

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

王 尚¹, 王柏凤², 严杜升¹, 王 军¹, 武奉慈², 席景会¹, 宋新元^{2*}

¹吉林大学植物科学学院, 吉林 长春 130062; ²吉林省农业科学院, 农业部转基因植物
环境安全监督检验测试中心, 吉林 长春 130124

摘要:【背景】转基因手段已成为改良玉米品种的重要途径之一, 具有诸多优点的转基因玉米越来越受到人们的青睐。转基因玉米带来巨大经济和社会效益的同时, 其安全风险问题也引发人们广泛关注, 因此有必要对转基因玉米进行生物多样性影响评价。【方法】采用直接观察法和陷阱法对种植转 EPSPS 基因抗除草剂玉米 CC-2 及其对应的非转基因对照郑 58 的田间节肢动物进行调查, 分析其群落组成、群落结构及主要类群动态。【结果】转基因玉米 CC-2 无论是喷施除草剂还是不喷施除草剂处理, 与其对应的非转基因对照郑 58 相比, 田间节肢动物群落组成、群落结构, 以及田间主要节肢动物类群动态均无显著差异。【结论与意义】初步认为转 EPSPS 基因抗除草剂玉米 CC-2 对节肢动物多样性无安全风险, 为转 EPSPS 基因抗除草剂玉米的推广提供一定生态安全数据。

关键词: 转基因抗除草剂玉米; 节肢动物; 种群动态; 生物多样性

Impacts of transgenic herbicide-resistant maize with EPSPS gene on arthropod biodiversity in the fields

Shang WANG¹, Bai-feng WANG², Du-sheng YAN¹, Jun WANG¹, Feng-ci WU²,
Jing-hui XI¹, Xin-yuan SONG^{2*}

¹College of Plant Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130062, China; ²National Center for Environmental
Safety Inspection of Transgenic Plants, Ministry of Agriculture, Jilin Academy of Agricultural Sciences,
Changchun, Jilin 130124, China

Abstract: 【Background】Genetic engineering has become a powerful tool for maize breeding. The transgenic maize has been increasing in popularity. The transgenic maize brings lots of the economic and social benefits, but people pay greater attention to the potential security issues of transgenic maize than in the past. So it is important to evaluate the impact of transgenic maize cultivation on biodiversity. 【Method】Direct observations and pitfall traps were used to investigate the arthropod in transgenic herbicide-resistant maize with EPSPS gene (CC-2) treated with or without herbicide and non-transgenic maize (zheng 58). The community composition and structure and seasonal dynamics of dominant groups were also analyzed in this three treatments. 【Result】Compared with non-transgenic maize, transgenic herbicide-resistant maize with or without herbicide had no significant effects on composition and structure of arthropod community and seasonal dynamics of dominant groups. 【Conclusion and significance】These results suggest that transgenic herbicide-resistant maize (CC-2) has no risk to diversity of arthropods. This study provides basic ecological safety data for releasing of transgenic herbicide-resistant maize with EPSPS gene.

Key words: transgenic herbicide-resistant maize; arthropod; seasonal dynamics; biodiversity

随着生物工程育种技术的完善与成熟, 转基因 降低成本、减少农药残留、简化管理、提高产量等诸
手段已成为改良玉米品种的重要途径之一。具有 多优点的转基因玉米越来越受到人们的青睐(陈洁

收稿日期(Received): 2014-09-20 接受日期(Accepted): 2014-10-12

基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项(2014ZX08011-003); 吉林省农业科技创新工程项目; 吉林省科技发展计划项目(20130522075JH)

作者简介: 王尚, 男, 硕士研究生。研究方向: 昆虫多样性

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: songxinyuan1980@163.com

君等,2007)。1996年转基因玉米商业化推广以来,其种植面积不断增加,截至2013年,全球转基因玉米种植国家达17个,种植总面积超过5000万 hm^2 ,占全球玉米种植总面积的32%(James,2014)。转基因玉米带来巨大社会和经济效益的同时,其对环境,尤其是对生物多样性可能带来的潜在风险也引起人们关注(宋新元等,2011;左娇等,2014)。

节肢动物是农田生态系统的重要组成部分,是维持农田生态系统正常生态功能的重要因素,因此节肢动物群落结构及其重要类群的季节动态一直是转基因植物环境安全评价关注的重要内容。2007年我国颁布了转基因抗虫玉米、抗除草剂玉米对生物多样性影响的环境安全评价标准(中华人民共和国农业部,2007),亦将转基因玉米对节肢动物多样性的影响作为重要评价内容。目前,国内外关于抗虫性状转基因玉米对节肢动物影响的研究较多(刘慧等,2012;刘俊峰等,2013;卢颖等,2008;Farinós *et al.*,2008;Stephens *et al.*,2012),但是关于抗除草剂性状转基因玉米对田间节肢动物多样性影响的报道相对较少。

本研究选址于我国重要的东北春玉米区吉林,选取我国研发阶段最靠前(生产性试验)、最具产业化前景的转EPSPS(5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase,5-烯醇丙酮酰-莽草酸-3-磷酸合成酶)基因抗除草剂玉米CC-2及对应的非转基因玉米郑58为对象,利用直接观察法和陷阱法,分析节肢动物群落组成、群落结构、重要类群季节动态等参数,研究转基因玉米对田间节肢动物多样性的影响,旨在为转EPSPS基因抗除草剂玉米CC-2未来的推广提供安全数据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

转EPSPS基因抗除草剂玉米品种CC-2(C)及对应的非转基因玉米郑58(CK),由转基因玉米CC-2的研发单位中国农业大学提供。

1.2 试验地点

试验地点为吉林省公主岭市“国家转基因植物中试与产业化基地(吉林)”、“农业部转基因植物环境安全监督检验测试中心(长春)”环境安全研究试验圃场。公主岭市($43^{\circ}11' \sim 44^{\circ}09'N$, $124^{\circ}10' \sim$

$125^{\circ}18'E$)位于吉林省中西部,属于大陆性季风气候,年均气温 5.6°C ,年均降水量562 mm,土壤以黑钙土和薄层黑土为主,有机质含量较高(岳书平等,2006),是国家重要的商品粮基地之一,被称为松辽平原黄金玉米带(张大瑜等,2005)。

1.3 试验设计

本试验共3个处理。处理1:转基因抗除草剂玉米不喷施除草剂(C);处理2:转基因抗除草剂玉米喷施目标除草剂草甘膦(C~H);处理3:非转基因玉米对照不喷施除草剂(CK);每个处理3次重复,共9个小区,每小区面积 $150\text{ m}^2(10\text{ m} \times 15\text{ m})$,随机区组排列。试验种植参考当地玉米大田生产方式,常规耕作管理。

处理2中,目标除草剂为农达(41%草甘膦异丙胺盐水剂,孟山都公司出品),除草剂喷施时间为玉米V6期(6叶期),除草剂喷施浓度按说明书推荐剂量,既0.57%农达除草剂(5.7 mL农达除草剂兑1 L水)。

1.4 调查方法

1.4.1 直接观察法 从玉米定苗后10 d到成熟,每10 d调查1次,每小区采用对角线5点取样,每点固定5株玉米。调查整株玉米(蚜虫和叶螨,收集上、中、下3叶)及其地面 1 m^2 范围内各种节肢动物。调查时,首先快速观察记录活泼易动的昆虫和(或)蜘蛛数量,对于不易分类的类群,保存到装有95%乙醇溶液的胶卷盒中,做好标记,带回实验室进一步鉴定。

1.4.2 陷阱法 从玉米定苗后10 d到成熟,每10 d调查1次,每小区采用对角线5点取样,每点埋设3个塑料杯($\Phi 15\text{ cm} \times 10\text{ cm}$),杯与杯间隔0.5 m,杯中放5%的洗涤剂水,液体不超过杯容积的1/3,在埋杯的第2 d,将杯中各种节肢动物收集起来,保存到装有95%乙醇溶液的胶卷盒中,做好标记,带回实验室鉴定。

鉴定时主要参照《昆虫分类学》(郑乐怡和归鸿,1999)、《中国昆虫生态大图鉴》(张巍巍和李元胜,2011)等相关论著,记录节肢动物的数量、种类和发育阶段。

1.5 数据处理

根据各类群数量占总量的百分比来划分节肢

动物的数量等级:10%以上者为优势类群;1%~10%为常见类群;小于1%为稀有类群(王子健等,2012)。

节肢动物群落特征值采用下列公式计算:

Shannon-Wiener 多样性指数: $H' = -\sum (n_i/N) \ln (n_i/N)$; Simpson 优势度指数: $D = \sum (n_i/N)^2$; Pielou 均匀度指数: $J = H' / \ln S$ 。

式中, N 为节肢动物个体总数, n_i 为第*i*类群个体数, S 为节肢动物类群数(廖崇惠等,1997)。

通过 EXCEL2007 对原始数据进行整理,运用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行统计分析,采用单因素方差分析(one-way analysis, ANOVA)和最小显著差异法(LSD)进行差异显著分析。

2 结果与分析

2.1 节肢动物类群及数量组成

2013年7~9月,8次直接观察法和陷阱法共采集样本720份。其中,不喷施除草剂的转基因玉米田(C)中,鉴定出节肢动物2纲11目23类,平均每小区节肢动物个体总数为909.00头,优势类群为蚜科和瓢甲科,分别占个体总数的60.25%和10.01%;常见类群为蠋蝮科(5.57%)、蚁科(5.50%)、蜘蛛目(4.55%)、蟋蟀科(3.45%)、叶甲科(2.46%)、啮虫目(1.91%)、步甲科(1.50%)、草蛉科(1.21%);稀有类群13类,其个体总数占节肢动物个体总数的3.59%。喷施除草剂的转基因玉米田(C~H)中,鉴定出节肢动物2纲11目24类,平均每小区节肢动物个体总数为796.67头,优势类群为蚜科和瓢甲科,分别占个体总数的53.51%和12.26%;常见类群为蠋蝮科(7.28%)、蚁科(6.78%)、蜘蛛目(5.19%)、蟋蟀科(4.06%)、叶甲科(2.72%)、草蛉科(1.63%)、步甲科(1.46%)、蝇科(1.17%)、鳞翅目幼虫(1.17%)、啮虫目(1.30%);稀有类群12类,其个体总数占节肢动物个体总数的1.46%。对应的非转基因玉米田(CK)中,鉴定出节肢动物2纲9目22类,平均每小区节肢动物个体总数为773.00头,优势类群为蚜科和瓢甲科,分别占捕获个体总数的54.51%和11.21%;常见类群为蜘蛛目(6.77%)、蠋蝮科(6.25%)、蚁科(5.30%)、蟋蟀科(4.36%)、步甲科(2.16%)、啮虫目(1.94%)、叶甲科(1.90%)、蝇科

(1.34%);稀有类群12类,其个体总数占节肢动物个体总数的4.27%。统计分析结果表明,2种处理的转基因玉米田与对应的非转基因玉米田间节肢动物类群基本一致,发生数量无显著差异(表1)。

2.2 对节肢动物主要类群季节动态的影响

对2种处理转基因玉米田与对应的非转基因玉米田中蚜科、瓢甲科、蠋蝮科、蜘蛛目、蟋蟀科、叶甲科、步甲科和草蛉科等共8个主要节肢动物类群季节动态变化进行分析,变化趋势如图1。其中,瓢甲科、蜘蛛目、叶甲科、步甲科和草蛉科变化趋势较为一致,均在初始和结束调查时期发生数量最少,在7月末发生量达到最大。蚜科在7月25日左右出现一个高峰然后逐渐减低,9月中下旬有所升高。蚜科与瓢甲科发生规律此消彼长,季节动态密切相关,这是由于瓢甲科中异色瓢虫、龟纹瓢虫等物种均为蚜虫的主要天敌昆虫,对蚜科有明显控制作用。蠋蝮科在8月中下旬和9月上旬发生量较大,在8月23号达到峰值;蟋蟀科的发生量较为平稳,9月28日发生量达到最大值。差异显著性分析结果表明,各个调查时期,2种处理的转基因玉米田与对应的非转基因玉米田8个主要节肢动物类群的发生量均无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 对节肢动物群落结构的影响

对2种不同处理方式下的转基因玉米田及其对应的非转基因玉米田间节肢动物群落结构动态变化进行分析,结果表明,各玉米田间节肢动物 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数发生趋势均十分相似(图2)。其中,Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均在7月25日突然下降,随后不断上升,并分别在8月末和9月初达到峰值,随后呈下降趋势;而 Simpson 优势度指数变化趋势恰好相反,在7月25日达到峰值,随后不断下降,在8月末达到最低值后又开始上升。差异显著性分析结果表明,各个调查时期,2种处理的转基因玉米与对应的非转基因玉米田间 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数尽管存在轻微波动,但均无显著差异($P>0.05$)。

表 1 玉米田内节肢动物个体数 (*I*) 及分布频率 (*F*)

Table 1 Abundance (*I*) and frequency (*F*) of each arthropod group caught in the fields of the 3 types of maize

类群 Groups	C		C~H		CK	
	<i>I</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>F</i>
蜘蛛目 Araneae	41.33±1.76a	4.55	41.33±2.85a	5.19	52.33±6.89a	6.77
盲蛛目 Opiliones	3.33±2.85a	0.37	0.33±0.33a	0.04	1.33±0.33a	0.17
蟋蟀科 Gryllidae	31.33±1.76a	3.45	32.33±6.17a	4.06	33.67±1.45a	4.36
蝼蛄科 Gryllotalpidae	0.33±0.33a	0.04	0.33±0.33a	0.04	0.00±0.00a	0.00
蠼螋科 Labiduridae	50.67±5.24a	5.57	58.00±6.43a	7.28	48.33±3.53a	6.25
隐翅甲科 Staphyilidae	0.67±0.67a	0.07	0.00±0.00a	0.00	0.67±0.67a	0.09
步甲科 Carabidae	13.67±3.28a	1.50	11.67±1.45a	1.46	16.67±3.71a	2.16
犀金龟科 Dynastidae	0.67±0.67a	0.07	0.00±0.00a	0.00	0.00±0.00a	0.00
粪金龟科 Geotrupidae	2.67±1.33a	0.29	1.33±0.33a	0.17	1.67±0.88a	0.22
瓢甲科 Coccinellidae	91.00±9.07a	10.01	97.67±2.33a	12.26	86.67±6.84a	11.21
叶甲科 Chrysomelidae	22.33±2.19a	2.46	21.67±5.78a	2.72	14.67±2.96a	1.90
草蛉科 Chrysopidae	11.00±2.31a	1.21	13.00±4.04a	1.63	7.00±2.00a	0.91
麻蝇科 Sarcophagidae	0.00±0.00a	0.00	1.00±0.58a	0.13	3.00±2.00a	0.39
蝇科 Muscidae	8.33±0.67a	0.92	9.33±2.33a	1.17	10.33±1.67a	1.34
食蚜蝇科 Syrphidae	0.00±0.00a	0.00	0.33±0.33a	0.04	0.00±0.00a	0.00
寄蝇科 Tachinidae	0.00±0.00a	0.00	1.33±0.88a	0.17	1.33±0.67a	0.17
蚊科 Culicidae	1.33±0.33a	0.15	1.00±1.00a	0.13	3.33±1.33a	0.43
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	4.67±1.86a	0.51	9.33±0.88a	1.17	7.00±1.15a	0.91
叶蝉科 Cicadellidae	1.00±0.58a	0.11	0.33±0.33a	0.04	1.33±0.88a	0.17
盲蝽科 Miridae	3.00±0.00a	0.33	2.33±0.33a	0.29	1.67±0.67a	0.22
缘蝽科 Coreidae	3.67±0.33a	0.40	1.00±1.00a	0.13	2.67±0.33a	0.34
蚜科 Aphididae	547.67±103.43a	60.25	426.33±72.72a	53.51	421.33±52.99a	54.51
花蝽科 Anthocoridae	2.33±0.88a	0.26	2.00±1.15a	0.25	2.00±0.00a	0.26
蚁科 Formicidae	50.00±14.00a	5.50	54.00±7.77a	6.78	41.00±7.94a	5.30
赤眼蜂科 Trichogrammatidae	0.67±0.67a	0.07	0.33±0.33a	0.04	0.00±0.00a	0.00
啮虫目 Psocoptera	17.33±0.88a	1.91	10.33±1.67a	1.30	15.00±5.57a	1.94
总计 Total	909.00±106.55a	100.00	796.67±73.26a	100.00	773.00±37.02a	100.00

数据为平均个体数±SE, n=3。分布频率为每个类群个体数量占不同处理玉米田内所有节肢动物个体数量的百分比,相同小写字母表示经 LSD 法检验转基因玉米田及其对应的非转基因玉米田之间无显著差异 (P>0.05)。C: 转 EPSPS 基因抗除草剂玉米不喷施除草剂; C~H: 转 EPSPS 基因抗除草剂玉米喷施除草剂; CK: 对应的非转基因玉米不喷施除草剂。

Individuals per plot±SE, n=3. The frequency indicates the percentage of the number of individuals of each groups accounting for the total number of individuals of all groups. The same letters in the same column indicate no significant difference between the transgenic maize and the non-transgenic maize at P>0.05 by LSD test. C: Untreated transgenic herbicide-resistant maize; C~H: Transgenic herbicide-resistant maize treated with herbicide; CK: Untreated non-transgenic maize.

3 讨论

从转基因玉米诞生起,其生态安全性问题一直备受关注。因此,进行转基因玉米对生物多样性影响的安全评价十分必要。当前关于转基因玉米对节肢动物多样性影响的研究不断增多,采用何种采样方法至关重要。目前田间节肢动物的多样性调查方法主要包括直接观察法、吸虫器法、地面陷阱法、空中水盆诱捕法和解剖法等,各种方法均有利弊(郭井菲等,2014)。在转抗草甘膦基因大豆对田间节肢动物影响的研究中,张卓等(2011)仅采用直接观察法对节肢动物进行调查;吴奇等(2008)结合直接观察法和吸虫器法对节肢动物进行调查;刘慧等(2012)也采用直接观察法和吸虫器法研究了转

cry1Ab 基因玉米对瓢虫科天敌种群动态的影响。

本试验中,将直接观察法和陷阱法 2 种方法相结合对玉米田间节肢动物进行调查。其中,直接观察法能够对可见范围内不易移动的全部节肢动物进行收集(吴奇等,2008)。鉴于直接观察法对于易逃脱、善藏匿的的节肢动物不能及时辨清和收集,并且调查时间在白天,对于夜间活动的节肢动物种类存在调查局限,因此又以陷阱法作为补充。陷阱法在埋杯第 2 天进行收集,虽然较直接观察法灵活自主性差,但捕获时间长且经历夜间,弥补了直接观察法的局限性。本文将 2 种方法的调查数据进行整合分析,确保分析结果更为准确可靠。

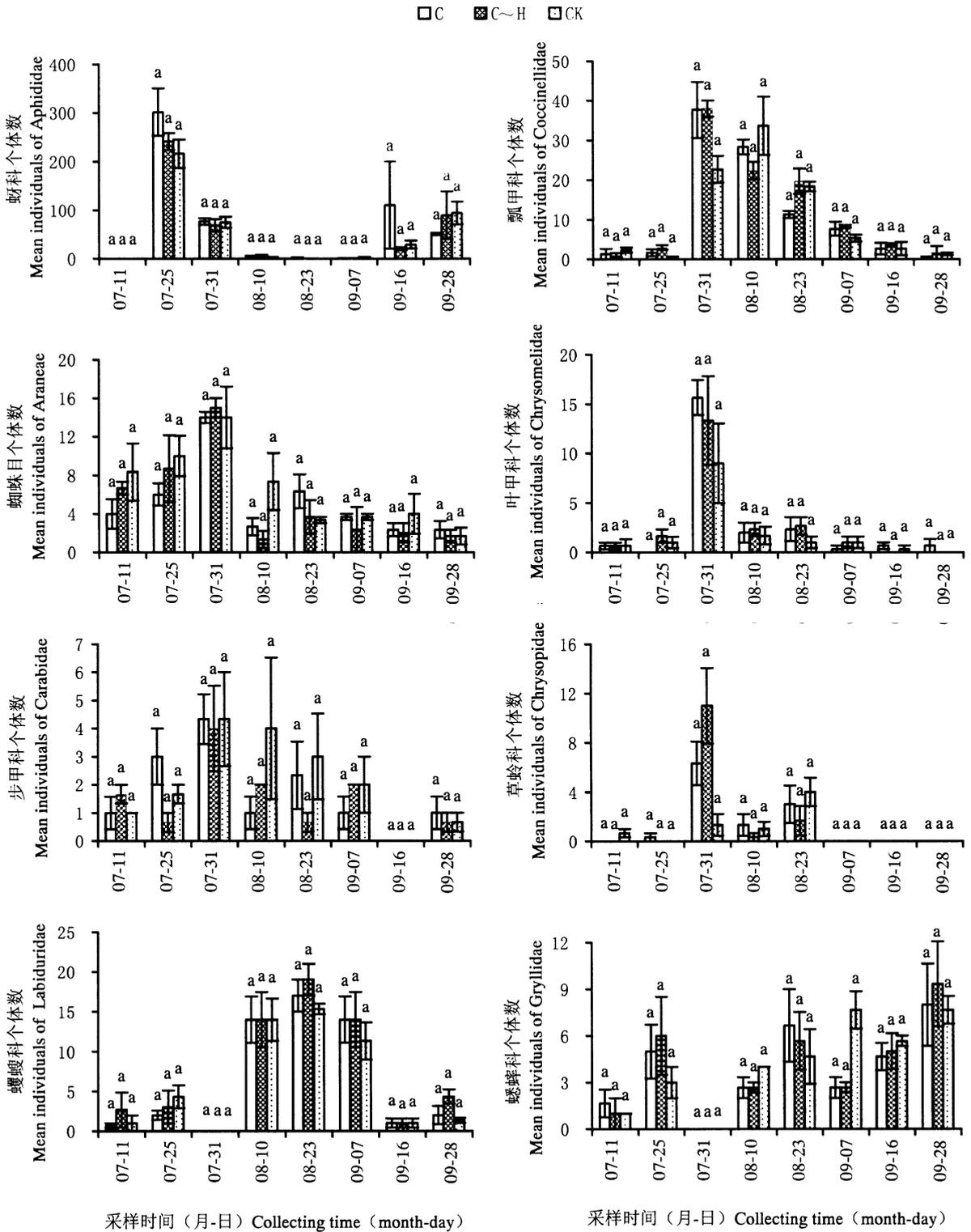


图1 转基因玉米及其对应的非转基因玉米田间主要类群个体数量季节变化

Fig.1 Seasonal changes of the dominant arthropod groups in the fields of the 3 types of maize

数值为平均个体数±SE。相同小写字母表示经 LSD 法检验转基因玉米田及其对应的非转基因玉米田之间无显著差异(P>0.05)。

Individuals per plot±SE. The same letters in the same column indicate no significant difference between the transgenic maize and the non-transgenic maize at P>0.05 by LSD test.

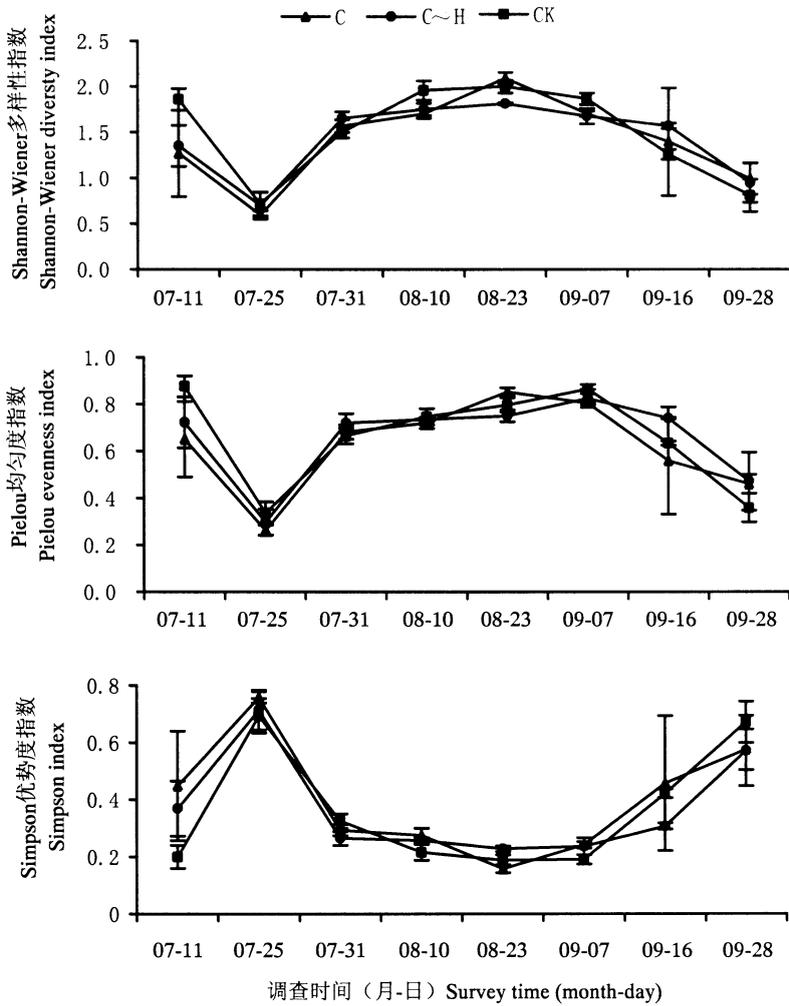


图 2 不同处理的转基因玉米田及其对应的非转基因玉米田节肢动物群落结构
 Fig.2 Community structure of arthropods of the diversity of arthropod groups in 3 types of maize.

刘慧等(2012)进行了转 *cry1Ab* 基因玉米对瓢虫科天敌种群动态影响的研究,结果表明该转基因玉米对瓢虫科天敌种群多样性无不良影响;赵彩云等(2013)研究结果也表明,转植酸酶基因玉米对步甲物种多样性没有明显影响;与此类似,郭井菲等(2014)的调查显示,转 *cry1Ie* 抗虫玉米对田间节肢动物群落多样性无明显影响。本试验得到类似结果,即在 2 种处理的转基因玉米田及其对应的非转基因玉米田中节肢动物物种组成相似,主要类群季节动态和群落结构指数动态变化较为一致,均无显著差异。本研究结果初步表明,转 EPSPS 基因抗除草剂玉米 CC-2 较之对应的非转基因玉米,对田间节肢动物多样性无明显影响,并且在转基因抗除草剂玉米 CC-2 田间进行喷施目标除草剂处理,亦对田间节肢动物多样性无明显影响。但本试验为 1 年调查结果,若想得到更全面、可靠的安全风险评估,还有待进一步多年跟踪调查。

参考文献

陈洁君, 王劲, 宛煜嵩, 金芄军. 2007. 转基因作物安全性评价与商品化前景分析. 中国农业科技导报, 9(3): 38-43.
 郭井菲, 张聪, 袁志华, 何康来, 王振营. 2014. 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, 41(4): 482-489.
 廖崇惠, 李建雄, 黄海涛. 1997. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. 生态学报, 17(5): 549-555.
 刘慧, 何康来, 白树雄, 王振营. 2012. 转 *cry1Ab* 基因玉米对瓢虫科天敌种群动态的影响. 生物安全学报, 21(2): 130-134.
 刘俊峰, 邸宏, 曾兴, 裴海英, 周成生, 孟宪玉, 王术敏, 王振华. 2013. 转 *BcBCP1* 基因耐盐碱玉米对田间节肢动物群落的影响分析. 玉米科学, 21(3): 35-39.
 卢颖, 何付丽, 赵长山. 2008. 转 *Bt* 基因玉米对田间主要捕食性天敌安全性的影响. 作物杂志, (2): 52-54.
 宋新元, 张欣芳, 于壮, 李新海, 张明. 2011. 转基因植物环境安全评价策略. 生物安全学报, 20(1): 37-42.

- 王子健, 刘佳, 王尚, 杨巽, 席景会, 王军. 2012. 净月潭国家森林公园凋落物层土壤动物群落多样性. 生态与农村环境学报, 28(4): 368-372.
- 吴奇, 彭德良, 彭于发. 2008. 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. 生态学报, 28(6): 2622-2628.
- 岳书平, 张树文, 闫业超, 张祥贞. 2006. 公主岭市土地利用变化的生态效应研究. 资源科学, 28(6): 161-166.
- 张大瑜, 凌风楼, 张立馥, 张世琦, 刘兴土, 高旺盛. 2005. 东北平原粮食主产区公主岭市种植业系统的能值分析. 农业工程学报, 21(6): 12-17.
- 张巍巍, 李元胜. 2011. 中国昆虫生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社.
- 张卓, 黄文坤, 刘茂炎, 彭德良, 刘二明. 2011. 转基因耐草甘膦大豆对豆田节肢动物群落多样性的影响. 植物保护, 37(6): 115-119.
- 赵彩云, 肖能文, 柳晓燕, 何丁元, 关潇, 白加德, 李俊生. 2013. 转植酸酶基因玉米对步甲群落动态的影响. 昆虫学报, 56(6): 680-688.
- 郑乐怡, 归鸿. 1999. 昆虫分类学. 南京: 南京师范大学出版社.
- 中华人民共和国农业部. 2007. 第953号公告. 转基因检测标准. 北京: 中华人民共和国农业部.
- 左娇, 郭运玲, 孔华, 徐林, 周霞, 郭安平. 2014. 转基因玉米安全性评价研究进展. 玉米科学, 22(1): 73-78.
- Farinós G P, de la Poza M, Hernández-Crespo P, Ortego F and Castañera P. 2008. Diversity and seasonal phenology of aboveground arthropods in conventional and transgenic maize crops in Central Spain. *Biological Control*, 44: 362-371.
- James C. 2014. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. Brief No. 46*. Ithaca, NY: ISAAA.
- Stephens E J, Losey J E, Allee L L, DiTommaso A, Bodner C and Breyre A. 2012. The impact of Cry3Bb Bt-maize on two guilds of beneficial beetles. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156: 72-81.

(责任编辑:郭莹)

