

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2013.02.007

转基因抗草甘膦抗虫棉的荒地生存竞争能力

马小艳, 马艳*, 彭军, 姜伟丽, 马亚杰

中国农业科学院棉花研究所, 棉花生物学国家重点实验室, 河南 安阳 455000

摘要:【背景】随着转基因作物的大量种植,其环境安全性已成为目前的研究热点,其中转基因作物的荒地生存竞争能力,是其环境安全性评价的重要内容之一。【方法】以2种转双价抗草甘膦抗虫基因(*EPSPS* + *cry1Ac*)棉为试验品种,非转基因棉中棉所49为对照品种,分别于4月底和5月底在荒地用地表撒播和3 cm深播2种方式播种,并于4~9月份对棉花存活率、株高、真叶数、茎直径、果枝数、蕾铃数等生长参数进行比较,以检测、评价其荒地竞争能力及杂草化风险。【结果】无论是撒播还是深播,荒地中棉花长势均较弱,表现为生长缓慢、植株矮小、生育期延迟。4月底播种的棉花有极个别植株能够结铃,但铃数极少且小,无成熟的种子;5月底播种的棉花长势更弱,至9月底未见蕾铃。【结论与意义】转基因抗草甘膦抗虫棉在荒地中无竞争优势,不能繁殖传代,无杂草化风险。本研究为转基因棉花环境安全评价技术的完善提供了理论依据。

关键词: 转基因抗草甘膦抗虫棉; 生存竞争能力; 杂草化风险

Survival of transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton in non-cultivated land

Xiao-yan MA, Yan MA*, Jun PENG, Wei-li JIANG, Ya-jie MA

State Key Laboratory of Cotton Biology, Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang, Henan 455000, China

Abstract: 【Background】Safety assessment of transgenic crop plants has been a concern, and only limited knowledge can be obtained from pre-release experiments. Once released, the survival and competitiveness of transgenic crops in non-cultivated land is one of the most important safety concerns. 【Method】We tested three transgenic cotton cultivars, two double-construct transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton cultivars, and one non-transgenic cotton (CCRI 49), which was the isogenic control. Seeds were scattered on the soil surface, or planted 3 cm deep in late April and late May. We compared the growth parameters among the examined cotton varieties monthly from April to September, including survival rate, plant height, leaf number, stem diameter, sympodial branch number, bud and boll numbers, in order to test and evaluate their competitiveness on non-cultivated land and the risk of weediness. 【Result】Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton in wasteland was weak and stunted with slow and retarded growth. Only a few individuals sown in late April could produce a few small bolls; these were without mature seeds. Plants sown in late May were weaker, and no bud appeared until late September. 【Conclusion and significance】Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton had no competitive advantage and limited reproductive capacity on non-cultivated land, and consequently, low weediness potential.

Key words: transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton; survival competitiveness; weediness potential

转基因植物尤其是转基因农作物的产业化,在给人类带来巨大的经济效益的同时,对人类健康和生态环境可能造成的影响受到人们越来越多的关注(宋新元等,2011; Andow & Zwahlen, 2006)。为此,许多国家在转基因作物商业化种植之前,都要先对其环境安全性进行评价。我国已在2007年发布了农业部953号公告,规定了转基因抗虫水稻、抗病水稻、抗虫玉米、抗除草剂玉米和抗虫棉花等作物,在生存竞争性、基因漂移、与近缘野生种的可交配性及对非靶标生物的影响等方面的环

收稿日期(Received): 2013-04-08 接受日期(Accepted): 2013-05-08
基金项目: 国家转基因生物培育重大专项(2011ZX08011-002); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金(SJB1202)
作者简介: 马小艳,女,副研究员,博士。研究方向: 棉田杂草生物学、生态学和综合防治及转基因棉花环境安全评价技术。E-mail: harmanni@126.com
* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: mayan@cricaas.com.cn

境安全评价技术标准(中华人民共和国农业部, 2007)。其中,转基因作物的荒地生存竞争能力及其转变为杂草的可能性,是转基因作物环境安全性评价的重要内容之一(刘娜等,2006; James, 1996)。农业部 953 号公告也规定了相应的评价方法,且不同作物的评价方法基本相同。

近年来,人们依据这些标准对部分转基因作物的荒地生存竞争能力,即杂草化风险进行了评价。宋小玲等(2009)研究了美国孟山都公司生产的抗草甘膦转基因大豆 40-3-2 在中国南京地区环境条件下演化为杂草的可能性,结果表明其演化为杂草的生态风险小;康岭生等(2010)对高油酸转基因大豆 HOA₈₀ 的荒地生存竞争能力进行检测后发现,其生存能力和繁殖能力与受体大豆 SW80 和常规大豆吉育 71 无显著差异,也没有与杂草竞争的优势,无杂草化风险;陈小文等(2012)研究了转 *cry1Ac* 基因玉米在野外自然条件和模拟野外条件下的生存能力,发现与非转基因受体玉米相比,外源基因的导入增大了玉米的生存竞争能力,但与杂草相比竞争能力仍较差,无演化为超级杂草的可能性;转双价抗黄萎病基因(*Glu* 和 *Chi*)棉花和受体棉花在与杂草的竞争中均处于弱势,且种子和植株残体不能安全越冬,无杂草化风险(王振宇等,2010; 张兴华等,2011);张兴华等(2012)通过分析棉花出苗、株高、生育进程、吐絮瓣和絮瓣脱落等竞争力,系统评价了转 *cry1Ac* + *cry2Ab* 基因棉和转 *cry1Ac* + *EPSPS* 基因棉的荒地生存能力,结果表明两者在荒地条件下生长无杂草化风险。但是上述研究对标准公布的方法的实效性分析较少(张兴华等,2011、2012)。

本文以转基因抗草甘膦抗虫棉为研究对象,依据农业部 953 号公告,对其荒地生存竞争能力进行评价,并分析现有方法的可操作性,以期为转基因棉花环境安全评价技术的完善提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验品种为 2 种转双价抗草甘膦抗虫基因(*EPSPS* + *cry1Ac*)棉(简称双价棉 I 和双价棉 II),对照品种为非转基因常规棉——中棉所 49(简称常规棉),均由中国农业科学院棉花研究所育种研究室提供。

1.2 试验处理

试验于 2012 年在河南安阳中国农业科学院棉

花研究所试验农场的杂草圃中进行。试验品种和对照品种各设 4 个处理:分别于 4 月 25 日和 5 月 25 日播种,播种方式均为地表撒播和 3 cm 深度点播 2 种。每个小区播种 40 粒,播种后不进行任何栽培管理。每个处理设 3 次重复,随机排列,小区面积为 2 m × 3 m。

1.3 调查方法

1.3.1 杂草调查 于棉花播种前在每个小区随机选择 2 个样方,每个样方 0.25 m²,调查样方内杂草的种类和数量,并目测整个小区内杂草的覆盖度,以后每隔 1 个月调查 1 次,至 9 月底结束。

1.3.2 棉花出苗率及生长发育调查 棉花播种 10 d 后调查各小区的出苗率。播种后每隔 1 个月详细调查各小区的棉花株数,测量所有棉花的株高、真叶数、茎直径、果枝数、蕾铃数等生育指标,至 9 月底结束。

1.4 统计分析

运用 SPSS 13.0 软件对所有数据进行统计分析,采用单因素方差分析(One-way analysis, ANOVA)和 Duncan's 差异显著性分析,检验同一时期不同小区内杂草发生情况的差异,以及棉花生长参数在双价棉和常规棉之间的差异。

2 结果与分析

2.1 杂草发生情况

整个试验过程中,杂草圃中共见杂草 25 种,分属于 13 科,其中,禾本科 6 种、菊科 7 种、旋花科 2 种、马齿苋科、苋科、藜科、蔷薇科、茄科、锦葵科、唇形科、桑科、十字花科和莎草科各 1 种。经 Duncan's 差异显著性分析,同一时期不同处理区之间杂草的种类、密度和覆盖度无显著性差异(表 1)。各处理区杂草种类和密度呈现相同的季节变化规律:4~6 月杂草处于出土高峰期,种类和密度逐渐增大;随后个别优势杂草生长旺盛,其荫蔽作用抑制了新生杂草和幼苗的生长,故杂草种类和密度逐渐降低,最终形成以小飞蓬 *Conyza Canadensis* (L.) Cronq. 为绝对优势种的杂草群落。而杂草覆盖度则呈现逐渐增大的趋势,4 月底播种时,绝大多数杂草处于苗期,植株矮小,杂草平均覆盖度仅为 23.4%;随着杂草的不断萌发和生长,覆盖度逐渐增大,至 6 月底已达到 90% 以上。

表1 2种播种方式下小区杂草种类、密度和覆盖度

Table 1 The species, density and coverage of weed in each district by two sowing methods

播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	杂草种类 Weed species									
		4月底播种 Sown in late April					5月底播种 Sown in late May				
		04-25	05-25	06-25	07-25	08-25	05-25	06-25	07-25	08-25	
地表撒播 Scattered on surface	I	5.0±2.6a	8.0±2.6a	9.0±2.6a	8.3±2.1a	8.3±2.5a	8.7±0.6a	8.0±1.0a	7.7±2.5a	5.0±2.0a	
	II	6.0±1.0a	8.7±2.3a	8.3±1.2a	8.0±1.0a	7.0±0.0a	8.0±3.0a	7.3±2.1a	7.3±3.1a	7.0±2.6a	
	Isogenic control	5.3±2.5a	8.7±1.5a	9.0±1.0a	8.3±0.6a	6.7±1.5a	9.0±1.0a	9.3±1.5a	6.3±2.1a	5.7±1.5a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	I	6.7±0.6a	8.3±1.2a	10.3±0.6a	7.3±2.3a	6.7±1.5a	10.7±1.5a	10.3±1.2a	8.3±2.1a	5.3±1.5a	
	II	6.3±1.5a	10.3±3.2a	9.3±0.6a	9.0±1.0a	6.7±0.6a	9.7±0.6a	9.7±1.5a	6.3±2.1a	6.0±1.0a	
	Isogenic control	5.3±1.5a	8.7±2.1a	8.3±2.3a	7.7±1.2a	6.3±1.2a	9.3±0.6a	8.7±2.5a	5.3±2.5a	5.0±1.0a	
杂草密度(株·m ⁻²) Weed density (plants·m ⁻²)											
播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	4月底播种 Sown in late April					5月底播种 Sown in late May				
		04-25	05-25	06-25	07-25	08-25	05-25	06-25	07-25	08-25	
地表撒播 Scattered on surface	I	298.0±314.3a	674.7±232.0a	858.7±623.7a	448.7±378.2a	202.0±108.9a	1079.3±93.3a	1313.3±555.2a	539.3±90.7a	215.3±136.4a	
	II	744.0±1018.0a	960.7±726.3a	1070.0±252.9a	444.7±282.1a	308.7±339.3a	2853.3±1981.4a	2053.3±744.2a	490.0±32.9a	370.7±343.1a	
	Isogenic control	274.3±135.1a	447.7±78.1a	554.3±93.8a	399.0±69.1a	198.3±61.1a	1572.0±863.2a	1498.0±461.0a	306.3±185.3a	307.0±225.3a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	I	227.3±177.3a	433.3±116.3a	958.7±780.7a	351.3±150.2a	228.0±196.9a	752.0±445.0b	851.3±723.4a	431.3±240.3a	194.0±59.2a	
	II	832.7±540.6a	924.7±794.8a	1288.7±436.6a	652.0±505.2a	380.0±300.5a	1080.0±150.7ab	1482.0±321.6a	344.0±211.6a	205.3±48.9a	
	Isogenic control	471.0±416.4a	731.0±416.3a	868.3±378.8a	565.3±212.1a	286.0±53.9a	1408.3±145.5a	1643.0±427.1a	307.0±150.2a	254.3±73.0a	
杂草覆盖度 Weed coverage (%)											
播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	4月底播种 Sown in late April					5月底播种 Sown in late May				
		04-25	05-25	06-25	07-25	08-25	05-25	06-25	07-25	08-25	
地表撒播 Scattered on surface	I	16.7±2.9a	43.0±32.5a	91.7±5.8a	97.7±2.5a	100±0a	93.3±2.9a	96.7±5.8a	95.3±6.4a	100±0a	
	II	30.0±17.3a	60.0±32.8a	93.7±3.2a	96.7±5.8a	100±0a	89.3±16.7a	97.0±1.7a	96.7±4.2a	100±0a	
	Isogenic control	16.7±2.9a	51.7±20.2a	90.0±5.0a	95.0±5.0a	100±0a	81.7±7.6a	93.3±2.9a	96.7±5.8a	100±0a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	I	21.7±7.6a	48.3±16.1a	92.7±6.8a	95.3±6.4a	100±0a	71.7±16.1a	95.0±0.0a	96.7±5.8a	100±0a	
	II	33.3±15.3a	63.3±38.8a	91.7±2.9a	99.3±1.2a	100±0a	76.7±17.6a	95.0±0.0a	99.3±1.2a	100±0a	
	Isogenic control	21.7±7.6a	66.7±12.6a	88.3±7.6a	95.0±5.0a	100±0a	75.0±10.0a	95.0±0.0a	95.0±8.7a	100±0a	

I :转双价抗草甘膦抗虫基因(*EPSPS* + *cry1Ac*)棉 I ; II :转双价抗草甘膦抗虫基因(*EPSPS* + *cry1Ac*)棉 II ; Isogenic control:非转基因常规棉——中棉所49。数据为平均值±标准差;同一列中小写字母不同者表示差异显著($P<0.05$)。

I : Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton I ; II : Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton II ; Isogenic control: Common cotton, CCRI 49. Values are means ± SD; different small letters in same column represent a significant difference ($P<0.05$).

2.2 4月底播种竞争能力表现

2.2.1 出苗率及存活率 调查结果(表2)显示,4月底播种,深播方式下棉花的出苗率高于撒播;同一播种方式下,双价棉I与常规棉的存活率相当,均高于双价棉II的存活率,但三者差异不显著;由于荒地杂草密度大、生长旺盛,在杂草的荫蔽作用下,棉花的存活率随时间推移呈逐渐降低的趋势。至9月底,撒播方式下,双价棉I的存活率为27.5%,高于常规棉,但两者差异不显著,且均显著高于双价棉II的存活率(8.3%);深播方式下,双价棉I与常规棉的存活率达50%左右,高于双价棉II的存活率(35.0%),但三者差异不显著。上述结果表明,荒地4月底撒播和深播棉种,在不进行任何栽培管理的情况下,转基因抗草甘膦抗虫棉的存活率与常规棉相比无竞争优势。

2.2.2 营养生长竞争力 由表3可以看出,4月底播种,同一品种撒播处理的植株高度在相同时期比深播处理略矮;但同一播种方式下,双价棉株高与常规棉相比,无显著差异。真叶数情况与株高相似,同一时期同一品种深播处理的叶片数多于撒播处理,但品种间差异不显著;而同一时期同一品种撒播和深播处理间茎直径差异不大,且双价棉与常规棉比较,茎直径差异不显著。总的来说,荒地4月底撒播和深播棉种,在不进行任何栽培管理的情况下,转基因抗草甘膦抗虫棉的营养生长与常规棉相比无竞争优势。在杂草的荫蔽作用下,双价棉和常规棉在荒地中均生长缓慢,至9月底,棉花平均株高仅为12.6~21.8 cm,真叶数7.5~10.5片,茎直径也仅为2.8~3.6 mm。

表 2 不同播种方式下转基因抗草甘膦抗虫棉在荒地中的出苗率和存活率

Table 2 Emergence and survival rates of transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton with different sowing patterns in non-cultivated land													
播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	出苗率 Emergence rate (%)		存活率 Survival rate (%)									
		4 月底播种 Sown in late April	5 月底播种 Sown in late May	4 月底播种 Sown in late April					5 月底播种 Sown in late May				
				05 – 25	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	
地表撒播 Scattered on surface	I	40.0 ± 15.2a	19.6 ± 6.9a	37.5 ± 13.0a	30.0 ± 13.2a	25.8 ± 10.1a	28.3 ± 6.3a	27.5 ± 6.6a	24.2 ± 8.9a	12.9 ± 10.6a	11.3 ± 10.2a	11.3 ± 9.4a	
	II	18.3 ± 14.2a	27.9 ± 16.6a	19.2 ± 11.3a	14.2 ± 10.1a	15.8 ± 10.1a	18.3 ± 12.6a	8.3 ± 5.8b	20.0 ± 7.5a	20.4 ± 7.1a	19.2 ± 9.2a	15.8 ± 10.1a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	Isogenic control	36.7 ± 15.1a	21.7 ± 3.1a	35.8 ± 12.8a	31.7 ± 11.8a	27.5 ± 10.9a	25.8 ± 8.0a	25.0 ± 6.6a	25.8 ± 3.1a	13.8 ± 9.0a	11.7 ± 8.5a	12.5 ± 7.8a	
	I	68.3 ± 16.6a	46.7 ± 2.6a	60.0 ± 13.9a	59.2 ± 19.1a	49.2 ± 22.7a	48.3 ± 23.8a	50.0 ± 23.8a	18.3 ± 5.2a	11.7 ± 6.4a	10.8 ± 8.0a	12.1 ± 7.5a	
	II	56.7 ± 1.4a	35.8 ± 8.0b	47.5 ± 8.7a	40.0 ± 5.0a	40.8 ± 7.2a	38.3 ± 8.8a	35.0 ± 6.6a	15.0 ± 12.3a	14.6 ± 11.6a	10.8 ± 5.6a	8.3 ± 3.1a	
	Isogenic control	70.8 ± 9.5a	45.0 ± 1.3ab	66.7 ± 12.3a	59.2 ± 15.3a	52.5 ± 15.0a	50.8 ± 18.8a	49.2 ± 21.3a	23.3 ± 4.0a	14.6 ± 6.3a	12.5 ± 4.5a	11.3 ± 3.8a	

I : 转双价抗草甘膦抗虫基因 (*EPSPS* + *cry1Ac*) 棉 I ; II : 转双价抗草甘膦抗虫基因 (*EPSPS* + *cry1Ac*) 棉 II ; Isogenic control : 非转基因常规棉——中棉所 49。数据为平均值 ± 标准差; 同一列中小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)。

I : Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton I ; II : Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton II ; Isogenic control : Common cotton, CCRI 49。Values are means ± SD; different small letters in same column represent a significant difference ($P < 0.05$)。

表 3 2 种播种方式下棉花的株高、真叶数和茎直径
Table 3 Cotton height, leaf number and stem diameter under two sowing patterns

播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	株高 Cotton height (cm)									
		4 月底播种 Sown in late April					5 月底播种 Sown in late May				
		05 – 25	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	
地表撒播 Scattered on surface	I	5.1 ± 0.6a	8.5 ± 2.2a	12.6 ± 3.7a	15.9 ± 7.6a	16.3 ± 6.9a	4.0 ± 0.6a	10.3 ± 0.9a	10.8 ± 2.3a	10.8 ± 1.8a	
	II	4.9 ± 0.8a	6.1 ± 1.0a	9.2 ± 1.0a	10.3 ± 0.3a	12.6 ± 0.4a	5.9 ± 3.4a	14.3 ± 6.5a	14.7 ± 7.2a	17.6 ± 8.8a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	Isogenic control	5.0 ± 0.6a	7.6 ± 0.9a	11.0 ± 2.2a	12.0 ± 2.1a	13.6 ± 1.9a	4.2 ± 0.5a	11.1 ± 1.2a	11.5 ± 2.4a	13.6 ± 2.5a	
	I	5.6 ± 0.2a	9.5 ± 1.9a	15.1 ± 5.0a	19.8 ± 7.0a	21.8 ± 7.2a	6.1 ± 1.8a	13.0 ± 1.9a	13.1 ± 2.2a	13.8 ± 2.6a	
	II	5.8 ± 1.2a	8.8 ± 2.3a	14.0 ± 6.2a	17.4 ± 7.3a	20.7 ± 9.7a	5.8 ± 1.9a	11.5 ± 1.4a	12.5 ± 0.6a	14.8 ± 1.7a	
	Isogenic control	5.7 ± 0.4a	9.3 ± 1.2a	16.3 ± 2.5a	16.0 ± 2.5a	21.6 ± 3.2a	5.5 ± 1.3a	11.5 ± 0.9a	12.7 ± 2.2a	14.5 ± 0.7a	

播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	真叶数(片) Leaf number									
		4 月底播种 Sown in late April					5 月底播种 Sown in late May				
		05 – 25	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	
地表撒播 Scattered on surface	I	1.5 ± 0.3a	3.7 ± 0.4a	5.2 ± 0.9a	7.9 ± 2.2a	7.5 ± 3.7a	0.3 ± 0.1a	2.6 ± 0.3a	3.6 ± 0.6a	4.7 ± 0.3a	
	II	1.2 ± 0.5a	3.6 ± 1.0a	4.1 ± 0.4a	5.7 ± 1.2a	7.5 ± 1.3a	1.2 ± 1.2a	3.6 ± 1.5a	5.6 ± 2.0a	7.1 ± 2.9a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	Isogenic control	1.6 ± 0.2a	3.7 ± 0.3a	4.4 ± 0.6a	6.8 ± 1.2a	7.0 ± 0.5a	0.3 ± 0a	3.5 ± 0.6a	4.3 ± 0.8a	5.1 ± 0.6a	
	I	1.7 ± 0.2a	4.2 ± 0.5a	6.8 ± 1.8a	9.1 ± 1.8a	10.5 ± 3.6a	1.4 ± 0.7a	3.2 ± 1.0a	5.1 ± 1.2a	5.4 ± 1.8a	
	II	1.7 ± 0.1a	4.3 ± 0.8a	6.1 ± 1.3a	7.7 ± 1.1a	9.3 ± 1.2a	1.2 ± 0.3a	3.1 ± 0.2a	4.9 ± 0.8a	6.4 ± 0.6a	
	Isogenic control	1.6 ± 0.1a	4.1 ± 0.4a	6.0 ± 0.3a	8.4 ± 1.4a	9.4 ± 0.8a	1.1 ± 0.2a	2.9 ± 0.3a	4.9 ± 0.7a	6.6 ± 0.5a	

播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	茎直径 Stem diameter (mm)									
		4 月底播种 Sown in late April					5 月底播种 Sown in late May				
		05 – 25	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	06 – 25	07 – 25	08 – 25	09 – 30	
地表撒播 Scattered on surface	I	2.1 ± 0.1a	2.5 ± 0.2a	2.4 ± 0.4a	2.9 ± 1.0a	3.2 ± 0.8a	1.8 ± 0a	1.7 ± 0.1a	1.6 ± 0.3a	1.7 ± 0.5a	
	II	2.2 ± 0.2a	2.6 ± 0.3a	2.3 ± 0.7a	2.3 ± 0.7a	3.1 ± 1.1a	2.0 ± 0.2a	1.9 ± 0.4a	2.0 ± 0.5a	2.5 ± 1.0a	
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	Isogenic control	1.9 ± 0.1a	2.4 ± 0.2a	2.0 ± 0.3a	2.5 ± 0.5a	2.8 ± 0.4a	1.9 ± 0.1a	1.9 ± 0.2a	1.8 ± 0.3a	1.9 ± 0.6a	
	I	2.0 ± 0.1a	2.5 ± 0.3a	2.7 ± 0.6a	3.0 ± 0.9a	3.6 ± 0.9a	1.8 ± 0.1a	1.7 ± 0.2a	1.9 ± 0.2a	2.3 ± 0.3a	
	II	2.1 ± 0.2a	2.8 ± 0.5a	2.6 ± 0.5a	2.9 ± 0.5a	3.4 ± 1.0a	1.7 ± 0.2a	1.5 ± 0a	1.5 ± 0.1b	2.0 ± 0.4a	
	Isogenic control	2.0 ± 0.1a	2.5 ± 0.2a	2.6 ± 0.2a	2.7 ± 0.3a	3.1 ± 0.4a	1.6 ± 0.1a	1.6 ± 0.1a	1.8 ± 0.3ab	2.0 ± 0.1a	

I : 转双价抗草甘膦抗虫基因 (*EPSPS* + *cry1Ac*) 棉 I ; II : 转双价抗草甘膦抗虫基因 (*EPSPS* + *cry1Ac*) 棉 II ; Isogenic control : 非转基因常规棉——中棉所 49。数据为平均值 ± 标准差; 同一列中小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)。

I : Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton I ; II : Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton II ; Isogenic control : Common cotton, CCRI 49。Values are means ± SD; different small letters in same column represent a significant difference ($P < 0.05$)。

2.2.3 生殖生长竞争力 4月底撒播方式下,至8月底,双价棉和常规棉仍未见果枝,多数植株无蕾铃,仅见4株双价棉I有1~2个蕾,其中2株上各有1个棉铃,而双价棉II未见蕾铃,常规棉仅见1株上有1个蕾;至9月底,仅见少数双价棉和常规棉长出1~2台果枝,平均果枝数小于0.3台·株⁻¹,仅有2株双价棉I分别有1和2个蕾,4株双价棉I各有1个小铃(棉铃未出苞叶),无吐絮表现,而双价棉II和常规棉各有1株有1个蕾,未见棉铃(表4)。

由表4可见,同一时期同一品种深播处理的生

育进程比撒播处理略快。至8月底,深播方式下,双抗棉和常规棉无果枝,但3个品种均有蕾铃出现,且差异不显著;至9月底,3个品种的部分植株长出果枝,但果枝数较少,平均果枝数小于0.5台·株⁻¹,虽然双价棉和常规棉的蕾铃数多于撒播处理,但仅2株双价棉I各有1个吐絮铃,且棉铃较小,直径仅2cm左右,棉籽发育不成熟,不能正常发芽繁殖。

上述结果表明,4月底撒播和深播2种方式下,双价棉与常规棉相比,生殖生长无竞争优势,在不做任何栽培管理的环境下,无变为杂草的可能性。

表4 2种播种方式下棉花的果枝数、花蕾数和铃数(4月底播种)							
Table 4 The number of sympodial branch, bud and boll under two sowing patterns sown in late April							
播种方式 Sowing pattern	品种 Cultivar	果枝数(台) Sympodial branch number		花蕾数(个) Flower bud number		铃数(个) Boll number	
		08-25	09-30	08-25	09-30	08-25	09-30
地表撒播 Scattered on surface	I	0	0.30±0.3a	0.18±0.3	0.08±0.1a	0.06±0.1	0.11±0.2
	II	0	0.06±0.1a	0	0.06±0.1a	0	0
	Isogenic control	0	0.19±0.2a	0.07±0.1	0.07±0.1a	0	0
3 cm 深播 Sown 3 cm deep	I	0	0.54±0.3a	0.15±0.3a	0.20±0.2a	0.08±0.1a	0.14±0.2a
	II	0	0.20±0.1b	0.13±0.0a	0.11±0.1a	0.05±0.0a	0.07±0.0a
	Isogenic control	0	0.29±0.1ab	0.15±0.0a	0.12±0.1a	0.07±0.1a	0.11±0.1a
I: 转双价抗草甘膦抗虫基因(<i>EPSPS</i> + <i>cry1Ac</i>)棉 I; II: 转双价抗草甘膦抗虫基因(<i>EPSPS</i> + <i>cry1Ac</i>)棉 II; Isogenic control: 非转基因常规棉——中棉所49。数据为平均值±标准差;同一列中小写字母不同者表示差异显著($P<0.05$)。							
I: Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton I; II: Transgenic glyphosate- and insect-resistant cotton II; Isogenic control: Common cotton, CCRI 49. Values are means ± SD; different small letters in same column represent a significant difference ($P<0.05$).							

2.3 5月底播种竞争能力表现

2.3.1 出苗率及存活率 5月底播种,撒播方式下,双价棉和常规棉的出苗率为19.6%~27.9%,无显著差异;深播方式下,3个品种的出苗率均高于撒播,达35.8%~46.7%,但三者间无显著差异。随着杂草生长对棉花的荫蔽作用,3个品种的存活率整体呈下降趋势,至9月底,撒播和深播2种方式下,棉花的存活率仅为8.3%~15.8%,且品种间差异不显著(表2)。这说明荒地5月底撒播和深播棉种,在不进行任何栽培管理的情况下,转基因抗草甘膦抗虫棉的存活竞争力无优势。

2.3.2 生长竞争力 荒地5月底播种的棉花长势见表3,整个生长期棉花生长缓慢,发育迟缓,双价棉与常规棉相比,株高、真叶数和茎直径差异均不显著。6月底,无论撒播还是深播处理,双价棉和常规棉植株均矮小,平均株高低于6.1cm,此时,多数棉株仍处于子叶期,部分棉株长出1~4片真叶;7月底,2种播种方式下棉花平均株高增加5.7~8.4cm,且所有植株均长出真叶,平均真叶数为2.6~3.6片;8月底,2种播种方式下,双价棉和常规棉的平

均株高与7月底相当,真叶数略有增多,平均为3.6~5.6片;9月底,3个品种在不同播种方式下,平均株高增长不明显,仅为10.8~17.6cm,叶片数最多的也只有12片。

在整个调查过程中,3个棉花品种的茎直径变化较小,植株较细,平均茎直径小于2.5mm。至9月底,双价棉和常规棉均未见果枝和蕾铃。因此,5月底播种的棉花无成熟种子,丧失繁殖机会。

3 讨论

转基因作物因通过基因工程手段获得新性状,其环境适应能力和生存竞争力可能发生改变,从而增加了作物演化成杂草的风险(钱迎倩和马克平,1998;强胜等,2010)。生存竞争能力的强弱是判断植物是否具有杂草化潜力的主要因子之一。在相同环境条件下,竞争能力强的植物较易在栖息地占据生存空间,并入侵和改变栖息地环境,最终演变为杂草。本研究通过比较转基因抗草甘膦抗虫棉花与非转基因对照棉花在同一荒地环境中的萌发、生长情况,评价转基因棉花的生存竞争能力,进而判断其杂草化风险。从试验结果可以看出,荒地

4 月底和 5 月底撒播和深播棉种,在不进行任何栽培管理的情况下,转基因抗草甘膦抗虫棉的存活竞争力与常规棉相比无优势。从中后期棉花生长情况来看,2 种播种方式下转基因抗草甘膦抗虫棉和常规棉的长势均较弱,表现为生长缓慢,植株矮小,生育期延迟,无成熟种子。因此,不同时期不同播种方式下,转基因抗草甘膦抗虫棉在荒地无竞争优势,不能繁殖传代,不存在杂草化风险。

按照公告发布的标准,每隔 1 个月需调查试验小区内杂草的种类、株数和覆盖度,本试验共设置了 12 个处理,每个处理 3 次重复,共 36 个小区,按每个小区 2 个样方,每次共需调查 72 个样方;同时,荒地杂草种类繁多、密度较大,且某些杂草幼苗期较难辨认,如禾本科马唐 *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.、狗尾草 *Setaria viridis* (L.) Beauv. 和狗牙根 *Cynodon dactylon* (L.) Pers. 等,致使难以准确统计小区的杂草株数。因此,笔者认为,在杂草调查部分可以删减对杂草株数的统计,杂草覆盖度可以更好地反映杂草占据栖息地的竞争能力,覆盖度越大,说明其竞争能力越强,优势越大,这与张兴华等(2012)的观点一致。

参考文献

陈小文,李吉崇,郭玉海,董学会. 2012. 抗虫转基因玉米荒地生存竞争力评价. 杂草科学, 30(1): 31–34.

康岭生,杨向东,王玉民,谭喜昌,宋新元,于壮,张欣芳,张明. 2010. 高油酸转基因大豆 HOA₈₀ 生存竞争能力检测. 吉林农业科学, 35(6): 1–3, 24.

刘娜,李葱葱,徐文静,董英山. 2006. 转基因作物环境安全性研究进展. 分子植物育种, 4(1): 9–14.

钱迎倩,马克平. 1998. 经遗传修饰生物体的研究进展及其释放后对环境的影响. 生态学报, 18(1): 1–9.

强胜,宋小玲,戴伟民. 2010. 抗除草剂转基因作物面临的机遇与挑战及其发展策略. 农业生物技术学报, 18(1): 114–125.

宋小玲,强胜,彭于发. 2009. 抗草甘膦转基因大豆 (*Glycine max* (L.) Merri) 杂草性评价的试验实例. 中国农业科学, 42 (1): 145–153.

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.

王振宇,蒋媛媛,马奇祥,崔小伟,娄永尚,赵辉. 2010. 转抗病基因棉花荒地生存竞争能力研究. 河南农业科学, (10): 51–52, 120.

张兴华,田绍仁,乔艳艳,李捷,杨兆光. 2011. 转双价抗病基因棉花在荒地生存的竞争能力研究. 江西棉花, 33 (1): 42–50.

张兴华,田绍仁,张天玉,李捷,乔艳艳. 2012. 转 *cry1Ac* + *cry2Ab* 基因棉与转 *cry1Ac* + EPSPS 基因棉荒地的生存竞争能力. 生物安全学报, 21(2): 119–124.

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.

Andow D A and Zwahlen C. 2006. Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecology Letters*, 9: 196–214.

James K. 1996. Could transgenic super crops one day breed super weeds. *Science*, 274: 180–181.

(责任编辑:杨郁霞)

