

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20250050

转基因抗虫大豆对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾抗性评价 及对田间节肢动物的影响

马月¹, 邵春雨¹, 谢彦博¹, 邢珍娟¹, 王岭¹, 徐文静¹, 郭东全², 李飞武¹, 刘娜^{1*}

¹吉林省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 吉林 长春 130033;

²吉林省农业科学院农业生物技术研究所, 吉林 长春 130033

摘要:【目的】评价转基因抗虫大豆 A2A7009 对靶标害虫斜纹夜蛾和甜菜夜蛾的抗性以及对田间节肢动物多样性的影响, 明确该大豆品种的生态安全性。【方法】以转基因抗虫大豆品系 A2A7009、对应的非转基因大豆 PO₃-8-23、普通感虫大豆品种吉育 86 为对象, 采用田间网室接虫和室内生物测定相结合的方式, 评价转基因抗虫大豆 A2A7009 对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾的抗性水平, 采用直接观察法和陷阱法调查田间节肢动物种类和数量, 分析多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数的动态变化, 评价其对田间节肢动物多样性的影响。【结果】(1) 在田间抗性测定中, 斜纹夜蛾、甜菜夜蛾对转基因抗虫大豆 A2A7009 的为害指数分别为 21.67%、2.50%, 在室内生测试验中, 饲喂转基因抗虫大豆 A2A7009 的斜纹夜蛾、甜菜夜蛾的校正死亡率均为 100%, 与对应的非转基因大豆及常规感虫大豆之间差异显著, 转基因抗虫大豆 A2A7009 对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾的抗性水平均为“高抗”。(2) 转基因抗虫大豆 A2A7009 与对应的非转基因大豆 PO₃-8-23 的田间节肢动物群落结构基本相同, 多样性指数、均匀性指数、优势集中性指数等随时间变化趋势基本一致。【结论】转基因抗虫大豆 A2A7009 对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾抗性较好, 对田间生物多样性无明显负面影响。

关键词: 转基因抗虫大豆; 斜纹夜蛾; 甜菜夜蛾; 抗性; 节肢动物; 生物多样性

Resistance of transgenic insect-resistant soybean to *Spodoptera litura* and *S. exigua* and its impact on field arthropods

MA Yue¹, SHAO Chunyu¹, XIE Yanbo¹, XING Zhenjuan¹, WANG Ling¹,
XU Wenjing¹, GUO Dongquan², LI Feiwu¹, LIU Na^{1*}

¹Institute of Agricultural Quality Standard and Testing Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130033, China; ²Institute of Agricultural Biotechnology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130033, China

Abstract: 【Aim】 To evaluate the resistance of the transgenic insect-resistant soybean line A2A7009 against the target pests: *Spodoptera litura* and *S. exigua*, as well as its impact on field arthropod diversity, and clarify the ecological safety of this soybean line. 【Method】 The transgenic insect-resistant soybean line A2A7009, its non-transgenic counterpart PO3-8-23, and the susceptible conventional soybean line Jiyu 86 were selected as research objects. The resistance levels of A2A7009 against *S. litura* and *S. exigua* were evaluated by combining field net cage infestation experiments with laboratory bioassays. Visual observation and trapping methods were employed to survey field arthropods, and the dynamic changes in diversity index, evenness index, and dominance concentration index were analyzed to assess the impact of A2A7009 on arthropod diversity in agricultural ecosystems. 【Result】 (1) In the field resistance assessment, the hazard indices of *S. litura* and *S. exigua* on A2A7009 were 21.67% and 2.50%. In laboratory bioassays, the corrected mortality rates of *S. litura* and *S. exigua* fed with A2A7009 both reached 100%, which had significant differences from those fed with the non-transgenic soybean counterpart and conventional insect-susceptible soybean. A2A7009 demonstrated high resistance against *S. litura* and *S. exigua*. (2) The arthropod community structure in the field of A2A7009 was fundamentally similar to that of PO3-8-23. The trends of diversity index, evenness index, and dominance concentration index over time were generally con-

收稿日期(Received): 2025-04-10 接受日期(Accepted): 2025-06-25

基金项目: 吉林省杰出青年科技人才项目(20230508091RC)

作者简介: 马月, 女, 硕士, 助理研究员。研究方向: 转基因作物环境安全评价。E-mail: leomayue1993@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), 刘娜, E-mail: ln301317@163.com

sistent. 【Conclusion】 The transgenic insect-resistant soybean line A2A7009 exhibits high resistance to *S. litura* and *S. exigua* and no obvious negative impact on field biodiversity.

Key words: transgenic insect-resistant soybean; *Spodoptera litura*; *Spodoptera exigua*; insect resistance; arthropods; biodiversity

大豆 *Glycine max* (L.) Merr. 原产于中国, 含有丰富的优质蛋白、油脂以及卵磷脂、异黄酮、低聚糖、皂苷等多种营养物质和活性成分, 是重要的经济作物和工业原料(韩天富等, 2021)。大豆害虫是制约其产量的重要因素之一, 每年因虫害造成的大豆产量损失约 10%~15% (李琼和张晓明, 2018)。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 是我国黄、淮海及南方大豆产区主要的食叶类害虫, 迁飞能力较强, 具有间歇爆发性, 并且在初期种群数量小, 不易被发现, 一旦条件适宜, 种群数量则迅速增加, 甚至大面积暴发, 造成大豆绝收(高宇等, 2022; Cai *et al.*, 2023)。

化学防治及种植抗虫品种为常用的害虫防治方法。化学防治虽然见效快, 但长期使用不仅污染环境, 还会提高害虫的抗药性。研究表明, 由于农药的长期使用, 靶标害虫已经对某些化学杀虫剂产生了抗药性(Ahmad *et al.*, 2007; Tong *et al.*, 2013)。传统抗虫品种对环境友好, 但育种周期长、成本高, 无法满足生产需求。与传统育种方法相比, 转基因育种方法具有准确、直接、高效的特点(林敏, 2021; 武小霞等, 2010)。因此, 采用转基因手段培育抗虫大豆品系、开发转基因抗虫大豆, 对控制大豆虫害、保证大豆产量、保障农民经济收入有重要意义。

对靶标害虫的抗性鉴定及田间节肢动物多样性的影响不仅是转基因生物安全评价的重要组成部分, 更是转基因抗虫作物的选育乃至推广应用的关键环节。*Cry1C* 基因能够有效抑制斜纹夜蛾、甜菜夜蛾等鳞翅目害虫(姚瑶等, 2014)。因此, 本研究评价了转 *Cry1C* 基因抗虫大豆品系 A2A7009 对斜纹夜蛾及甜菜夜蛾的抗性, 及对田间生物多样性的影响, 以期对转基因抗虫大豆 A2A7009 的推广应用提供安全的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验所用转 *Cry1C* 基因抗虫大豆 A2A7009、非转基因大豆 PO₃-8-23, 均由吉林省农业科学院农业生物技术研究所研发并提供; 常规大豆敏感品系吉育 86, 由吉林省农业科学院大豆研究所选育和提

供。供试昆虫为本实验室在室内用人工饲料连续饲养多代、遗传背景相对一致的斜纹夜蛾和甜菜夜蛾幼虫。

1.2 试验方法

1.2.1 田间抗性鉴定试验 将供试材料(转基因抗虫大豆 A2A7009、非转基因大豆 PO₃-8-23、常规大豆敏感品系吉育 86) 种植于吉林省农业科学院转基因植物试验基地, 小区面积 30 m², 采用随机区组设计, 3 次重复。接虫前选取小区内生长正常一致的 2 行大豆植株扣棚, 作为接虫行。当大豆生长至 V4~V6 期, 在大豆叶片上分别接入斜纹夜蛾、甜菜夜蛾 1 龄幼虫, 接虫数量分别为 20~30、40~60 头·株⁻¹, 第一次接虫后 3 d 进行第二次接虫, 接虫数量与第一次相同。第二次接虫后 2 周调查接虫植株的叶面积损失率, 2 行共调查 40 株大豆。

叶面积损失率定级如下: 0 级, 无明显为害症状; 1 级, 每株叶片叶面积损失达 0%~5%; 2 级, 每株叶片叶面积损失达 6%~15%; 3 级, 每株叶片叶面积损失达 16%~40%; 4 级, 每株叶片叶面积损失达 40% 以上。

$$\text{为害指数 } X = \frac{\sum (N \times S)}{T \times M} \times 100$$

式中, X 为为害指数, N 为某级受害株数, S 为级别值, T 为调查总株数, M 为调查的最高级别。

抗性水平标准: $0 \leq X < 25$, 高抗; $25 \leq X < 50$, 抗; $50 \leq X < 75$, 中抗; $75 \leq X < 100$, 感。

1.2.2 室内生物测定 每个小区随机选取 20 株 V4~V6 期的大豆植株, 取生长部位一致、无病虫损害、完全展开的嫩叶, 按株用自封袋装好后迅速带回实验室备用。将叶片放入直径 9 cm、铺有 2 层湿润滤纸的培养皿中, 并接入 5 头 1 日龄的斜纹夜蛾、甜菜夜蛾幼虫, 每皿为 1 次重复, 每个试验材料 20 次重复。置于温度 26~28 °C、RH 60%~80%、光照条件为光照: 黑暗 = 16 h : 8 h 的人工气候箱内培养。每天补充无菌水保持滤纸湿润, 根据被取食消耗情况更换相同来源的新鲜叶片。接虫后第 5 天调查记录存活幼虫数。

$$\text{死亡率 } x/\% = \frac{N - n}{N} \times 100$$

$$\text{校正死亡率 } y/\% = \frac{x_1 - x_0}{1 - x_0} \times 100$$

式中, x 为死亡率, n 为存活数, N 为接虫数; y 为幼虫校正死亡率, x_1 为受试材料死亡率, x_0 为感虫对照材料死亡率。

抗性水平标准: 幼虫校正死亡率 $y \geq 90$, 高抗; $90 > y \geq 60$, 抗; $60 > y \geq 40$, 中抗; $40 > y \geq 20$, 低抗; $20 > y$, 感。若感虫对照组死亡率低于 20%, 表明试验体系工作正常, 可用于检测转基因抗虫作物目标蛋白是否达到高剂量表达的要求; 否则, 需查找原因, 重新进行试验。阴性对照组死亡率低于 5%, 无需校正; 阴性对照组死亡率在 5% ~ 20%, 应计算校正死亡率。

1.2.3 对大豆田节肢动物多样性影响 直接观察法: 从大豆出苗到成熟, 从 2022 年 7 月 6 日—9 月 19 日, 每 10 d 调查 1 次 (根据实际天气情况, 雨天或其他恶劣天气适当调整调查时间), 共调查 8 次。每次调查时每小区对角线 5 点取样, 每点调查 20 株, 记载大豆上、中、下 3 个叶位的节肢动物的种类和数量。

陷阱法: 在大豆定苗后 10 d 开始到成熟, 从 2022 年 7 月 9 日—9 月 23 日, 每 10 d 调查 1 次 (根据实际天气情况, 雨天或其他恶劣天气适当调整调查时间), 共调查 8 次。每小区采用对角线 5 点取样, 每点埋设 3 个塑料杯 ($\Phi 10 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$), 杯中放有 5% 的洗涤剂水, 不超过杯容积的 1/3, 间隔 0.5 m, 在埋杯的第 2 天, 调查杯中的节肢动物种类和数量。

记录所有直接观察到的或陷阱法得到的节肢动物的名称和数量。用节肢动物群落的多样性指数、均匀性指数和优势集中性指数分析比较转基因抗虫大豆田昆虫群落、害虫和天敌亚群落的稳定性。

节肢动物群落的多样性指数公式:

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

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。计算结果保留 2 位小数。

节肢动物群落的均匀性指数公式:

$$J = H/\ln S$$

式中, J 为均匀性指数, H 为多样性指数, S 为物种数。计算结果保留 2 位小数。

节肢动物群落的优势集中性指数公式:

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

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。计算结果保留 2 位小数。

1.3 数据处理

通过 Excel 2007 对原始数据进行整理, 并利用分析软件进行差异显著分析。

2 结果与分析

2.1 田间抗性测定

在斜纹夜蛾抗性田间接虫鉴定中, 转基因大豆 A2A7009 部分植株个别叶片有少量小孔洞, 受害较轻, 为害等级为 0~1 级, 为害指数为 21.67%, 抗性水平为“高抗”; 非转基因大豆及常规大豆敏感品系损失率超过 80%, 大部分植株叶片仅剩叶脉, 为害指数达到 100, 抗性水平均为“感”。转基因大豆 A2A7009 对斜纹夜蛾抗性与对照差异显著 (表 1)。

在甜菜夜蛾抗性田间接虫鉴定中, 转基因大豆 A2A7009 绝大部分植株无明显受害症状, 仅少数植株个别叶片有小的孔洞, 为害等级为 0~1 级, 为害指数为 2.50%, 抗性水平为“高抗”; 非转基因大豆及常规大豆敏感品系受害较重, 绝大部分植株叶片损失率超过 40%, 为害指数分别为 94.17 和 100, 抗性水平均为“感”。转基因大豆 A2A7009 对甜菜夜蛾抗性与对照差异显著 (表 1)。

表 1 供试材料对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾抗性田间接虫鉴定结果

Table 1 Resistance of three soybean lines to *S. litura* and *S. exigua* in the field

供试昆虫 Test insects	供试材料 Soybean line	为害指数 Hazard index	抗性水平 Resistance level
斜纹夜蛾 <i>S. litura</i>	A2A7009	21.67±1.82b	高抗 High resistance
	PO ₃ -8-23	100.00±0.00a	感 Susceptibility
	吉育 86	100.00±0.00a	感 Susceptibility
甜菜夜蛾 <i>S. exigua</i>	A2A7009	2.50±1.44b	高抗 High resistance
	PO ₃ -8-23	94.17±5.83a	感 Susceptibility
	吉育 86	100.00±0.00a	感 Susceptibility

表中数据为平均值±标准误差, 数据后小写字母表示各处理之间在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性。

Data are means±SE. The lowercase letters following the data indicate the significance of differences among the treatments at the $\alpha=0.05$ level.

2.2 室内生物测定

由表 2 可知,接虫后 5 d,饲喂当地非转基因感虫大豆叶片的斜纹夜蛾幼虫全部存活、甜菜夜蛾幼虫 1 头死亡,饲喂非转基因对照大豆叶片的斜纹夜蛾幼虫 2 头死亡、甜菜夜蛾幼虫 1 头死亡,其余均

生长正常,而饲喂转基因大豆叶片的斜纹夜蛾、甜菜夜蛾幼虫全部死亡,校正死亡率均为 100%。转基因大豆 A2A7009 对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾的抗性水平均为“高抗”。

表 2 供试材料对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾抗性室内生测鉴定结果

Table 2 Results of laboratory bioassay on resistance of three soybean lines to *S. litura* and *S. exigua*

供试昆虫 Test insects	试验材料 Soybean line	死亡率 Mortality/%	校正死亡率 Corrected mortality/%	抗性水平 Resistance level
斜纹夜蛾 <i>S. litura</i>	A2A7009	100	100	高抗 High resistance
	PO ₃ -8-23	2	-	
	吉育 86	0	-	
甜菜夜蛾 <i>S. exigua</i>	A2A7009	100	100	高抗 High resistance
	PO ₃ -8-23	1	-	
	吉育 86	1	-	

2.3 对大豆田节肢动物群落结构的影响

在转基因抗虫大豆 A2A7009 整个生育期内,分别采用直接观察法和陷阱法各调查 8 次。通过分析 2 种调查方法的数据,发现直接观察法调查中转基因大豆 A2A7009 及其对照的优势种群为瓢虫、蚜虫、草蛉、双斑萤叶甲、蝽、蜘蛛、蚂蚁等,陷阱法调查到的优势种群为跳虫、有翅蚜、隐翅虫、蜘蛛、蚂

蚁等。2 种调查记录的优势种群能起到互补作用。转基因抗虫大豆小区与非转基因对照大豆小区 2 种方法调查到的主要节肢动物种类相似,转基因大豆 A2A7009 与其对照相比,节肢动物群落物种数 (*S*)、个体总数 (*N*)、多样性指数 (*H*)、均匀性指数 (*J*) 以及优势集中性指数 (*C*) 均无显著差异 ($P < 0.05$) (表 3、4)。

表 3 大豆田主要节肢动物种类和数量

Table 3 Main species and number of arthropods in soybean fields

物种 Species	试验材料 Soybean line	直观法 Visual observation method	陷阱法 Trapping method
瓢虫 Coccinellidae	成虫 Adult	A2A7009	16.7±2.2
		PO ₃ -8-23	18.7±5.4
	幼虫 Larvae	A2A7009	10.0±5.0
		PO ₃ -8-23	8.7±4.1
	蛹 Pupa	A2A7009	8.0±3.5
		PO ₃ -8-23	6.7±3.0
卵 Eggs	A2A7009	2.0±0.6	
	PO ₃ -8-23	1.3±0.3	
蚜虫 Aphididae	A2A7009	557.3±48.5	
	PO ₃ -8-23	507.0±28.6	
草蛉 Chrysopidae	成虫 Adult	A2A7009	3.7±1.8
		PO ₃ -8-23	4.3±0.7
	卵 Eggs	A2A7009	49.7±2.4
		PO ₃ -8-23	43.0±2.5
步甲 Carabidae	A2A7009	2.7±0.9	
	PO ₃ -8-23	1.3±0.7	
叶甲 Chrysomelidae	A2A7009	27.3±1.9	
	PO ₃ -8-23	26.3±1.5	
双斑萤叶甲 <i>Monolepta hieroglyphica</i>	A2A7009	52.7±10.9	
	PO ₃ -8-23	67.3±3.9	
蝽 Pentatomidae	A2A7009	49.0±1.5	
	PO ₃ -8-23	47.0±4.4	
赤须盲蝽 <i>Trigonotylus ruficornis</i>	A2A7009	22.7±6.8	
	PO ₃ -8-23	17.3±2.7	

续表 3

物种 Species	试验材料 Soybean line	直观法 Visual observation method	陷阱法 Trapping method
红蜡 Pyrrhocoridae	A2A7009	29.0±5.3	3.7±1.2
	PO ₃ -8-23	34.0±7.5	1.3±0.9
隐翅虫 Staphylinidae	A2A7009	14.3±0.3	27.7±1.2
	PO ₃ -8-23	18.3±1.8	23.0±2.1
蟋蟀 Gryllidae	A2A7009	2.3±0.9	5.0±1.7
	PO ₃ -8-23	2.0±0.0	4.3±0.9
跳虫 Collembola	A2A7009	-	91.0±18.8
	PO ₃ -8-23	-	67.7±1.8
蜘蛛 Araneida	A2A7009	134.7±5.4	39.3±3.7
	PO ₃ -8-23	124.0±7.8	37.0±4.7
蚂蚁 Formicidae	A2A7009	30.3±9.4	25.3±0.3
	PO ₃ -8-23	55.7±5.2	24.0±3.2

表中数据为平均值±标准误差。

Data are means±SE.

表 4 大豆田不同处理间的节肢动物群落结构差异性分析

Table 4 Comparison of arthropod community structure among different treatments in soybean fields

调查方法 Survey method	处理 Treatments	物种数(S) Number of species	个体总数(N) Total number of individuals	多样性指数 (H) Diversity index	均匀性指数 (J) Evenness index	优势集中性指数 (C) Dominance concentration index
直接观察法 Visual observation method	A2A7009	30.67±1.45	1108.00±61.02	2.16±0.06	0.63±0.02	0.24±0.02
	PO ₃ -8-23	31.33±0.88	1084.33±13.30	2.32±0.05	0.67±0.01	0.20±0.01
陷阱法 Trapping method	A2A7009	24.67±1.76	332.67±11.46	2.43±0.16	0.76±0.04	0.14±0.03
	PO ₃ -8-23	25.00±2.52	300.00±15.63	2.53±0.06	0.79±0.01	0.11±0.01

表中数据为平均值±标准误差。

Data are means±SE.

2.4 对大豆田节肢动物个体总数动态的影响

在直接观察法中(图 1A),调查初期转基因大豆小区和对照非转基因大豆小区大豆植株较小,节肢动物总数较少,随着大豆不断生长且温度升高,节肢动物总数也随之增加,呈上升趋势,随后节肢动物总数趋于平稳,当大豆生长至成熟期后,温度开始降低,节肢动物总数开始逐渐减少,曲线呈下降趋势。在陷阱法中(图 1B),调查初期由于跳虫发生数量较多,节肢动物总数偏高,大豆生长中期节肢动物数量趋于平稳,大豆生长后期随着温度降低,节肢动物逐渐减少,曲线开始下降。如图所示,A2A7009 和 PO₃-8-23 田间节肢动物个体总数变化趋势基本一致,各调查时期数量均无显著差异。

2.5 对大豆田节肢动物物种数的影响

在直接观察法中(图 2A),每百株节肢动物物种数分别在 12~20 种,其中 8 月 18 日调查结果出现波动,与正值雨季有关,降雨会导致节肢动物数量和种类有所下降。在陷阱调查法中(图 2B),每百株节肢动物物种数分别在 5~16 种,其中 8 月 7 日调查的物种数量最多,此时天气炎热、大豆正处于生长旺盛期,节肢动物种类比较丰富。2 种调查

方式的物种数量均呈现先增后降的趋势,各调查时期 A2A7009 和 PO₃-8-23 物种数间均无显著差异。

2.6 对大豆田节肢动物各群落指数动态的影响

直接观察法节肢动物各群落指数统计结果表明,多样性指数(图 3A)和均匀性指数(图 3B)均表现为先降后升的趋势,优势集中性指数(图 3C)则呈现先升后降的趋势,在 8 月 7 日—28 日调查间出现波动,可能是由于蚜虫与双斑萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) 的数量增多所致,而 8 月下旬后,随着气温降低,节肢动物种类和数量逐渐下降,优势集中性指数降低,多样性指数和均匀性指数有所提升。大豆 A2A7009 和 PO₃-8-23 处理间各群落指数变化趋势基本一致,各调查时期均无显著差异。

陷阱法节肢动物各群落指数的变化趋势则与直接观察法相反,多样性指数(图 4A)和均匀性指数(图 4B)均呈现先增后降的趋势,优势集中性指数(图 4C)呈现先降后增的趋势,在调查初期跳虫的发生数量处于优势,导致优势集中性指数为最高值,随着跳虫数量降低,其他节肢动物数量的增加,优势集中性指数开始下降,而多样性指数和均匀性

指数逐渐上升,并且 3 个指数均趋于平稳。调查后期节肢动物数量、种类开始减少,优势集中性指数在后期呈现上升趋势,多样性指数和均匀性指数略

微降低。大豆 A2A7009 和 PO₃-8-23 处理间各群落指数变化趋势基本一致,各调查时期均无显著差异。

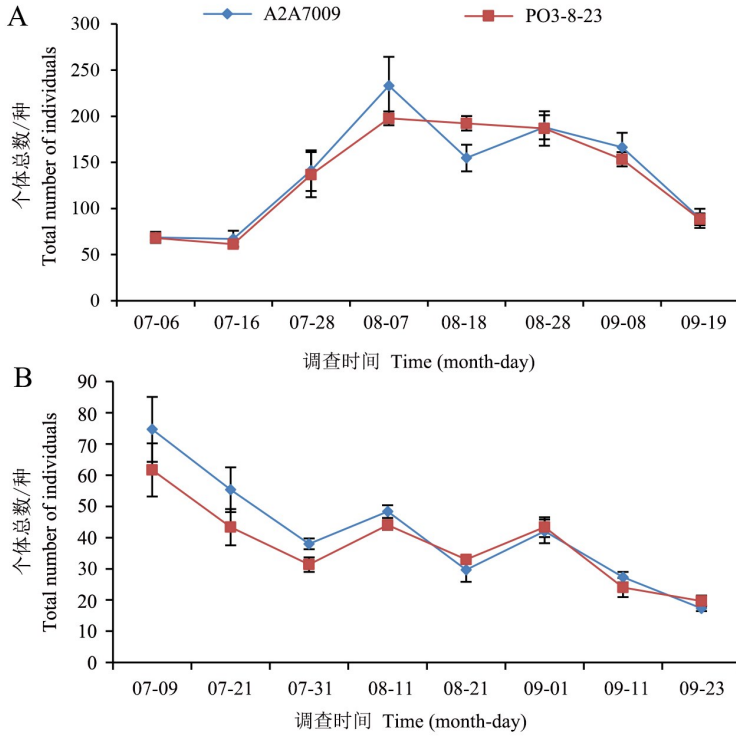


图 1 直接观察法 (A) 和陷阱法 (B) 节肢动物群落个体总数动态分布

Fig.1 Dynamics of total number of individuals in the arthropod community by visual observation (A) and trapping (B) methods

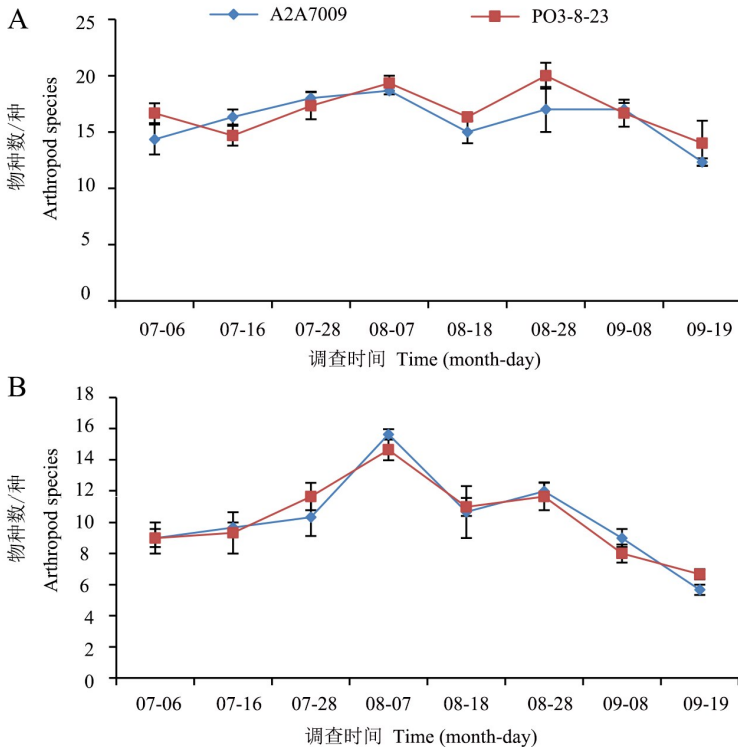


图 2 直接观察法 (A) 和陷阱法 (B) 节肢动物物种数动态分布

Fig.2 Dynamics of arthropod species by visual observation (A) and trapping (B) methods

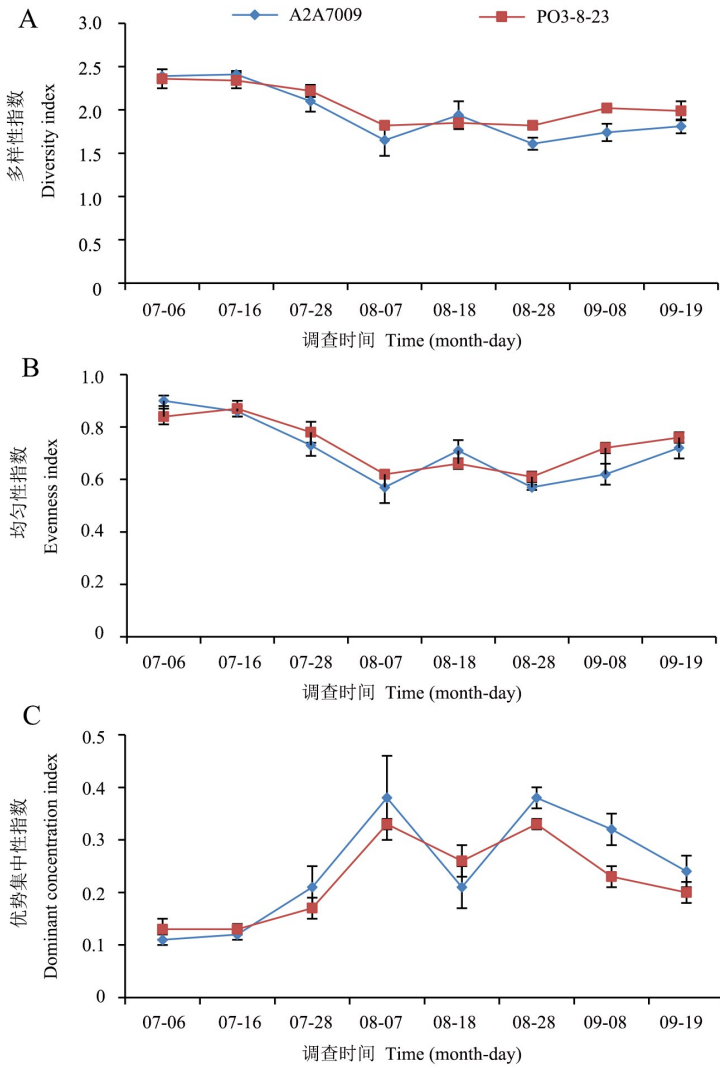


图 3 直接观察法节肢动物群落多样性指数 (A)、均匀性指数 (B) 和优势集中性指数 (C) 动态分布

Fig.3 Dynamics of arthropod diversity index (A), evenness index (B), and dominant concentration index (C) by visual observation

3 讨论

准确的抗虫性鉴定是选育抗虫大豆品种和进行相关研究的基础(徐冉等,2007),目前,常用的抗虫性鉴定方法有田间自然虫源鉴定法、网室接虫法、室内生物测定法(盖钧镒和崔章林,1997)。郁亚齐(2024)利用 *Bt* 大豆不同组织的室内生测以及田间网室接虫法评价其对斜纹夜蛾、草地贪夜蛾的抗虫效果,结果表明,*Bt* 大豆对斜纹夜蛾、草地贪夜蛾均达到高抗水平。Bacalhau *et al.* (2020) 采用室内生测和田间自然虫源鉴定法评估 MON 87751×MON 87708×MON 87701×MON 89788 大豆,发现该品种不仅对鳞翅目主要害虫具有较好的防治效果,还可减少其他靶标害虫的侵害。在巴西,无论室内生测还是田间评价,转基因大豆 DAS-81419-2 对鳞翅目害虫均表现出较强的抗性, Fast *et al.* (2015)

通过在不同的地区种植结果表明,转基因大豆 DAS-81419-2 能显著降低棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner、南美玉米苗斑螟 *Elasmopalpus lignosellus* 对大豆的危害。本研究中,由于斜纹夜蛾、甜菜夜蛾均为迁飞能力较强、具有暴食性的害虫,因此采用田间网室接虫和室内生测相结合的方式,对转基因大豆品种 A2A7009 的抗性进行评价,结果表明, A2A7009 大豆对斜纹夜蛾、甜菜夜蛾均表现出良好的抗性,具有很好的推广应用前景。

转基因作物对田间节肢动物多样性的影响作为评价转基因作物生态风险的重要指标,一直是相关领域的研究热点。节肢动物作为农田生态系统中的重要组成部分,在维持生态系统稳定性和功能完整性等方面发挥着不可替代的作用(王尚等,2014)。目前,关于转基因作物生态安全性方面已

有大量研究,多数研究支持种植转基因作物对节肢动物多样性无负面影响的观点。杨晓然(2023)等研究发现,在不同区域种植的3种转基因大豆对田间节肢动物群落丰富度、多样性、均匀性、优势集中性指数均无显著影响,但不同区域的田间节肢动物多样性存在一定差异,因此认为,相比于转基因大豆,复杂的气候环境对节肢动物多样性的影响更大。Marques *et al.* (2018)研究发现,喷洒杀虫剂的非 *Bt* 大豆田对非靶标节肢动物群落的影响显著,*Bt* 大豆田的群落响应与未施药对照无显著差异。转基因耐除草剂大豆 ZH10-6 对田间节肢动物群落组成、群落结构、发生规律、大豆主要病害及根瘤菌数量等方面与对照大豆中黄 10 无显著差异(王成等, 2021)。种植转基因抗虫作物还可能提高田间节肢动物群落的丰富度和多样性,进而提高生态系统的

稳定性(Bhatti *et al.*, 2005)。本研究得到的结论与多数研究结果一致,转基因抗虫大豆 A2A7009 对节肢动物多样性无不利影响。

但种植转基因抗虫作物仍可能衍生一些生态问题,如长期种植,害虫可能通过自然选择对转基因毒素(如 *Bt* 蛋白)产生抗性(杨晓伟等,2022),长期依赖单一抗虫基因可能导致农田中的次要害虫演化成为主要害虫(Lu *et al.*, 2008)。因此,转基因作物的生态安全性需要长期监测,并预判其可能出现的风险,制定相应的措施,在有序推进转基因抗虫作物产业化的同时,保障生态系统稳定、生物多样性安全和转基因作物的可持续利用,并且透明公开的监测数据可以减少公众对转基因的疑虑,提高技术接受度。

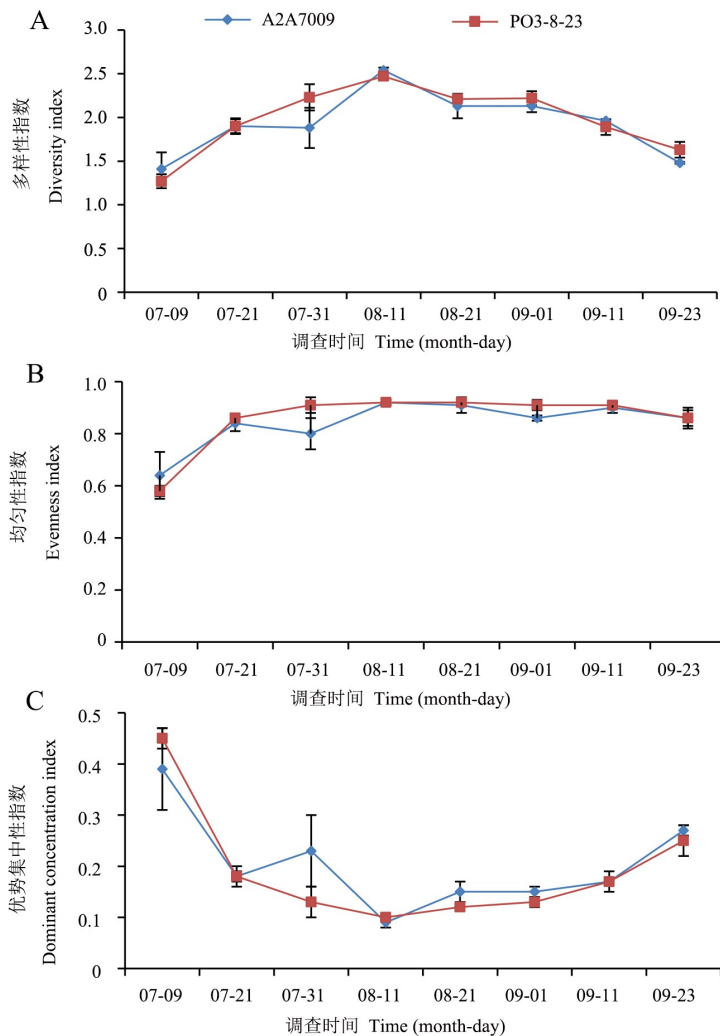


图 4 陷阱法节肢动物群落多样性指数(A)、均匀性指数(B)和优势集中性指数(C)动态分布

Fig.4 Dynamics of arthropod diversity index (A), evenness index (B), and dominant concentration index (C) by trapping method

参考文献

- 盖钧镒, 崔章林, 1997. 大豆抗食叶性害虫育种的鉴定方法与标准. 作物学报, 23(4): 400-407.
- 高宇, 朱诗禹, 田径, 毕锐, 崔娟, 史树森, 2022. 大豆主要害虫防控技术研究进展. 大豆科技, 178(3): 18-25.
- 韩天富, 周新安, 关荣霞, 孙石, 田世艳, 王曙明, 杨中路, 2021. 大豆种业的昨天、今天和明天. 中国畜牧业(12): 29-34.
- 李琼, 张晓明, 2018. 病虫害对5个大豆主产国大豆产量影响的概述. 农学学报, 8(4): 23-27.
- 林敏, 2021. 农业生物育种技术的发展历程及产业化对策. 生物技术进展, 11(4): 405-417.
- 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.
- 王尚, 王柏凤, 严杜升, 王军, 武奉慈, 席景会, 宋新元, 2014. 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, 23(4): 271-277.
- 武小霞, 李静, 王志坤, 刘珊珊, 李海燕, 武天龙, 李文滨, 2010. *Cry1Aa1* 基因转化大豆及抗虫性的初步评价. 上海交通大学学报(农业科学版), 28(5): 413-419.
- 徐冉, 王彩洁, 李伟, 张礼凤, 邢邯, 2007. 大豆抗虫性鉴定研究进展. 大豆科学, 26(5): 771-774.
- 杨晓然, 刘靖, 姚淑军, 沈文静, 郭慧, 刘标, 薛堃, 2023. 3种不同抗除草剂转基因大豆对田间节肢动物多样性的影响. 生态与农村环境学报, 39(4): 504-510.
- 杨晓伟, 李云河, 韩兰芝, 2022. “高剂量/庇护所”策略在 *Bt* 玉米靶标害虫抗性治理中的应用及成效. 植物保护, 48(4): 59-67.
- 姚瑶, 钱雪艳, 李闯, 邢国杰, 杨向东, 郭东全, 李启云, 董英山, 2014. 抗虫基因 *Cry1C* 转化大豆的研究. 安徽农业科学, 42(35): 12461-12463.
- 郁亚齐, 2024. 华北地区 *Bt* 大豆对斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的抗性评价. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.
- AHMAD M, ARIF M I, AHMAD M, 2007. Occurrence of insecticide resistance in field populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. *Crop Protection*, 26(6): 809-817.
- BACALHAU F B, DOURADO P M, HORIKOSHI R J, CARVALHO R A, SEMEÃO A, MARTINELLI S, BERGER G U, HEAD G P, SALVADORI J R, BERNARDI O, 2020. Performance of genetically modified soybean expressing the *Cry1A.105*, *Cry2Ab2*, and *Cry1Ac* proteins against key lepidopteran pests in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 113(6): 2883-2889.
- BHATTI M A, DUAN J, HEAD G, JIANG C, PILCHER C D, 2005. Field evaluation of the impact of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae)-protected *Bt* corn on ground-dwelling invertebrates. *Environmental Entomology*, 34(5): 1325-1335.
- CAI L Y, QIN R, LI X, LIU X Y, YU D Y, WANG H, 2023. *GmERF54*, an ERF transcription factor, negatively regulates the resistance of soybean to the common cutworm (*Spodoptera litura* Fabricius). *Agronomy*, 13: 596.
- FAST B J, SCHAFFER A C, JOHNSON T Y, POTTS B L, HERMAN R A, 2015. Insect-protected event DAS-81419-2 soybean (*Glycine max* L.) grown in the United States and Brazil is compositionally equivalent to nontransgenic soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(7): 2063-2073.
- LU Y H, QIUF, FENG H Q, LI H B, YANG Z C, WYCKHUYS K A G, WU K M, 2008. Species composition and seasonal abundance of pestiferous plant bugs (Hemiptera: Miridae) on *Bt* cotton in China. *Crop Protection*, 27(3/4/5): 465-472.
- 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.
- TONG H, SU Q, ZHOU X, BAI L Y, 2013. Field resistance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to organophosphates, pyrethroids, carbamates and four newer chemistry insecticides in Hunan, China. *Journal of Pest Science*, 86(3): 599-609.

(责任编辑:郭莹)