



# 抗草丁膦 G1 和 G2 转基因大豆对除草剂耐性评价及田间节肢动物影响研究

周启政, 钟宣伯, 崔楠, 刘璐璐, 唐桂香

(浙江大学作物科学研究所/浙江省作物遗传资源重点实验室, 浙江 杭州 310058)

**摘要:**为评估转基因大豆的环境生态风险,本研究在田间和室内评价了抗草丁膦转基因大豆 G1 和 G2 对靶标除草剂草丁膦和非靶标除草剂草甘膦、灭草松和烯禾啶的抗性,同时明确了 G1 和 G2 对田间节肢动物多样性的影响。结果表明:在田间喷施 1、2 和 4 倍浓度的靶标除草剂草丁膦后 14 d, G1 和 G2 均能正常生长,株高随喷施浓度增加略有下降,分别为 33.8、31.9、29.1 cm 和 32.9、30.3、28.3 cm,但与 G1、G2 清水对照和转基因受体天隆一号清水对照相比无显著差异;喷施后 28 d, G1 和 G2 植株均能正常生长且株高有所增加;喷施不同浓度草丁膦表现为转基因受体受害率平均为 99.4%~100%,而 G1 和 G2 平均受害率为 0.8%~6.8%,且随着喷施时间的延长, G1 和 G2 的受害率有所减缓。喷施不同浓度非靶标除草剂草甘膦和灭草松后,转基因大豆 G1 和 G2 及受体大豆均出现明显药害症状,受害率为 92.3%~100%,且于喷施 28 d 后植株全部死亡;而喷施不同浓度非靶标除草剂烯禾啶, G1、G2 及受体大豆均能正常生长,平均受害率为 10% 以下,植株株高与清水对照无显著差异。结果表明 G1 和 G2 大豆只对靶标除草剂产生耐性,而不受非靶标除草剂影响。同时,种植转基因 G1、G2 及受体大豆对田间节肢动物不存在生态风险。

**关键词:** G1 和 G2; 靶标除草剂; 非靶标除草剂; 节肢动物多样性

## Evaluation of Herbicide Tolerance and Effects on Arthropods in the Field of Transgenic Soybean with Glyphosate Resistance G1 and G2

ZHOU Qi-zheng, ZHONG Xuan-bo, CUI Nan, LIU Lu-lu, TANG Gui-xiang

(Institute of Crop Science, Zhejiang University/Zhejiang Provincial Key Laboratory of Crop Genetic Resources, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** In order to assess the environmental and ecological risk in transgenic glyphosate-resistance soybean G1 and G2, the resistance of target herbicides glufosinate and non-target herbicides glyphosate, bentazone and dimethoate were evaluated under field and indoor experiments, and the effects of G1 and G2 on arthropod biodiversity in the field were also observed. The results indicated that G1 and G2 could grow normally after 14 d of spraying 1, 2 and 4 times concentration target herbicide glufosinate and the plant height decreased a little with the increasing of the concentration. The plant height of G1 and G2 were 33.8, 31.9, 29.1 cm and 32.9, 30.3, 28.3 cm, respectively, 14 and 28 d after spraying 1, 2 and 4 times glufosinate, but there was no significant difference compared with control and receptor Tianlong 1. The damage rate of transgenic receptor was 99.4%–100% in average 14 and 28 d after spraying glufosinate, while that of G1 and G2 was only 0.8%–6.8%. Furthermore, the damage rate of G1 and G2 was alleviated with the prolong of spraying time. The G1, G2 and soybean receptor showed the same phytotoxicity after spraying different concentrations of non-target herbicides glyphosate and Bentazon. The damage rate ranged from 92.3% to 100% and all the plants died 28 d after spraying. However, G1, G2 and receptor could grow normally, the damage rate in average was less than 10% and there was no significant difference in plant height with control after spraying different concentrations of non-target herbicides sethoxydim. At the same time, the results showed there were no ecological impact on biodiversity of arthropods in the field when the G1 and G2 were growing.

**Keywords:** G1 and G2; Target herbicide; Non-target herbicide; Arthropod biodiversity

转基因作物的安全性一直是人们担心和争论的焦点<sup>[1]</sup>,转基因作物从实验室研发到商业化应用

需经历中间试验、环境释放、生产性试验和安全认证等安全评价阶段,自 1996 年转基因作物商业化应

收稿日期:2020-04-22

基金项目:农业部转基因生物新品种重大专项(2016ZX08004-004-005)。

第一作者简介:周启政(1994-),男,硕士,主要从事大豆分子育种研究。E-mail:21716136@zju.edu.cn。

通讯作者:唐桂香(1966-),女,博士,副教授,主要从事大豆栽培和育种研究。E-mail:tanggx@zju.edu.cn。

用以来,转基因大豆种植面积一直位于4种主要作物之首,2018年世界转基因大豆应用率已达78%,种植的转基因大豆除了抗虫和复合性状外,主要为耐除草剂性状<sup>[2]</sup>。除草剂是目前农业生产轻简栽培中常用的清除杂草的化学药剂,根据其植物的选择性可分为灭生性除草剂和选择性除草剂。灭生性除草剂对杂草和植物没有选择性,不能用于植物生长周期<sup>[3-4]</sup>,如草甘膦和草丁膦除草剂<sup>[5]</sup>;选择性除草剂能够有效地防治杂草,而不伤害作物以及只杀某一种或某一类杂草的除草剂如灭草松和烯禾啶,灭草松主要用于阔叶杂草和一些莎草科杂草,对禾本科杂草效果不大;烯禾啶能防除禾本科杂草及多种自生禾谷类作物,对双子叶植物无影响。

节肢动物多样性是农田生态系统的重要组成部分,转基因作物的种植对节肢动物群落、结构及多样性的影响是环境安全评价的重要内容之一<sup>[6]</sup>。研究表明转抗草甘膦基因大豆<sup>[7]</sup>和转植酸酶基因玉米<sup>[6]</sup>对田间节肢动物群落无影响。而目前转*BAR*基因大豆对农田节肢动物影响的报道较少。

本课题组前期采用根瘤农杆菌介导大豆子叶节法,将含有*BAR*基因和抗病抗虫目的基因转入受体大豆品种天隆一号中<sup>[8-9]</sup>,经多代筛选得到稳定的T<sub>0</sub>代转基因抗草丁膦抗病大豆G1和抗虫大豆G2,为了明确转基因大豆G1和G2环境释放安全性,有必要对G1和G2目的基因*BAR*表达的抗除草剂性状进行靶标、非靶标除草剂及环境安全性评价。因此,本研究以T<sub>0</sub>代G1和G2转基因大豆为材料,在田间对靶标除草剂草丁膦和在室内对非靶标除草剂草甘膦、灭草松及烯禾啶的耐性进行评价,同时调查G1和G2大豆对田间节肢动物的影响,为评价G1和G2转基因大豆是否存在环境生态风险提供安全理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为T<sub>0</sub>代转*BAR*基因和抗胞囊线虫RNA干扰花叶病毒病目的基因(*HsI<sup>pro-1</sup>*)G1和G2大豆、转基因受体品种天隆一号。

18%草丁膦溶液(德国拜耳公司);30%草甘膦水剂(镇江江南化工公司);400 g·L<sup>-1</sup>内吸传导型除草剂灭草松溶液(青岛清原农冠公司);12.5%烯禾啶乳油(天津中农立华公司);30 cm×26 cm粘虫板(杭州益昊农业科技有限公司)。

1.2 试验地概况

分别于2018年春季和2019年春季在浙江省湖州市长兴县泗安镇浙江大学转基因试验种植基地(30°53'48"N,119°39'8"E)进行试验,试验地四周均由栅栏围住,栅栏东侧为4 m宽马路及排水沟,北侧为小山坡,西南侧为非大豆隔离带,包括禾本科玉米、水稻等,试验地点周围无栽培及野生大豆生长。室内试验在浙江大学紫金港校区实验农场温室中进行,温室控温控光由专人负责管理。

1.3 方法

1.3.1 田间靶标除草剂鉴定 田间试验种植小区长5 m,畦宽60 cm,种植双行,待大豆幼苗长出第一片三出复叶时,田间喷施浓度1倍(0.675 kg·hm<sup>-2</sup>)、2倍(1.35 kg·hm<sup>-2</sup>)和4倍(2.7 kg·hm<sup>-2</sup>)草丁膦,以喷施清水为对照,喷施14和48 d后调查与记录大豆株高和受害率。

受害率% =  $\Sigma(N \times S / T \times M) \times 100$

式中:*N*表示同级受害株数;*S*表示级别数;*T*表示总株数;*M*表示药害最高级别代表值。

1.3.2 室内非靶标除草剂试验 室内试验采用直径20 cm、高16 cm,可装6 kg营养土的盆栽,每盆播20粒种子,播种深度为3~4 cm,出苗后定植为每盆10株。当第一片三出复叶长出时,喷施非靶标除草剂:1倍(0.9 kg·hm<sup>-2</sup>)、2倍(1.8 kg·hm<sup>-2</sup>)和4倍(3.6 kg·hm<sup>-2</sup>)浓度的草甘膦、1倍(1.96 kg·hm<sup>-2</sup>)、2倍(3.92 kg·hm<sup>-2</sup>)和4倍(7.84 kg·hm<sup>-2</sup>)浓度的灭草松以及1倍(0.18 kg·hm<sup>-2</sup>)、2倍(0.36 kg·hm<sup>-2</sup>)和4倍(0.72 kg·hm<sup>-2</sup>)浓度的烯禾啶,以清水为对照。每处理至少3盆,分别在除草剂喷施后14和28 d调查株高及植株受害率。

1.3.3 田间节肢动物种类及数量调查 当大豆生长进入开花结荚期时,在转基因大豆G1和G2种植田块随机选择9个区域,并在每个区域悬挂1张粘虫板于茎秆上<sup>[10]</sup>,高度距离地面大约10 cm<sup>[11]</sup>,以非转基因受体品种天隆一号为对照(CK)。14 d后调查和统计粘虫板上主要田间地上节肢动物的种类和数量,直接记录易于观察统计的动物种类及数量,对于不易分类的类群,做好标记并带回到实验室进一步鉴定。

1.4 数据分析

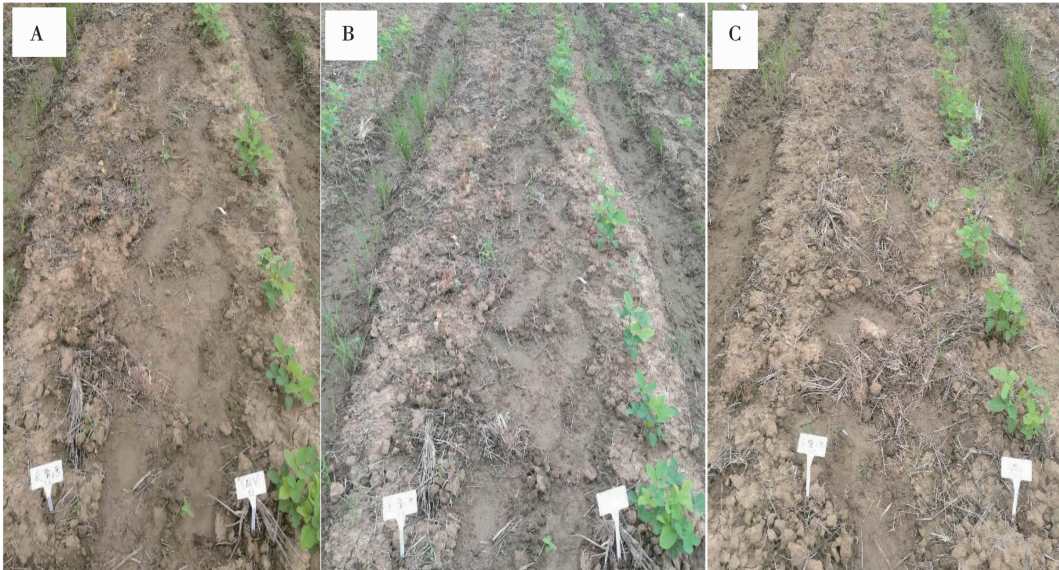
采用Excel 2016对数据进行整理和计算,采用SPSS 20.0对所得结果进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 田间喷施靶标除草剂对大豆生长的影响

2.1.1 对植株生长状况的影响 由图 1 可知,喷施 1 倍靶标除草剂草丁膦后 7 d,转基因受体植株大部分枯死,少数存活植株生长矮小而 G1 植株及清水

对照无明显症状(图 1A);喷施 2 倍(图 1B)及 4 倍(图 1C)靶标除草剂草丁膦后天隆一号全部枯萎,植株残茬呈棕黄色,而 G1 和清水对照无明显药害症状,正常生长,但株高随着施药浓度升高稍有下降。喷施后 48 d,1、2 和 4 倍草丁膦处理的天隆一号全部死亡,G1 植株正常生长。



A、B、C 分别为喷施 1、2 和 4 倍草丁膦的田块。  
A, B, and C is the block of spraying 1, 2 and 4 times glufosinate respectively.

图 1 喷施草丁膦 7 d 后 G1 和转基因受体大豆表型

Fig. 1 The phenotype of G1 and transgenic recipient soybean 7 d after spraying glufosinate

2.1.2 对株高的影响 如表 1 所示,喷施不同浓度草丁膦后,受体大豆受害死亡,株高为 0。喷施 1 倍草丁膦后 14 d,G1、G2 株高分别为 33.8 和 31.9 cm;喷施 2 倍草丁膦后 14 d,G1、G2 株高分别为 31.9 和 30.3 cm;而喷施 4 倍草丁膦,G1、G2 株高略低于清水对照,分别为 29.1 和 28.3 cm,与清水对照均无显著性差异。在喷施草丁膦后 28 d,G1 和 G2 株高有所上升,1、2 和 4 倍浓度株高分别为 37.2、38.4、35.3 cm 和 39.2、39.4、36.6 cm,与清水对照无显著差异。结果表明靶标除草剂草丁膦对 T<sub>0</sub>代 G1 和 G2 转基因大豆生长没有显著影响。

2.1.3 对植株受害率的影响 如表 2 所示,喷施不同浓度靶标除草剂草丁膦后,T<sub>0</sub>代 G1、G2 植株受害率与受体大豆存在显著差异,受体大豆受害率除 1 倍除草剂为 99.4% 外,2 和 4 倍受害率均为 100%;G1 和 G2 大豆随除草剂喷施浓度的增加,受害率略有上升,但不同浓度间无显著性差异。1、2 和 4 倍喷施后 14 d,G1 和 G2 受害率分别为 0.8%、1.3%、4.3% 和 5.2%、6.8%、6.8%,与清水对照无显著性差异;随草丁膦喷施后时间的延长,一些受害较小的转基因植株受害率有所缓解,一些本来受

表 1 喷施不同浓度草丁膦 14 和 28 d 后 G1、G2 和天隆一号株高  
Table 1 The plant height of G1, G2 and Tianlong 1 at 14 and 28 d after spraying different concentrations of glufosinate (cm)

喷施后时间 Time after spraying	品系 Line	草丁膦浓度 Concentration of glufosinate			水(CK) Water(CK)
		1 倍	2 倍	4 倍	
		1 time	2 times	4 times	
14 d	G1	33.8 a	31.9 a	29.1 ab	31.5 a
	G2	32.9 a	30.3 a	28.3 ab	32.1 a
	天隆一号 Tianlong 1	0	0	0	35.0 a
28 d	G1	37.2 a	38.4 a	35.3 a	37.0 a
	G2	39.2 a	39.4 a	36.6 a	36.8 a
	天隆一号 Tianlong 1	0	0	0	42.5 a

表中同列数据后不同字母表示显著性差异达  $P \leq 0.05$  水平。  
下同。  
The different letter after the same column in the table meant the significant difference at  $P \leq 0.05$  level. The same below.



害的转基因大豆恢复了生长,1、2 和 4 倍喷施后 28 d, G1 和 G2 受害率有不同程度的下降,分别为 0.7%、1.2%、4.3% 和 1.1%、2.5%、5.1%,和清水对照无显著性差异。由此可知,T<sub>6</sub> 代 G1、G2 转基因大豆耐靶标除草剂草丁膦。

2.2 室内喷施非靶标除草剂对大豆生长的影响

2.2.1 对植株生长状况的影响 在喷施前 G1、G2 和天隆一号生长一致,而喷施 1 倍草甘膦后 14 d, G1、G2 和天隆一号大部分植株表现出叶片发黄、干枯萎蔫的药害症状,喷施后 28 d, G1、G2 和天隆一号全部死亡(图 2A);喷施烯禾啶后 14 和 28 d, G1、G2 和天隆一号仅有几片叶子发黄,植株正常生长,无明显药害症状(图 2B),说明烯禾啶对大豆无影响;喷施灭草松后 14 d, G1、G2 和天隆一号受害较严重,植株矮小仅剩几片绿叶,28 d 后全部枯萎死亡(图 2C)。

表 2 喷施不同浓度草丁膦 14 和 28 d 后 G1、G2 和天隆一号受害率  
Table 2 The damage rate of G1, G2 and Tianlong 1 at 14 and 28 d after spraying different concentrations of glufosinate (%)

喷施后时间 Time after spraying	品系 Line	草丁膦浓度 Concentration of glufosinate			水(CK) Water(CK)
		1 倍	2 倍	4 倍	
		1 time	2 times	4 times	
14 d	G1	0.8 a	1.3 a	4.3 a	0 a
	G2	5.2 a	6.8 a	6.8 a	0 a
	天隆一号 Tianlong 1	99.4 b	100 b	100 b	0 a
28 d	G1	0.7 a	1.2 a	4.3 a	0 a
	G2	1.1 a	2.5 a	5.1 a	0 a
	天隆一号 Tianlong 1	100 b	100 b	100 b	0 a



a、b 和 c 分别代表转基因大豆 G1、G2 和天隆一号;大写 A、B 和 C 分别代表喷施非靶标除草剂草甘膦、烯禾啶和灭草松。  
a, b, c represented the transgenic G1, G2 soybean and transgenic recipient Tianlong 1, respectively; A, B, and C represented spraying the non-tagret herbicide glyphosate, sethoxydim and bentazone, respectively.

图 2 转基因 G1、G2 和天隆一号喷施非靶标除草剂前后的植株表现

Fig. 2 The plant of G1, G2 and Tianlong 1 before and after spraying non-target herbicides

2.2.2 对株高的影响 如表 3 所示,喷施草甘膦 14 d 后,3 个草甘膦浓度处理下各品系株高与水对照处理均有显著差异,3 个草甘膦浓度处理下 G1、G2 和天隆一号平均株高和水对照处理相比分别减少 20.4、22.4 和 26.0 cm,分别降低 64.8%、69.8% 和 74.3%;草甘膦喷施时间 28 d 后, G1、G2 和天隆一号的株高下降明显,与水对照处理均有显著差异,3 个草甘膦浓度处理下 3 个品系平均株高分别减少 27.9、27.9 和 34.4 cm,分别降低 75.4%、75.8% 和 80.1%。不同浓度灭草松喷施对 G1、G2

和天隆一号株高的影响和草甘膦类似,喷施灭草松使 G1、G2 和天隆一号株高减少且不同浓度之间没有显著性差异,喷施 14 d 后,3 个灭草松浓度处理下 G1、G2 和天隆一号平均株高分别减少 21.4、22.8 和 25.7 cm,分别降低 67.9%、71.0% 和 73.4%;喷施 28 d 后,各浓度 G1、G2 和天隆一号平均株高明显减少,分别减少 28.6、28.9 和 36.1 cm,分别降低 77.3%、78.5% 和 84.9%。而喷施不同浓度烯禾啶对 G1、G2 和天隆一号株高无显著影响,说明烯禾啶对这 3 个品系均无显著影响。

表 3   喷施非靶标除草剂 14 和 28 d 后 G1、G2 和天隆一号的株高

Table 3   The plant height of G1 , G2 and Tianlong 1 at 14 and 28 d after spraying non-target herbicide       (cm)

喷施后时间 Time after spraying	品系 Line	草甘膦 Glyphosate			灭草松 Bentazone			烯禾啶 Sethoxydim			水 (CK) Water(CK)
		1 倍	2 倍	4 倍	1 倍	2 倍	4 倍	1 倍	2 倍	4 倍	
		1 time	2 times	4 times	1 time	2 times	4 times	1 time	2 times	4 times	
14 d	G1	10.9 b	11.9 b	10.5 b	11.2 b	9.8 b	9.2 b	31.9 a	32.6 a	28.4 a	31.5 a
	G2	9.6 b	10.3 b	9.3 b	10.3 a	6.6 a	11.0 a	32.4 a	31.3 a	30.1 a	32.1 a
	天隆一号 Tianlong 1	9.9 b	10.3 b	6.7 b	9.8 b	9.2 b	9.0 b	34.0 a	35.6 a	31.9 a	35.0 a
28 d	G1	11.0 b	8.2 b	7.9 b	9.1 b	8.6 b	7.6 b	32.4 a	35.7 a	31.6 a	37.0 a
	G2	9.3 b	9.4 b	7.8 b	9.3 a	7.5 a	6.9 a	34.2 a	34.4 a	32.0 a	36.8 a
	天隆一号 Tianlong 1	10.2 b	7.1 b	7.0 b	6.2 b	7.1 b	6.0 b	37.6 a	41.4 a	35.8 a	42.5 a

2.2.3 对植株受害率的影响 由表 4 所示,和水对照相比,喷施不同浓度草甘膦 14 d 后,G1、G2 和天隆一号的平均受害率分别达到 96.6%、96.6% 和 100%;喷施草甘膦 28 d 后,G1、G2 和天隆一号全部死亡,而水对照正常生长。喷施不同浓度灭草松 14 d 后,转基因植株 G1、G2 和天隆一号平均受害率随灭草松浓度升高逐渐上升,喷施 4 倍浓度处理,G1、G2 和天隆一号平均受害率分别达到 98.3%、96.1% 和

100%,而水对照无药害症状;喷施不同浓度灭草松 28 d 后,G1、G2 和天隆一号全部死亡,而水对照正常生长。和清水对比,不同浓度烯禾啶对 G1、G2 和天隆一号受害率影响随烯禾啶浓度升高略有上升但无显著差异,喷施后 14 和 28 d,平均受害率均在 10% 以下,且喷施后 28 d,G1、G2 和天隆一号都能正常生长。

表 4   喷施不同浓度非靶标除草剂 14 和 28 d 后 G1、G2 和天隆一号的受害率

Table 4   The damage rate of G1 , G2 and Tianlong 1 at 14 and 28 d after spraying  
different concentrations of non-target herbicide       (%)

喷施后时间 Time after spraying	品系 Line	草甘膦 Glyphosate			灭草松 Bentazone			烯禾啶 Sethoxydim			水 Water
		1 倍	2 倍	4 倍	1 倍	2 倍	4 倍	1 倍	2 倍	4 倍	
		1 time	2 times	4 times	1 time	2 times	4 times	1 time	2 times	4 times	
14 d	G1	93.8 b	97.8 b	98.3 b	95.4 b	95.7 b	98.3 b	2.2 b	5.8 b	5.0 b	0 a
	G2	95.2 b	96.8 b	97.8 b	94.0 b	93.9 b	96.1 b	1.8 b	4.3 b	4.6 b	0 a
	天隆一号 Tianlong 1	97.3 b	100 b	100 b	92.3 b	93.3 b	100 b	4.0 b	8.9 b	10.0 b	0 a
28 d	G1	100 b	100 b	100 b	94.5 b	98.3 b	100 b	5.2 b	5.5 b	4.6 b	0 a
	G2	100 b	100 b	100 b	94.0 b	100 b	100 b	4.2 b	4.9 b	5.0 b	0 a
	天隆一号 Tianlong 1	100 b	100 b	100 b	100 b	100 b	100 b	6.0 b	8.9 b	10.0 b	0 a

2.3 种植 G1、G2 和受体品种对田间节肢动物的影响 粘虫板上节肢动物主要包括同翅目蚜科的大豆蚜虫(*Aphis glycines* Matsumura)、鳞翅目夜蚊科的斜纹夜蛾(*Spodoptera litura* Fabricius)、盲蝽科的苜蓿盲蝽(*Adelphocoris linelatus* Goeze)、粉虱科的烟粉虱(*Bemisia tabaci* Gennadius)、草蛉科的中华草蛉

(*Chrysoperla sinica* Tjeder) 和蓟马科的豆带蓟马(*Taenithrips glyeines* Okamoto) 等。种植转基因大豆 G1 和 G2 田间主要节肢动物种类与天隆一号不存在显著差异,并且基本保持一致,且数量也无显著差异(图 3)。

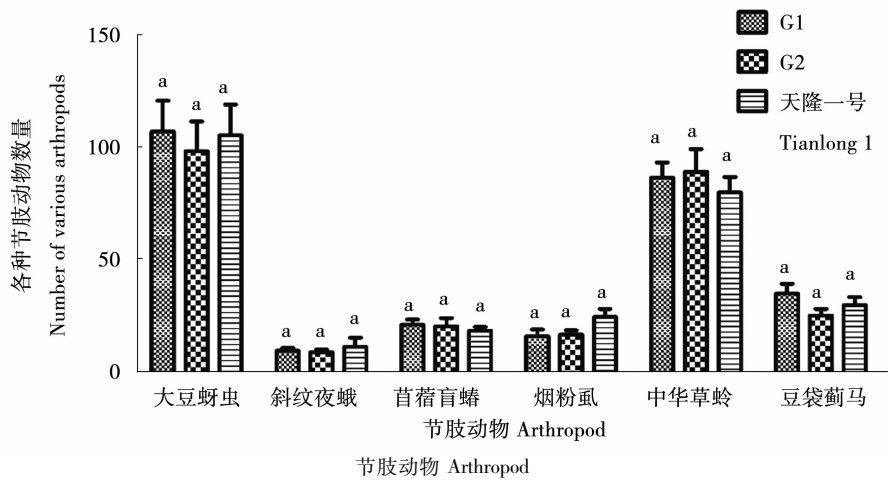


图3 种植转基因大豆 G1、G2 和天隆一号田块主要节肢动物种类和数量统计

Fig. 3 Statistics on type and quantity of main arthropods in fields planting transgenic G1, G2 and Tianlong 1

3 讨论

研究结果表明抗草丁膦转基因大豆 G1、G2 对非靶标除草剂草甘膦、灭草松和烯禾啶的反应与受体大豆相比没有显著性差异,对非靶标灭生性除草剂草甘膦、灭草松和烯禾啶没有耐性;而在田间喷施不同浓度靶标除草剂草丁膦后 7 d,转基因受体大豆几乎全部枯萎,而转基因大豆 G1 和 G2 与清水对照无明显药害症状,但株高随着施药浓度升高稍有下降,这与曹洪玉等<sup>[12]</sup>在研究抗除草剂大豆 356043 对不同除草剂的耐受性差异时一致,在 0.923 ~ 1.538 kg·hm<sup>-2</sup>浓度的草甘膦处理 28 d 后,356043 的株高随着浓度的增加而降低,当喷施 4.92 kg·hm<sup>-2</sup>浓度的草甘膦时,356043 的株高显著低于清水及其它浓度处理( $P < 0.05$ );同样,姜伟丽等<sup>[13]</sup>、Lanelos 等<sup>[14]</sup>有关研究结果也表明高浓度的除草剂可能对大豆的生长具有抑制作用。卜贵军等<sup>[15]</sup>对喷施草甘膦后转基因大豆叶片超微结构和光合速率的研究表明,转基因大豆对草甘膦的抗性表现需经过一个适应性阶段,即喷施高浓度药物初期伤害明显,后期有逐步恢复趋势。同时,还有研究发现强光、氮肥等环境因子对抗除草剂转基因水稻抗性有一定影响<sup>[16]</sup>,但具体如何影响还需深入研究和探讨。

对田间节肢动物影响的评估同样对转基因作物环境安全性评价有着重要意义。目前,有许多研究已经证明种植转基因作物对节肢动物无显著影响。Marques 等<sup>[17]</sup>将未喷施杀虫剂的非转基因大豆作为对照,发现转 *CryAc* 和 *CryIF* 基因抗虫大豆 DAS-81419-2 对田间节肢动物等无明显影响。张卓等<sup>[18]</sup>研究证明无论与受体还是当地非转基因主栽

品种相比,转基因大豆 AG5601 对大田中节肢动物多样性都无影响。郭井非等<sup>[19]</sup>的调查显示,转 *cryIIe* 抗虫玉米对田间节肢动物群落多样性无明显影响。与受体大豆 SW80 和对照大豆吉育 71 相比,高油酸转基因大豆 HOA80 对大豆田节肢动物种类无影响,对龟纹瓢虫、大豆蚜、大豆食心虫等种群数量消长动态无影响<sup>[20]</sup>;陈伟等<sup>[7]</sup>在研究中发现与受体中豆 32 相比,在田间种植抗草甘膦大豆 SHZD32-01 对田间节肢动物多样性无影响。本研究也得到相同结果,抗草丁膦转基因大豆在喷施目标除草剂后与受体大豆天隆一号相比,对田间节肢动物种类和数量无明显影响。但本研究调查周期较短,需进一步延长调查时间,进而得到更全面可靠的安全风险评估结论。

4 结论

本研究通过田间喷施不同浓度除草剂与室内生测的方法比较转基因大豆与其受体材料对不同浓度不同除草剂的反应,较好地评价了抗除草剂大豆对靶标除草剂草丁膦以及非靶标除草剂草甘膦、灭草松和烯禾啶的耐受性,同时通过株高等指标筛选出适宜的田间施药剂量,通过粘虫板方法对田间节肢动物进行调查,统计其种类及数量,有效评价转基因作物对生物多样性的影响。结果表明转基因大豆 G1 和 G2 具有遗传稳定性,对靶标除草剂草丁膦具有很强的抗性,对非靶标除草剂的抗性和非转基因大豆无明显差异,喷施草丁膦后的转基因大豆 G1 和 G2 与受体品种天隆一号均对田间节肢动物多样性无显著影响,该结果为转基因大豆的环境安全评价提供了理论依据。

参考文献

[1] 刘爱秋,邓晓建,吴成,等. 转基因作物的安全性问题及对策[J]. 中国农学通报,2002,18(5):70-73. (Liu A Q, Deng X J, Wu C, et al. Study on the problems and strategies of biosafety on genetically modified crops [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(5):70-73. )

[2] Arujanan. ISAAA in 2019 accomplishment report [EB/OL]. <http://www.isaaa.org/resources/publications/annualreport/2019/pdf/ISAAA-2019-Accomplishment-Report.pdf>.

[3] 赵方方. 抗虫耐除草剂转基因玉米吉抗 309 的环境安全评价和营养成分分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2018. (Zhao F F. Environmental safety evaluation and quality analysis of insect-resistant and herbicide transgenic maize Jikang 309 [D]. Harbin: Harbin Normal University, 2018. )

[4] 张宏军,刘学,张佳,等. 草铵膦的作用机理及其应用[J]. 农药与科学管理, 2004, 25(4): 23-27. (Zhang H J, Liu X, Zhang J, et al. Mechanism and utilization of glufosinate-ammonium[J]. Pesticide Science and Administration, 2004, 25(4): 23-27. )

[5] 华乃震. 非选择性除草剂的进展和应用[J]. 农药市场信息, 2011(21): 19-20. (Hua N Z. Progress and application of non-selective herbicides [J]. Pesticide Market News, 2011 (21): 19-20. )

[6] 李凡,孙红伟,杨淑珂,等. 转植酸酶基因玉米对田间节肢动物群落多样性的影响[J]. 生物安全学报,2014,23(4):265-270. (Li F, Sun H W, Yang S K, et al. Effects of phytase transgenic maize on biodiversity of arthropod communities under field conditions[J]. Journal of Biosafety, 2014, 23(4):265-270. )

[7] 陈伟,李娜,曹越平. 抗草甘膦转基因大豆 SHZD32-01 田间节肢动物和杂草多样性研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(1): 54-60. (Chen W, Li N, Cao Y P. Assessment of glyphosate-resistant transgenic soybean SHZD32-01 on biodiversity of arthropod and weed [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2019, 37(1): 54-60. )

[8] 卢涛,李红艳,章洁琼,等. 以 *bar* 基因为筛选标记转基因大豆的获得及鉴定[J]. 大豆科学, 2011, 30(6):895-900. (Lu T, Li H Y, Zhang J Q, et al. Acquisition and identification of transgenic soybean using *bar* as a selective agent [J]. Soybean Science, 2011, 30(6): 895-900. )

[9] 李红艳. 抗胞囊线虫转基因大豆种质创新研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013. (Li H Y. Studies on the germplasm innovation of soybean (*Glycine max* L.) cyst-nematode resistance breeding[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013. )

[10] 徐鵬鸽,冯卫虎,晁倩林,等. 不同种类粘虫板悬挂密度对茶小绿叶蝉种群数量的影响[J]. 茶叶学报, 2019, 60(3):119-121. (Xu K L, Feng W H, Chao Q L, et al. Pest trapping at tea plantation as affected by trap type and hanging density[J]. Acta Tea Sinica, 2019, 60(3):119-121. )

[11] 刘阳,姜洪,袁忠林,等. 粘虫板对苜蓿田牛角花齿蓟马的诱集效果[J]. 山东农业科学, 2019,51(7): 83-86. (Liu Y, Jiang H, Yuan Z L, et al. Attractive effects of sticky boards on *odonthrips loti* in alfalfa field [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019,51(7): 83-86. )

[12] 曹洪玉,李香菊,刘士阳,等. 抗除草剂大豆 356043 对几种除草剂的耐性评价[J]. 杂草学报, 2011, 29(2): 32-35. (Cao H Y, Li X J, Liu S Y, et al. Assessment of herbicide tolerances of transgenic herbicide-resistant soybean variety 356043 [J]. Weed Science, 2011, 29(2): 32-35. )

[13] 姜伟丽,马小艳,任相亮,等. 除草剂草铵膦对转基因抗草铵膦棉花生长发育的影响[J]. 生物安全学报,2016,25(4): 286-290. (Jiang W L, Ma X Y, Ren X L, et al. Effects of glufosinate on the growth and development of transgenic glufosinate-resistant cotton[J]. Journal of Biosafety, 2016, 25(4):286-290. )

[14] Lanelos D Y, Webster E P, Zhang W, et al. Response of glufosinate-resistance rice to glufosinate application timings[J]. Weed Technology, 2003(17): 157-160.

[15] 卜贵军,刘洪梅,李英,等. 草甘膦对大豆超微结构及光合指标影响的研究[J]. 电子显微学报,2008, 27(4):322-330. (Bu G J, Liu H M, Li Y et al. Soybean ultrastructure and photosynthesis index as affected by glyphosate [J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2008, 27(4): 322-330. )

[16] 张宏军. 转基因水稻品系 99-1 对草铵膦抗性及其竞争性的评价[D]. 北京: 中国农业大学, 2003. (Zhang H J. Evaluation of transgenic rice line 99-1 in tolerance to glufosinate and its competition against barnyardgrass[D]. Beijing: China Agricultural University, 2003. )

[17] Marques L H, Santos A C, Castro B A, et al. Impact of transgenic soybean expressing CryI Ac and CryI F proteins on the non-target arthropod community associated with soybean in Brazil[J]. PLoS One, 2018, 13(2): e0191567.

[18] 张卓,刘二明,黄文坤,等. 抗草甘膦转基因大豆对豆田主要杂草多样性的影响[J]. 湖南农业科学, 2011(14): 30-31. (Zhang Z, Liu E M, Huang W K, et al. Effects of glyphosate-resistant transgenic soybean on the diversity of main weeds in soybean fields [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(14): 30-31. )

[19] 郭井菲,张聪,袁志华,等. 转 *cryIIe* 基因抗虫玉米对田间节肢动物群落多样性的影响[J]. 植物保护学报, 2014,41(4): 482-489. (Guo J F, Zhang C, Yuan Z H, et al. Effect of *cryIIe* transgenic maize on the diversity of arthropod community in the field[J]. Journal of Plant Protection, 2014, 41(4): 482-489. )

[20] 康岭生,马瑞,杨向东,等. 高油酸转基因大豆 HOA80 对生物多样性影响的检测[J]. 吉林农业科学, 2014,39(2): 33-36. (Kang L S, Ma R, Yang X D, et al. Assess of impact of high oleic transgenic soybean HOA80 on biodiversity [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2014, 39(2): 33-36. )