characterization of the ecological interactions of Roundup Ready 2 Yield © soybean, MON 89788, for use in ecological risk assessment. *GM Crops & Food*, 2015, 6(3): 167-182.
- [28] Bhatti M A, Duan J, Head G P, Jiang C J, McKee M J, Nickson T E, Pilcher C L, Pilcher C D. Field evaluation of the impact of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) – protected Bt corn on foliage-dwelling arthropods. *Environmental Entomology*, 2005, 34(5): 1336-1345.
- [29] Bitzer R J, Rice M E, Pilcher C D, Pilcher C L, Lam W F. Biodiversity and community structure of epedaphic and euedaphic springtails (Collembola) in transgenic rootworm Bt corn. *Environmental Entomology*, 2005, 34(5): 1346-1376.
- [30] 刘清松, 李云河, 陈秀萍, 彭于发. 转基因抗虫植物-植食性昆虫-天敌间化学通讯的研究进展. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2431-2439.
- [31] Hellmich R L, Siegfried B D, Sears M K, Stanley-Horn D E, Daniels M J, Mattila H R, Spencer T, Bidne K G, Lewis L C. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(21): 11925-11930.
- [32] Sears M K, Hellmich R L, Stanley-Horn D E, Oberhauser K S, Pleasants J M, Mattila H R, Siegfried B D, Dively G P. Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations; A risk assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(21): 11937-11942.
- [33] Ibrahim M A, Stewart-Jones A, Pulkkinen J, Poppy G M, Holopainen J K. The influence of different nutrient levels on insect-induced plant volatiles in Bt and conventional oilseed rape plants. *Plant Biology*, 2008, 10(1): 97-107.
- [34] 李保平, 孟玲, 万方浩. 转基因抗虫植物对天敌昆虫的影响. *中国生物防治*, 2002, (3): 97-105.
- [35] 马月, 刘娜, 谢彦博, 梁晋刚, 李飞武. 转基因抗虫玉米对节肢动物多样性影响研究进展. *中国生物防治学报*, 2022, 38(5): 1135-1142.
- [36] Guo J F, He K L, Hellmich R L, Bai S X, Zhang T T, Liu Y J, Ahmed T, Wang Z Y. Field trials to evaluate the effects of transgenic cry1Ic maize on the community characteristics of arthropod natural enemies. *Scientific Reports*, 2016, 6: 22102.
- [37] Ali I, Zhang S, Muhammad M S, Iqbal M, Cui J J. Bt proteins have no detrimental effects on larvae of the green lacewing, *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera: Chrysopidae). *Neotropical Entomology*, 2018, 47(3): 336-343.
- [38] 李亚荣, 张帅, 雒珺瑜, 朱香镇, 王丽, 崔金杰. Cry2Ab 蛋白对龟纹瓢虫的安全性研究. *生物安全学报*, 2019, 28(3): 195-199.
- [39] Li Y H, Hu L, Romeis J, Wang Y N, Han L Z, Chen X P, Peng Y F. Use of an artificial diet system to study the toxicity of gut-active insecticidal compounds on larvae of the green lacewing *Chrysoperla sinica*. *Biological Control*, 2014, 69: 45-51.
- [40] 刘雨芳, 古德祥. 稻田中性昆虫多样性及其生态功能分析. *中国生物防治*, 2002, (4): 149-152.
- [41] 徐建祥, 吴进才. 综论稻田生态系中性昆虫的意义及其调控. *生态学杂志*, 1999, (5): 6+41-44.
- [42] 吴进才, 胡国文, 唐健, 束兆林, 杨金生, 万志农, 任正才. 稻田中性昆虫对群落食物网的调控作用. *生态学报*, 1994, (4): 381-386.
- [43] 刘标, 韩娟, 薛堃. 转基因植物环境监测进展. *生态学报*, 2016, 36(9): 2490-2496.