

转G2_EPSPS和GAT基因大豆栽培地生存竞争能力 以及对节肢动物多样性的影响

赵宝广¹, 曹宝祥¹, 栾凤侠^{2*}, 陶波¹, 李松宇¹, 李荣兴¹, 刘章雄³

(1. 东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江出入境检验检疫局, 哈尔滨 150001; 3. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 转基因作物的全球快速发展, 其对环境的安全性影响成为人们关注的热点。我国转基因大豆的发展还处于试验研究阶段, 对转基因大豆环境安全性进行科学严谨评价是我国转基因大豆商业发展的有力支撑, 具有非常重要的理论和实践生产意义。本研究以转 G2_EPSPS 和 GAT 双价基因抗草甘膦大豆材料 GE-J16 与受体材料 Jack 以及当地主栽品种中黄 37 为研究对象。采用田间栽培试验, 比较其生长时期的竞争能力以及成熟期繁育和生存能力的差异, 研究了转基因和非转基因大豆栽培环境生存竞争安全性; 连续 3 年调查供试大豆品种田间节肢动物的种类与数量, 分析其多样性指数、优势集中性指数、均匀性指数的动态变化, 明确转基因和非转基因大豆以及草甘膦除草剂对豆田节肢动物群落多样性的影响。试验结果显示, 不同生育时期的 3 个大豆品种的株高、复叶数、田间覆盖度、繁育系数和落粒性都基本一致无差异显著性, 无栽培地生存竞争优势; 转基因大豆 GE-J16 人工除草、转基因大豆 GE-J16 喷施草甘膦和非转基因大豆 Jack 人工除草三个处理 3 年的节肢动物的多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数变化趋势一致, 且 3 个处理同一生育时期之间各指标无显著性差异, 说明耐草甘膦转基因大豆以及草甘膦除草剂并不会引起豆田节肢动物群落多样性的明显变化。

关键词: 转基因耐草甘膦大豆; 生存竞争; 节肢动物; 杂草化; 多样性

中图分类号: S435.65 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2020)06-0954-09

Survival Competition and Influence on Arthropod Diversity in Soybean Transgenic with G2-EPSPS and GAT Bivalent Genes

ZHAO Baoguang¹, CAO Baoxiang¹, LUAN Fengxia^{2*}, TAO Bo¹, LI Songyu¹, LI Rongxing¹, LIU Zhangxiong³

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau of Heilongjiang Province, Harbin 150001, China; 3. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: With the rapid development of transgenic crops in the world, its impact on environmental safety has become a hot topic. The development of genetically modified soybeans in China is still in the experimental research stage. The scientific and rigorous evaluation of the environmental safety of genetically modified soybeans is a strong support for the commercial development of genetically modified soybeans in China. In this study, glyphosate-resistant soybean materials GE-J16 transgenic with G2_EPSPS and GAT bivalent genes and the receptor material Jack and the local main cultivar zhonghuang 37 were used in an environmental safety assessment. The competition ability in the growth period and the difference of breeding ability and survival ability in the mature period of the lines were compared in a field test. The species and number of arthropods were investigated in the fields for 3 consecutive years to analyze the dynamic changes of the diversity index, dominant index and evenness

收稿日期: 2020-03-30

基金项目: 转基因玉米小麦大豆环境安全评价技术(2016ZX08011-003)

作者简介: 赵宝广, 硕士研究生, E-mail: 402716309@qq.com; *通信作者, 研究员, 教授级高工, E-mail: luanfengxia@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.06.006

index so as to determine the effects of transgenic and non-transgenic soybean and glyphosate herbicide on the arthropod community diversity in soybean fields. The results showed no significant differences in the plant height, compound leaf number, field coverage, breeding coefficient, and threshing properties among the three soybean varieties at different growth stages. Also, no competitive advantage was evident in cultivation sites. The arthropod diversity index, uniformity index, and dominant index showed a consistent pattern of changes in the three years field tests with genetically modified soybean GE-J16 with artificial weeding, the genetically modified soybean GE-J16 sprayed with glyphosate and the non-transgenic soybean Jack with artificial weeding, and showed no significant difference between the three treatments during the same growth period. These results indicate that glyphosate-tolerant transgenic soybeans and glyphosate herbicide did not cause significant changes in arthropod community diversity in soybean fields.

Key words: transgenic glyphosate-resistant soybean; survival competition; arthropod; weeding; diversity

中国是大豆的故乡, 是大豆的起源国之一。在 20 世纪 30 年代以前, 中国一直是全球最大的大豆生产国和出口国, 而随着大豆被引入美国、阿根廷、巴西等国后, 中国大豆生产量及其在全球大豆总产量中的所占比重逐步下降。1995 年, 国产大豆生产仅基本上能满足消费需求^[1]; 而至 2017 年中国进口大豆量以 9556 万吨创历史最高。2018 年由于中国对大豆种植产业的扶持, 中国大豆产量有所提高, 进口大豆数量 (8803 万吨), 较 2017 年有下降的趋势^[2], 但是仍然占全球大豆总进口量 (15246 万吨) 的 59.03%, 中国依然是世界上最大的大豆消费国和进口国^[3]。我国大豆种植面积持续下降的主要原因是种植成本高、产量低, 2017 年我国大豆年均生产成本达到 6262.65 元/hm², 而平均单产量只有 1790 kg/hm², 净利润为负值, 加上田间恶性杂草较难防除导致管理困难, 这大大地打击了农民种植大豆的积极性^[4]。

草甘膦除草剂具有灭生性、内吸传导性、广谱性, 是田间一年生、多年生以及恶性杂草的克星, 并且进入土壤无活性, 对后茬作物种植无影响。转基因抗除草剂大豆由于获得了对草甘膦除草剂的良好抗性, 在喷施除草剂后可以高效地防治杂草而对大豆植株生长以及产量无影响。转基因抗除草剂大豆的种植能够节约劳动力, 减少农药使用量, 降低了生产成本, 对缓解国外进口大豆的依赖有重要意义。1994 年美国孟山都公司抗草甘膦转基因大豆的研发成功为大豆产业的发展带来了新希望, 两年后, 在美国首先开始商业化种植。由于转基因大豆具有便捷田间除草方式, 在国际上逐渐受到认可, 至 2017 年全球有 9 个国家参与种植转基因大豆, 种植面积已达到 9410 万 hm², 占全球转基因作物总面积的 50%, 占全球大豆总面积的 77%。美国仍然是转基因大豆种植面积最大的国家^[5]。

目前转基因抗除草剂大豆涉及的抗性基因有 cp4 epsps、2mepsps、gat4601、pat、bar、hppdPFw336、csr1-2、dmo、aad-I2、gm-hra 和 avhppd-03, 涉及的除草剂种类有草甘膦、草铵膦、异恶唑草酮、硝磺草酮、磺酰脲类、麦草畏、2,4-D 和咪唑啉酮类, 抗草甘膦为第一大目标性状^[6,7]。国际转基因技术的突飞猛进对国内转基因研究的发展起到刺激作用。虽然我国转基因大豆并未开放商业化种植, 但是伴随国外转基因大豆大量输入, 国人也逐渐意识到转基因大豆技术研究的必要性。目前, 国内的研究主要集中于大豆性状改良, 籽粒纯度鉴定以及培育适合中国生态、环境的转基因大豆品种等方面^[8]。虽然欧美国家掌握着转基因大豆的核心技术, 但国内也在转基因大豆技术开发与应用领域取得较大进步^[9,10]。

转基因大豆种植在带来巨大经济收益的同时, 其推广释放后可能带来的生态风险也备受关注。国外关于转基因作物演化为杂草的实例已有报道, 1998 年在加拿大 Alberta 省转基因油菜田发现了同时抗 3 种除草剂的油菜自生苗, 其中草甘膦和草丁膦的抗性特性来源于转基因油菜, 而抗咪唑啉类除草剂的特性源自传统育种方法培育的抗性油菜^[11]。1999 年在加拿大转基因油菜种植地以及周边保护田也发现了抗除草剂油菜的自生苗^[12]。2002 年报道了加拿大再次出现了抗 3 种除草剂油菜自生苗的案例, 并发出当心转基因植物演变为“超级杂草”警示^[13]。加拿大西部, 自生的转基因抗性油菜发生率已达 11%, 而在美国中北部地区, 自生的转基因抗性向日葵、玉米和油菜已成为后茬作物大豆田的主要杂草^[14,15]。转基因作物演化为杂草将会严重威胁农业生产。转基因大豆获得对除草剂抗性的同时是否显著增强其生存竞争能力和繁育能力, 以杂草的形式掠夺其他植物的生存空间, 威胁农业生产。目前我

国尚未有关转基因大豆自身演化为杂草的报道,所以转基因大豆推广前进行生存竞争能力评估试验十分必要。另一方面转基因作物的高抗药性、抗虫性特性还可能威胁目标生物以外的非目标物种生存。所谓对非目标物种的威胁是指在一个自然生态系统中,各种抗性的转基因生物在防御或消灭自己的特定目标时,无意影响系统内其他生物生产,从而破坏生态物种的平衡关系。比如转 Bt 杀虫基因的抗虫作物大面积种植必然会使以此作物为食的害虫大量减少。但是,这也使得对以此害虫为食物的其他昆虫的数量减少^[16]。有报道指出转 Bt 基因马铃薯地块中虽然节肢动物数量较对照区多,但其物种丰富度和多样性却远低于对照地块^[17];美国昆虫学家 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^[18]。还有报道指出除草剂克无踪和高效盖草能的使用对棉田节肢动物群落多样性指数有影响^[19]。所以研究转除草剂基因大豆以及除草剂喷施对节肢动物多样性影响具有重要意义。本试验的目的就是通过田间生物试验的方法,研究抗除草剂转基因大豆 GE-J16 与常规大豆田间栽培条件下的生存竞争能力以及对田间节肢动物群落多样性的影响。为转基因大豆的环境安全性评价提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地位于北京市顺义区赵全营镇后桑园村中国农业科学院作物科学研究所顺义试验基地(116.57°E, 40.24°N),周边有小麦、玉米等作物和围墙。试验地具备灌溉条件,可以满足试验的要求。

1.2 供试大豆品种

供试大豆由中国农科院作物科学研究所提供,分别是转 G2-EPSPS 和 GAT 双价基因大豆 GE-J16、非转基因受体 Jack 及当地主栽大豆品种中黄 37。2017—2019 年 6 月上旬播种。

1.3 栽培地生存竞争性试验

2018 年 6 月播种转基因大豆 GE-J16、受体大豆 Jack、当地主栽大豆中黄 37 三个品种大豆,采用随机区组设计,4 次重复。小区面积 15 m²,每小区播种 480 粒,小区间设 1 m 宽隔离带。播种后按当地常规栽培方式进行田间管理。

1.4 节肢动物多样性研究试验

2017—2018 年连续 3 年种植转基因大豆 GE-J16、受体大豆 Jack,每个小区设 10 行,行长 5 m,株距为 5 cm,小区间设 1 m 宽隔离带,4 次重复。

3 种处理(转基因大豆 GE-J16 人工除草、转基因大豆 GE-J16 喷施草甘膦除草和非转基因大豆 Jack 人工除草),采用随机区组设计。草甘膦选用美国孟山都生产的农达(41%草甘膦异丙胺盐),大豆 V3 时期用药,剂量为推荐中剂量(200 mL/亩)。

1.5 调查方法

1.5.1 栽培地生存竞争性实验及繁育系数 大豆 V3(三节期)调查全小区大豆出苗数,V3、V5(五节期)、R1(主茎任一节出现花朵)、R3(具完全展开叶的上部 4 个节中有一个荚长达 0.5 cm)、R5(具完全展开叶的上部 4 个节中有一个荚开始鼓粒)采用对角线取样,每小区测 10 株大豆的株高和复叶数,目测全小区大豆覆盖度。R8 采用对角线取样,每小区测 10 株大豆的总粒数,计算繁育系数。R8 开始,每小区随机标定 10 株大豆,观察上述大豆植株的总落粒数,每 7 d 观察 1 次,共观察 5 次,计算落粒率。大豆成熟后,不收获种子,调查各个小区内大豆出苗数,计算自生苗产生率。自生苗调查可持续到第二年大豆生长季节。出苗率(%) = 出苗数/播种量 × 100;繁育系数(粒/株) = 总粒数/10;落粒率(%) = 总落粒数/总粒数 × 100;自生苗产生率(株/m²) = 出苗总数/调查总面积。

1.5.2 节肢动物多样性研究 大豆封行后,各小区从 7 月中旬到 10 月上旬,采用直接观察法,每月调查 1 次。每次调查时,每小区对角线 5 点取样,每点调查面积 1 m²,记载大豆上、中、下 3 个叶位的节肢动物的种类和数量。群落结构与动态分析采用 Krebs 的方法,分别计算 3 个处理各时期各群落的 Shannon-Winner 多样性指数(H)、evenness 均匀性指数(J)和 simpson 优势集中性指数(C)。计算公式如下各小区节

肢动物群落的有关参数^[9]。多样性指数 $H = \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$; 均匀性指数 $J = H/\ln S$; 优势集中性指数 $C = \sum_{i=1}^s N_i(N_i - 1)/N(N - 1)$ 。公式中, $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为群落中所有物种的个体数, S 为群落中物种数。

1.6 数据统计与分析

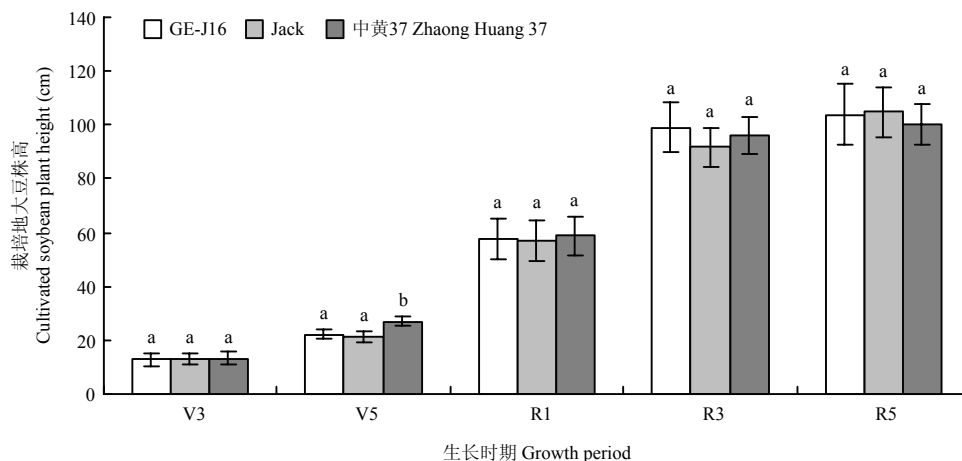
运用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件对所有数据进行 Duncan's 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 栽培地生存竞争能力比较

2.1.1 出苗率 比较在大豆播种出苗后 3 片复叶时期调查出苗率, 转基因大豆 GE-J16、受体大豆 Jack、中黄 37 三种大豆品种出苗率分别为 70.41%、71.35%、73.43%, 三种大豆在栽培地出苗率无显著性差异 ($P > 0.05$)。这说明转基因大豆 GE-J16 在田间栽培条件下出苗成活能力上没有优势。

2.1.2 大豆株高比较 转基因大豆 GE-J16 与受体 Jack 和中黄 37 这三个品种大豆在 V3~R5 期的大豆株高动态变化趋势基本一致; 同一时期内, V5 期 GE-J16 与中黄 37 株高存在显著性差异 ($P < 0.05$), 但 GE-J16 与受体 Jack 株高无显著差异 ($P > 0.05$), 其他时期 GE-J16 与受体 Jack 和中黄 37 均无显著性差异 ($P > 0.05$) (图 1)。



注: 图上不同小写字母者表示同一生长期内 0.05 水平差异显著。

Note: Data with different lowercase letters indicated significant difference between the same growth period at 0.05 level.

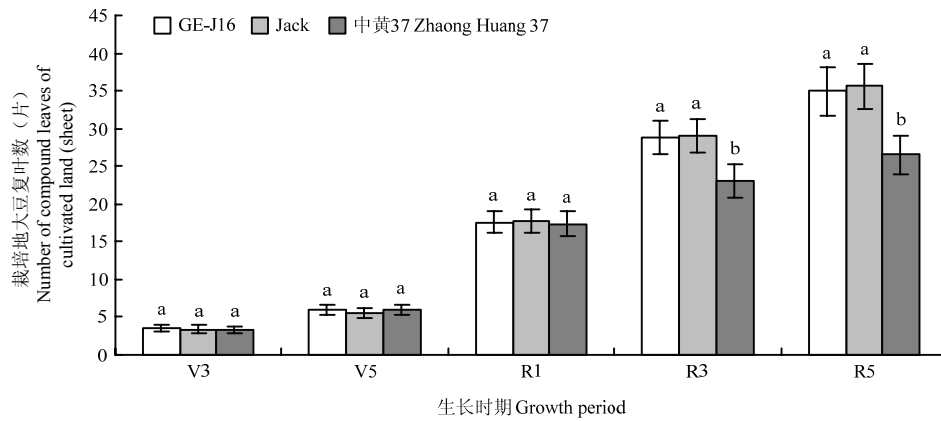
图 1 不同大豆品种各时期的株高变化

Fig. 1 Plant height changes of different soybean varieties in different periods

2.1.3 大豆复叶数比较 转基因大豆 GE-J16 与受体大豆 Jack 在 V3~R5 期的复叶数动态变化趋势基本一致, 且在同一时期 GE-J16 与 Jack 复叶数无显著性差异 ($P > 0.05$); 转基因大豆 GE-J16 与中黄 37 在生长前期 V3~R1 期复叶数无显著差异 ($P > 0.05$), 但在后期 R3~R5 期 GE-J16 复叶数显著高于中黄 37 ($P < 0.05$) (图 2)。

2.1.4 大豆覆盖度比较 转基因大豆 GE-J16 与受体 Jack 和中黄 37 这三个品种大豆在 V3~R5 期的大豆覆盖度动态变化趋势基本一致; 同一时期内, GE-J16 与 Jack 和中黄 37 三个品种大豆覆盖度无显著性差异 ($P > 0.05$), 且从 R3 期开始三种大豆田间生长均已封垄, 目测覆盖度达到 100% (图 3)。

2.1.5 大豆繁育系数比较在大豆 R8 期, 每小区按对角线标记 10 株大豆, 记录单株粒数并计算 GE-J16、受体 Jack 和中黄 37 这 3 个品种的平均单株粒数。结果显示, 3 个品种的繁育系数分别为 137.68 ± 34.06 、 140.48 ± 35.13 、 141.38 ± 29.20 , 无显著差异 ($P > 0.05$), 即抗草甘膦转基因大豆 GE-J16 与受体 Jack 和

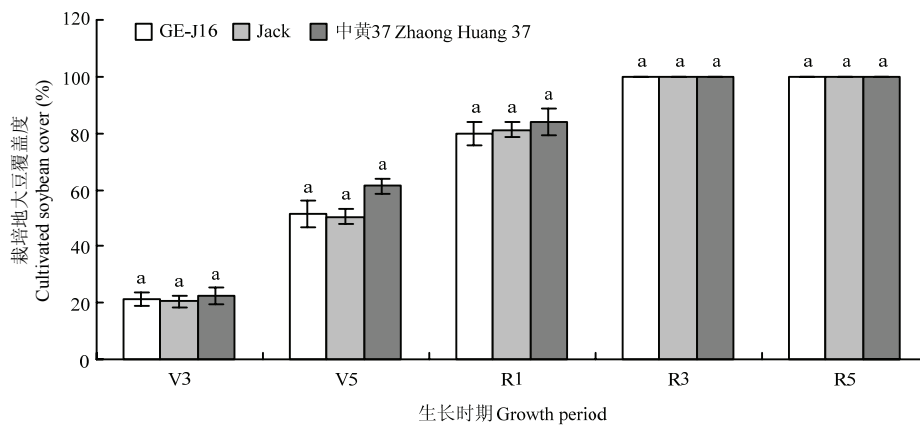


注：图上不同小写字母者表示同一生长期内 0.05 水平差异显著。

Note: Data with different lowercase letters indicated significant difference between the same growth period at 0.05 level.

图 2 不同大豆品种各时期的复叶数比较

Fig. 2 Comparison of compound leaf numbers of different soybean varieties in different periods



注：图上不同小写字母者表示同一生长期内 0.05 水平差异显著。

Note: Data with different lowercase letters indicated significant difference between the same growth period at 0.05 level.

图 3 不同大豆品种各时期的覆盖度比较

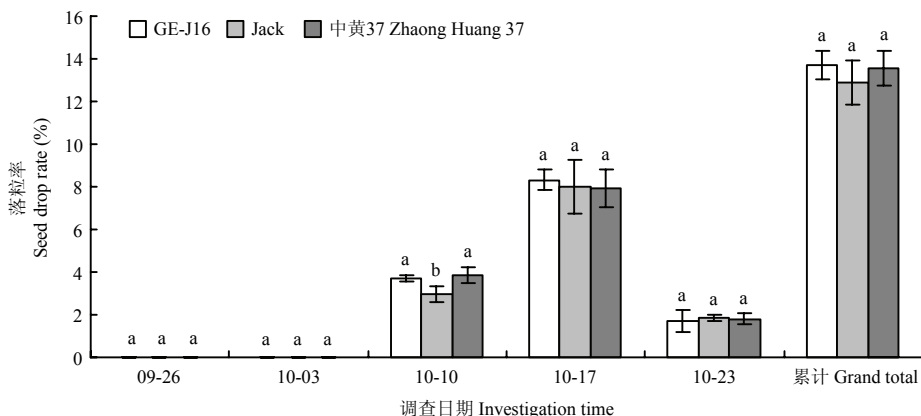
Fig. 3 Comparison of coverage of different soybean varieties in different periods

中黄 373 大豆品种在结实能力上无竞争优势。

2.1.6 落粒性与自生苗产生率 对转基因大豆 GE-J16 与受体 Jack 和中黄 37 这三个品种的大豆种子落粒率连续 5 周的调查比较见图 4。结果显示，在 9 月 26 日与 10 月 03 日调查中未发现有大豆落粒，10 月 10 日的调查显示 GE-J16 落粒率显著高于 Jack，但与中黄 37 基本一致无显著差异；10 月 17 日、10 月 23 日以及最后 3 个品种大豆种子的累计落粒率均无显著性差异 ($P > 0.05$)。由于本地秋雨多，温度低，大豆落地后出现膨胀发霉的现象，在整个试验地直到试验结束 3 个品种大豆均未发现自生苗的产生，三个大豆品种自生苗长生率均为 0。说明转基因大豆以及常规大豆通过种子扩散演化为自生苗的可能性很小。

2.2 对节肢动物多样性的影响

2.2.1 节肢动物发生数量动态 不同年份大豆田间节肢动物发生数量差异很大。2017 年与 2019 年在 7—10 月期间的田间节肢动物发生数量呈先升高再降低的趋势，而 2018 年变化趋势比较平缓。2019 年田间节肢动物发生量显著高于 2017 年和 2018 年，主要是由于不同年份的气候环境差异造成的。而任意年间在同一调查时期，转基因大豆 GE-J16、GE-J16 喷施草甘膦和 Jack 三个处理间节肢动物发生数量无显著性差异。转基因大豆 GE-J16 的种植以及草甘膦的喷施对大豆节肢动物数量无影响（图 5）。



注：图上不同小写字母者表示同一生长期内 0.05 水平差异显著。

Note: Data with different lowercase letters indicated significant difference between the same growth period at 0.05 level.

图 4 不同品种大豆落粒性调查

Fig. 4 Investigation of seed drop of different soybean varieties

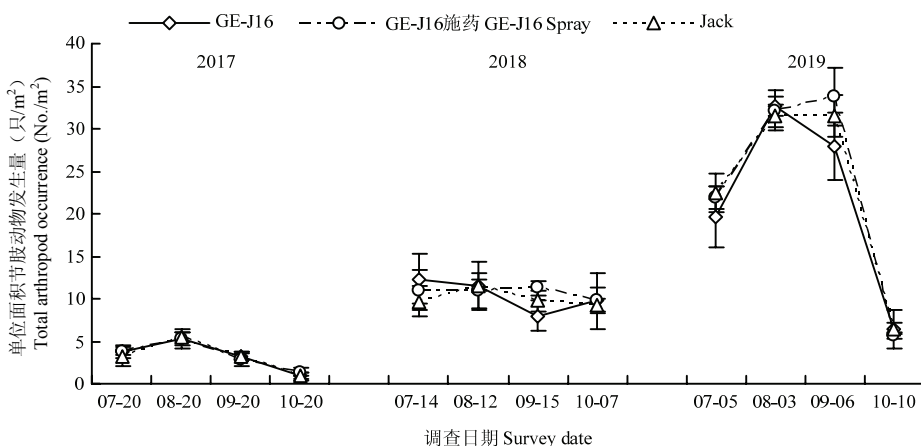


图 5 不同年份节肢动物发生总量动态

Fig. 5 Dynamics of total arthropod occurrence in different years

2.2.2 多样性指数动态 连续 3 年通过记录小区节肢动物种类与数量进行多样性指数分析，GE-J16 人工除草、GE-J16 喷施草甘膦、受体大豆 Jack 人工除草 3 个试验组在大豆整个生长期节肢动物多样性指数动态变化趋势一致，均呈现先升高后降低动态变化。每年的 8—9 月多样性指数达到峰值，此时田间节肢动物活动最为频繁。在同一时期 3 个试验组多样性指数均无显著性差异，可见栽培转基因大豆 GE-J16 以及在栽培期间喷施草甘膦除草剂都与非转基因大豆 Jack 对节肢动物多样性指数的影响一致（图 6）。

2.2.3 均匀性指数动态 均匀指数的动态变化趋势与多样性指数变化趋势相似，呈现先升高后降低动态变化，GE-J16 人工除草、GE-J16 喷施草甘膦、受体大豆 Jack 人工除草 3 个试验组在大豆整个生长期节肢动物均匀性指数动态变化趋势一致，且同一时期内 3 个处理之间节肢动物均匀性指数无显著性差异 ($P > 0.05$)。2017 年和 2019 年的均匀性指数较 2018 年波动较大，2018 年均匀性指数波动较平缓（图 7）。

2.2.4 优势集中性指数动态 优势集中性指数动态变化趋势与多样性指数和均匀性指数变化相反，总体趋势呈先降低后升高的趋势（图 8）。转基因品种的种植与草甘膦的喷施并不显著影响优势集中性指数，其表现与受体品种一致，生长期三者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

外源基因的引入使抗草甘膦转基因大豆植株对除草剂产生良好的耐受性，正是如此引起了人们对转基因

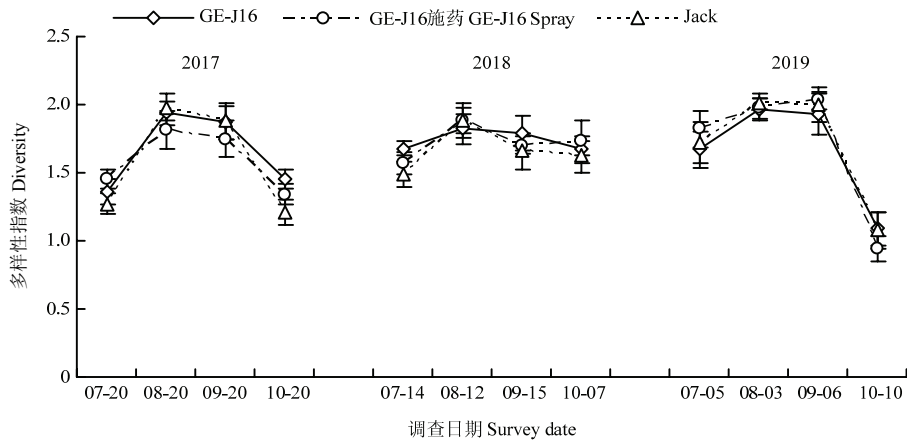


图 6 不同年份豆田节肢动物多样性指数动态

Fig. 6 Index of arthropod diversity in bean fields in different years

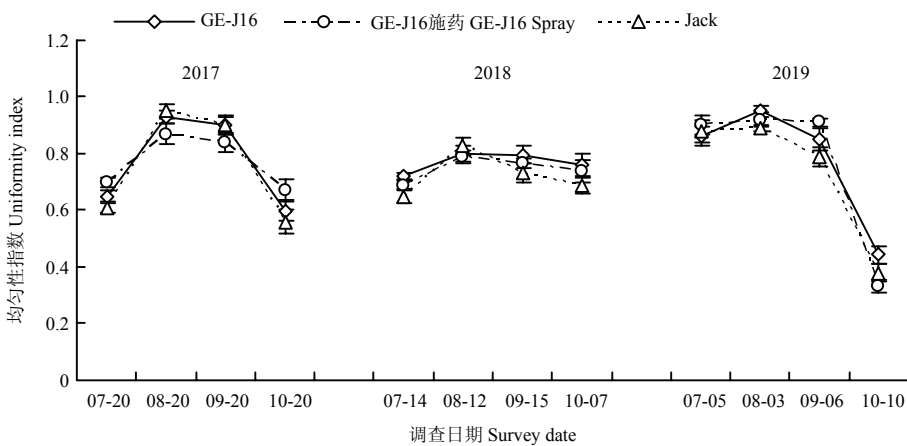


图 7 不同年份豆田节肢动物均匀性指数动态

Fig. 7 Dynamics of arthropod uniformity index in bean fields in different years

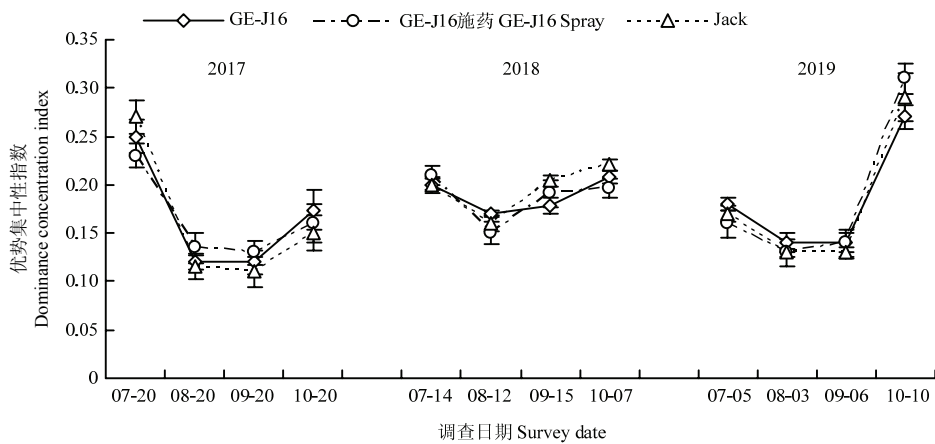


图 8 不同年份豆田节肢动物优势集中性指数动态

Fig. 8 Dynamic index of dominance of arthropods in bean fields in different years

因大豆是否能产生杂草化高度重视。一种植物之所以被定义为杂草，是因为其与栽培作物相比具有很强大的危害性和适应性，而杂草与栽培作物的本质区别在于可以持续性在生态环境中生存^[10]。杂草的这种持续性体现在较强的生存竞争能力和繁衍能力，包括强的生长势、充足的生物量，顽强的自然延续能力都能使

杂草在农田、路边、旷野生境中能不断繁衍其种群, 因此评判某种植物是否具有杂草化的潜力需要以上述相关杂草的基本特征为依据^[11-13]。

本研究通过在栽培环境中种植转基因大豆 GE-J16 并与同一环境受体品种和当地常规品种比较长势与繁育能力, 评价是否具有杂草化的潜力。结果表明, 供试的转基因大豆 GE-J16 在正常田间栽培管理下与受体品种和当地常规品种的生长基本一致并无生长优势, 繁育系数基本相当, 自生繁衍能力较差。所以就试验地区的生态环境条件供试的转基因大豆品种以及对照的非转基因品种演变为杂草的可能性均较低。此研究结果与国内外的研究进展一致。宋小玲等^[14]对 GTS40-3-2 进行杂草性评价结果显示无论是适宜季节还是非适宜季节种植的转基因大豆生存竞争能力和繁育能力明显都并不强于受体大豆, 衍生为杂草的可能性很小。张家进等^[15]研究转基因大豆 SHZD32-01 的栽培地生存竞争能力表明其不具有生存竞争优势, 不具有杂草化的潜力。Ellstrand 等^[16]对抗草甘膦转基因大豆的生存竞争能力研究表明其演变为田间杂草可能性不大。截止到目前国内外并未有关转基因大豆具有杂草化潜力的研究报道。对其他抗除草剂或抗逆境转基因作物栽培地生存竞争能力研究表明外源基因的引入不会增加转基因作物自身的杂草化潜力^[17,18]。

但是 1998 年加拿大 Alberta 省在转基因油菜田间发现了同时抗 3 种除草剂的油菜自生苗, 其中, 抗草甘膦和抗草丁膦的特性来自转基因油菜, 而抗咪唑啉类除草剂的特性来自传统育种培育的抗性油菜^[19]。Keller^[20]证明: 在美国, 胡萝卜、莴苣、燕麦、水稻、甜土豆、向日葵、小萝卜等有成为杂草的潜在可能性。据此有研究者认为转基因作物有无杂草化潜力跟亲本作物杂草特性的强弱有关, 如甘蔗、苜蓿、大麦、水稻、莴苣、土豆、燕麦、高粱、油菜、向日葵等, 亲本植物具有较强的生存能力会有更多的机会变为杂草^[21,22]。但水稻、玉米、棉花、马铃薯等植株在生长势、种子活力及越冬能力等方面本身就较弱, 而转基因作物与之生长势基本一致, 演变成为农田杂草的可能性很小^[23]。但本试验是对抗草甘膦转基因大豆在杂草化潜力的部分因子进行了研究, 因此该转基因大豆的环境安全性问题还需要更全面地进行评价。

节肢动物在自然界扮演着重要角色, 其物种的多样性间接反馈着大生存环境下的细微变化, 农田节肢动物物种多样性分析一直是转基因作物环境重要评价内容。本试验以转基因大豆 GE-J16 与常规大豆 Jack 为材料, 通过调查转基因大豆 GE-J16 田间节肢动物物种多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数, 结果显示变化波动趋势与常规大豆相似无统计学差异, 所以转基因大豆的种植并未对种植地环境中的节肢动物造成影响; 同时 GE-J16 喷施草甘膦组田间节肢动物各指数变化也与常规大豆相似, 所以田间喷施一次草甘膦农药对大豆田节肢动物多样性并无影响。王尚等^[25]也证实了这一观点, 抗草甘膦 CC-2 玉米并未对田间节肢动物群落结构、多样性等造成显著性影响。吴奇^[26]和张卓等^[27]也得出相似结论, 通过分析抗草甘膦大豆田中节肢动物群落, 均未发现转基因品种的栽种对节肢动物造成影响。Jasinski 等^[28]的研究也表明转基因大豆对非靶标节肢动物群落没有影响。更有研究指出, 人为干扰因素引起的自然生态变化对生态环境节肢动物群落影响远大于栽种品种的影响, 如临近农田作物类型以及使用杀虫剂漂移甚至栽培方式都会严重威胁节肢动物多样性^[29,30]。节肢动物是自然界生物链中的重要部分, 对于转基因大豆是否影响节肢动物群落, 应从更多方面和方法研究探讨。

参 考 文 献

- [1] 黄宗智, 高原. 大豆生产和进口的经济逻辑[J]. 开放时代, 2014(1): 176-188.
- [2] 前瞻产业研究院. 2020—2025 年中国大豆加工行业产销需求与投资预测分析报告[R]. 北京: 前瞻产业研究院, 2019.
- [3] 肖卫东, 杜志雄. 中国大豆产业发展: 主要问题、原因及对策建议[J]. 全球化, 2019(5): 105-118.
- [4] 张云华. 中美农业基础竞争力对比与建议[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2017(4): 3-14.
- [5] International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). Global status of commercialized biotech/GM crops in 2017: Biotech crop adoption surges as economic benefits accumulate in 22 years. ISAAA Brief No.53. Ithaca, NY. ISAAA, 2017.
- [6] Pallett K. Engineered crop tolerance to glyphosate and its impact on the use of the herbicide[J]. Outlooks on Pest Management, 2018, 29(6): 277-281.
- [7] 于惠林, 贾芳, 全宗华, 等. 施用草甘膦对转基因抗除草剂大豆田杂草防除、大豆安全性及杂草发生的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(6): 1166-1177.
- [8] 崔宁波, 张正岩. 转基因大豆研究及应用进展[J]. 西北农业学报, 2016, 25(8): 1111-1124.

- [9] 苗润莲. 基于专利分析的转基因大豆技术现状研究[J]. 大豆科学, 2015, 34(4): 723-730.
- [10] 余永亮, 梁慧珍, 王树峰, 等. 中国转基因大豆的研究进展及其产业化[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 143-150.
- [11] Hall L, Topinka K, Huffman J, *et al.* Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers[M]. Weed Science, 2000, 48: 688-694.
- [12] Beckie H J, Hall L M, Warwick S I. Impact of herbicide-resistant crops as weeds in Canada[C]. Proceedings Brighton Crop Protection Conference-Weeds, 2001, 135-142.
- [13] Orson J. Gene stacking in herbicide tolerant oilseed rape: lessons from the North American experience[J]. English Nature Research Reports, 2002(443): 1-17.
- [14] 苏少泉. 转基因作物的风险及其食品安全性的争论(续)[J]. 现代化农业, 2003(2): 7-11.
- [15] 杨春燕. 浅谈转基因作物的利弊与展望[J]. 农技服务, 2016, 33(7): 174, 172.
- [16] 闫海, 燕晓静. 转基因生物的风险与防控——基于生物多样性的转基因生物安全立法研究[J]. 环境保护, 2012(12): 45-47.
- [17] Daly J C. Ecology and resistance management for *Bacillus thuringiensis* transgenic plants[J]. Biocontrol Science and Technology, 1994, 4: 563-571.
- [18] Taylor C. Monarch butterflies may be threatened in their North[J]. American range Environ Review, 1999, 6(4): 1-9.
- [19] Wang X Y, Zou Y D, Meng Q L, *et al.* Effects of herbicides on diversity indices of cotton field arthropod community[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3): 514-518.
- [20] Dale P J, Clarke B, Fontes E M G. Potential for the environmental impact of transgenic crops[J]. Nature Biotechnology, 2002, 20(6): 567-574.
- [21] Lozzia G C, Furlanis C, Manachini B, *et al.* Effects of Bt corn *Rhopalosiphum padi* L. (Rhynchota: Aphididae) and on its predator *Chrysoperla carnea* Stephen (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. Bollettino di Zoologia. Agraria e di Bachicoltura, 1998, 30(2): 153-164.
- [22] 强胜. 杂草学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000, 8-14.
- [23] Baker H G. The evolution of weeds[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1974, 5: 1-24.
- [24] 郭水良, 李扬汉. 杂草的基本特点及其在丰富栽培地生物多样性中的作用[J]. 资源科学, 1996, 18(3): 48-52.
- [25] 郭水良, 王勇, 曹同. 杂草繁殖方式的多样性及其对环境的适应[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2006, 35(3): 107-114.
- [26] 宋小玲, 强胜, 彭于发. 抗草甘膦转基因大豆(*Glycine max* (L.) Merri) 杂草性评价的试验实例[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 145-153.
- [27] 张家进, 武湘豫, 曹越平. 抗草甘膦转基因大豆的抗性及其栽培地生存竞争能力研究[J]. 上海交通大学学报, 2017, 35(4): 26-30.
- [28] Ellstrand N C, Heredia S M, Leak-Garcia J A, *et al.* Crops gone wild: evolution of weeds and invasives from domesticated ancestors[J]. Evolutionary Applications, 2010, 3(5-6): 494-504.
- [29] Crawley M J, Brown S L, Hails R S, *et al.* Transgenic crops in natural habitats[J]. Nature, 2001, 409(6821): 682-683.
- [30] 姜奇彦, 李新海, 胡正, 等. 抗旱转基因小麦(*Triticum aestivum* L.)的杂草性评价[J]. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2096-2107.
- [31] Hall L, Topinka K, Huffman J, *et al.* Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers[J]. Weed Science, 2000, 48(6): 688-694.
- [32] Keeler, Kathleen H. Can genetically engineered crops become weeds?[J]. Nature Biotechnology, 1989, 7(11): 1134-1139.
- [33] 程焉平. 转基因植物杂草化问题及其对策[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(4): 51-56.
- [34] 吴志平, 徐步进. 转基因植物释放后在环境中成为杂草的风险性[J]. 生物工程进展, 1999, 19(1): 9-13.
- [35] 贾士荣. 转基因植物的环境及食品安全性[J]. 生物工程进展, 1997, 17(6): 36-42.
- [36] 王尚, 王柏凤, 严杜升, 等. 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[J]. 生物安全学报, 2014, 23(4): 271-277.
- [37] 吴奇, 彭德良, 彭于发. 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[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2622-2628.
- [38] 张卓, 黄文坤, 刘茂炎, 等. 转基因耐草甘膦大豆对豆田节肢动物群落多样性的影响[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 115-119.
- [39] Jasinski J R, Easley J B, Young C E, *et al.* Select nontarget arthropod abundance in transgenic and nontransgenic field crops in Ohio[J]. Environmental Entomology, 2003, 32(2): 407-413.
- [40] 蔡万伦, 石尚柏, 杨长举, 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[J]. 昆虫学报, 2005, 48(4): 537-543.
- [41] 侯有明, 庞雄飞, 梁广文, 等. 化学杀虫剂对菜田节肢动物多样性的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(8): 1262-1268.