

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2018.02.012

外源基因导入对玉米叶片物理性状的影响

解雅梅¹, 周福才^{1*}, 杨益众¹, 张海波¹, 苏宏华¹, 张 芳², 邬亚红¹
¹扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009; ²江苏省植物保护植物检疫站, 江苏 南京 210036

摘要:【目的】探讨外源基因导入对玉米叶片物理性状的影响,为转基因玉米的安全性评价提供基础资料,也为转基因玉米的科学、有效利用提供依据。【方法】在扬州大学实验农牧场种植大北农转基因(转 *CryAb* 和 *epsps* 基因)和大北农(对照)、IE09S034 转基因(转 *CryIE* 基因)和 IE09S034(对照)、808-双抗-12-5 转基因(转 *CryAb/cry2Aj* 和 *Gleovo-epsps* 基因)和 808 瑞丰-1(对照)3 对玉米品种,室内测定了不同时期(苗期、穗期和花粒期)各品种叶片的蜡质含量、叶绿素含量、茸毛密度、维管束埋深及 Si、K、Ca、S、P 和 Cl 含量。【结果】转基因玉米的叶片中蜡质含量、叶绿素含量和维管束埋深较对应的常规亲本品种大,而叶片茸毛密度则较对应的常规亲本品种小。其中,穗期的大北农、IE09S034 和 808-双抗-12-5 转基因品种叶片蜡质含量分别较对照高 17.95%、48.30%和 39.31%;IE09S034 和 808-双抗-12-5 转基因品种穗期叶片的维管束埋深分别较对照高 13.70%和9.21%,花粒期分别高 10.81%和 14.47%;IE09S034 和 808-双抗-12-5 转基因品种穗期叶片的叶绿素含量分别较对照高 18.11%和 13.13%,花粒期分别高 16.62%和 14.61%;大北农、IE09S034 和 808-双抗-12-5 转基因品种花粒期叶片茸毛密度分别较对照低 17.70%、17.43%和 17.78%。3 个品种的转基因玉米叶表面元素含量均大于相应的对照。其中,与常规亲本相比,穗期大北农转基因品种叶片中 Ca 和 S 含量分别高 64.71%和 61.18%,IE09S034 转基因品种叶片中 Si、Ca、S、P 和 Cl 含量分别高 110.26%、16.67%、44.44%、46.32%和 20.00%,808-双抗-12-5 转基因品种叶片中 Si、Ca、S 和 P 含量分别高 34.78%、50.52%、115.47%和 20.41%。【结论】外源基因的导入会诱导玉米叶片相关物理性状的改变。

关键词: 转基因玉米; 叶片; 物理性状; 元素含量

Effects of exogenous genes on the physical traits in maize (*Zea mays*) leaves

XIE Yamei¹, ZHOU Fucui^{1*}, YANG Yizhong¹, ZHANG Haibo¹, SU Honghua¹, ZHANG Fang², WU Yahong¹
¹College of Horticultural and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;
²Jiangsu Provincial Plant Protection and Plant Quarantine Station, Nanjing, Jiangsu 210036, China

Abstract: 【Aim】 We explored whether the introduction of exogenous genes has an impact on the physical properties of maize leaves, which can provide the basic information for the safety evaluation of transgenic maize and reference for the effective utilization of transgenic maize. 【Method】 Three pairs of maize leaves were sampled including cv. Dabeinong transgenic maize (transgenic *CryAb* and *epsps* genes) vs. its untransformed isogenic form as control, cv. IE09S034 transgenic maize (transgenic *CryIE* gene) vs. its unmanipulated control, and cv. 808-Shuangkang-12-5 transgenic maize (transgenic *CryAb/cry2Aj* and *Gleovo-epsps* genes) vs. its unmanipualted control, cv. 808-Ruifeng-1 grown in the experimental field of Yangzhou University Agricultural Experimental Farm. The wax content, chlorophyll content, hair density, depth of vascular bundle, and contents of Si, K, Ca, S, P and Cl of these maize leaves were determined. 【Result】 Regardless of the cultivar, the wax content, chlorophyll content and vascular bundle depth of transgenic maize leaves were higher than those of the untransformed controls while leaf hair density was lower. The wax content of Dabeinong, IE09S034 and 808 transgenic maize leaves at the tasseling stage were higher than that of the corresponding control by 17.95%, 48.30% and 39.31%, respectively. The vascular bundle depth of IE09S034 and 808 transgenic maize leaves were higher than that of the parental control by 13.70% and 9.21%, also at the tasseling stage, and 10.81% and 14.47% at the anthesis stage, respectively. The leaf chlorophyll content of IE09S034 and 808 transgenic cultivars were higher than that of the parental control by

收稿日期(Received): 2018-02-01 接受日期(Accepted): 2018-03-03
基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项课题(2016ZX08012004-010); 江苏省农业三新工程 SXGC[2017]217; 江苏省科技支撑计划项目(农业部分)(BE2017347)
作者简介: 解雅梅, 女, 硕士研究生。研究方向: 转基因生物安全监测。E-mail: 885251320@qq.com
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: fczhou@yzu.edu.cn

18.11% and 13.13% at tasseling stage and 16.62% and 14.61% at the anthesis stage, respectively. The hair density of Dabeinong, IE09S034 and 808 transgenic maize leaves at the anthesis stage was lower than that of the corresponding control by 17.70%, 17.43% and 17.78%, respectively. The elemental contents on the leaf surface of three transgenic maize cultivars were all higher than that of the control. At the tasseling stage, Ca and S content in cv. Dabeinong transgenic maize leaves were 64.71% and 61.18% higher than that of the control, the contents of Si, Ca, S, P and Cl in IE09S034 transgenic maize leaves were 110.26%, 16.67%, 44.44%, 46.32% and 20.00% higher than that of the control, the contents of Si, Ca, S and P in 808 transgenic maize leaves were 34.78%, 50.52%, 115.47% and 20.41% higher than that of the control, respectively. 【Conclusion】 The introduction of exogenous genes can induce profound changes in the physical properties of the maize leaves.

Key words: genetically modified maize; leaf; physical property; element content

近 20 多年来,随着转基因技术的不断发展,人们已经利用基因工程手段成功培育出了具有抗虫、抗病和抗除草剂等优良性状的新种质,一些抗虫和耐除草剂的转基因作物品种被广泛种植(孙越等, 2015)。目前,转基因玉米已由单一基因发展到以既抗虫又耐除草剂或者抗多种害虫复合性状为主的聚合多基因的阶段(沈平等, 2016)。这些具有不同杀虫机理、不同性状多基因复合的转基因作物对于杂草的防除和农业害虫的控制具有重要作用,对减少化学农药的使用以及保护生态环境具有非常重要的意义(Shelton *et al.*, 2002)。

然而,外源基因的导入可能会使植物的物理性状发生改变。对玉米而言,外源 *BADH* 基因的导入使得转基因植株相较其非转化受体在生长、生理特性及农艺性状方面有明显的改变(刘晓璐, 2016); 外源 *AhCMO* 基因导入后玉米后代植株的相关酶活性及叶绿素含量均高于非转基因玉米,说明耐盐基因 *CMO* 的转化提高了玉米的耐盐性(任小燕等, 2013)。

由于导入的外源基因并非来自于植株本身的基因库,其对植株本身的抗虫防御体系将产生一定的影响(施敏娟等, 2010)。目前,对于转基因玉米抗虫防御体系的研究大多集中于植物的生化特性方面,而有关外来基因插入对植物叶片原有形态抗性影响的研究较少。本实验研究外源基因导入后叶片蜡质含量、叶绿素含量、茸毛密度、维管束埋深及 Si、K、Ca、S、P 和 Cl 含量等物理性状的变化,以期对转基因玉米的安全性评价提供基础资料,并为转基因玉米的科学、有效利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

大北农转基因玉米(转 *CryAb* 和 *epsps* 基因)、大北农(对照)、IE09S034 转基因玉米(转 *CryIE* 基

因)、IE09S034(对照)、808-双抗-12-5 转基因(以下简称 808 转基因)玉米(转 *CryAb/cry2Aj* 和 *Glo-vo-epsps* 基因)、808 瑞丰-1(对照),由中国农业科学院植物保护研究所提供。

于 2017 年 6 月 11 日在扬州大学农牧场的实验田播种各玉米品种,之后均进行常规的种植管理。分别于 6 月 28 日(苗期)、7 月 25 日(穗期)和 8 月 10 日(花粒期)进行叶片采集。

1.2 方法

1.2.1 叶片蜡质含量的测定 参照马永亮等(2006)的方法,选取各品种玉米中上部叶片,剪碎并称取 6.0 g 放入烧杯中,加入 60 mL 氯仿浸泡 1 min,将提取液过滤至已称重的洁净烧杯中,放入通风橱中至氯仿挥发完毕,再次称重。

叶片蜡质含量/(mg · g⁻¹) = (W₂ - W₁) × 1000 / 6.0 g (W₁ 为洁净烧杯的质量, W₂ 为氯仿挥发完毕后的烧杯质量,单位 g)。

1.2.2 叶绿素含量的测定 每个玉米品种随机选取 5 株,每株玉米选中上部位置相同的叶片 1 张,用叶绿素计 SPAD-502 测定叶片的 SPAD 值。

1.2.3 叶片茸毛密度和维管束埋深的测定 每个玉米品种随机选取 5 株,每株玉米选中上部 1 cm² 面积的叶片 1 张,在解剖镜下计数茸毛数。取上述实验后剩下的叶片,选取相同部位用刀片横切,在显微镜下用显微量尺测量脉维管束的埋深。

1.2.4 叶面部分元素含量的测定 每个玉米品种随机选取 3 株玉米,每株玉米选中上部位置相同的叶片 1 张,利用 X 射线能谱仪测定叶片背面的 Si、K、Ca、S、P 和 Cl 等元素的含量。

1.3 数据处理

利用 Excel 软件对数据进行基本处理,运用 DPS 统计分析软件对数据进行分析,同一生育期成对数据用 *t* 测验分析其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 外源基因导入对玉米叶片蜡质含量、叶绿素含量、茸毛密度和维管束埋深的影响

从表1发现,与常规玉米亲本相比,大北农转基因玉米叶片的蜡质含量、叶绿素含量、茸毛密度和维管束埋深均有一定程度的变化。其中,转基因品种叶片的茸毛密度显著低于亲本($P<0.05$),苗期、穗期和花粒期分别较对照低14.92%、13.97%和17.70%;转基因品种叶片的蜡质含量在穗期和花粒期显著高于亲本($P<0.05$),分别高17.95%和12.03%,苗期没有明显差异;叶绿素含量和维管束埋深没有明显差异。

与常规玉米亲本相比,IE09S034转基因玉米叶片的蜡质含量、叶绿素含量、茸毛密度和维管束埋深均有一定程度的变化(表1)。其中,转基因品种叶片的茸毛密度显著低于亲本($P<0.05$),苗期、穗期和花粒期分别较对照低16.85%、14.50%和17.43%;转基因品种叶片的蜡质含量和维管束埋深

均显著高于亲本($P<0.05$),苗期、穗期和花粒期的蜡质含量分别较对照高52.17%、48.30%和35.57%,维管束埋深分别较对照高7.69%、13.70%和10.81%;转基因品种叶片的叶绿素含量在穗期和花粒期显著高于亲本($P<0.05$),分别高18.11%和16.62%,苗期没有明显差异。

从表1发现,与常规玉米亲本相比,808转基因玉米叶片的蜡质含量、叶绿素含量、茸毛密度和维管束埋深均有一定程度的变化。其中,转基因品种叶片的茸毛密度在穗期和花粒期显著低于亲本($P<0.05$),分别低14.35%和17.78%;转基因品种叶片的蜡质含量和叶绿素含量均显著高于亲本($P<0.05$),苗期、穗期和花粒期的蜡质含量分别较对照高18.71%、39.31%和14.47%,叶绿素含量分别高15.88%、13.13%和14.61%;转基因品种叶片的维管束埋深在穗期和花粒期显著高于亲本($P<0.05$),分别高9.21%和14.47%。

表1 不同时期各玉米品种叶片的物理性状
Table 1 Physical characteristics of transgenic vs. control maize leaves in different developmental stages

时期 Stage	品种 Cultivar	蜡质含量 Wax content /(mg·g ⁻¹)	叶绿素含量(SPAD) Chlorophyll content	茸毛密度 /(根·cm ⁻²) Hair density per cm ²	维管束埋深 Depth of vascular bundle/mm
苗期 Seeding	大北农转基因 Dabeinong transgenic	1.64±0.09	30.20±1.17	118.60±6.43 *	0.065±0.002
	大北农(对照) Dabeinong (control)	1.45±0.03	29.00±1.18	139.40±4.64	0.064±0.002
穗期 Tasseling	大北农转基因 Dabeinong transgenic	1.84±0.10	31.20±1.74	147.80±6.98 *	0.073±0.004
	大北农(对照) Dabeinong (control)	1.56±0.02 *	29.80±0.75	171.80±5.08	0.070±0.002
花粒期 Flowering	大北农转基因 Dabeinong transgenic	1.77±0.04	36.02±1.82	98.60±4.47 *	0.077±0.003
	大北农(对照) Dabeinong (control)	1.58±0.06 *	31.40±1.53	119.80±6.51	0.075±0.003
苗期 Seeding	IE09S034转基因 IE09S034 transgenic	2.10±0.15	30.40±1.03	107.60±3.93 *	0.070±0.001
	IE09S034(对照) IE09S034 (control)	1.38±0.05 **	28.72±1.23	129.40±7.74	0.065±0.001 *
穗期 Tasseling	IE09S034转基因 IE09S034 transgenic	2.18±0.08	37.56±1.39	127.40±3.98 **	0.083±0.003
	IE09S034(对照) IE09S034 (control)	1.47±0.08 **	31.80±1.92 *	149.00±4.99	0.073±0.002 *
花粒期 Flowering	IE09S034转基因 IE09S034 transgenic	2.02±0.04	38.32±1.49	100.40±5.12 *	0.082±0.002
	IE09S034(对照) IE09S034 (control)	1.49±0.03 **	32.86±1.27 *	121.60±6.40	0.074±0.002 *
苗期 Seeding	808转基因 808 transgenic	1.65±0.09	33.86±1.63	104.60±5.82	0.077±0.001
	808(对照) 808 (control)	1.39±0.04 *	29.22±0.90 *	112.40±6.24	0.074±0.001
穗期 Tasseling	808转基因 808 transgenic	2.02±0.10	37.22±1.32	118.20±4.60 *	0.083±0.002
	808(对照) 808 (control)	1.45±0.05 **	32.90±1.31 *	138.00±6.94	0.076±0.002 *
花粒期 Flowering	808转基因 808 transgenic	1.82±0.05	39.38±1.83	100.80±3.68 *	0.087±0.003
	808(对照) 808 (control)	1.59±0.06 *	34.36±0.87 *	122.60±5.84	0.076±0.003 *

数据为平均值±SD。* 和 ** 分别代表转基因玉米品种与其亲本间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。
Values are means±SD. * and ** indicate significant differences between transgenic maize cultivar and its corresponding control at $P<0.05$ and $P<0.01$ level.

2.2 外源基因导入对玉米叶片部分元素含量的影响

从表 2 可以看出,大北农转基因品种与其常规玉米亲本叶片的 P、Ca、S 含量存在显著差异 ($P<0.05$)。其中,穗期和花粒期转基因玉米叶片中 Ca 含量分别较对照高 64.71% 和 24.86%, S 含量分别高 61.18% 和 42.09%, 苗期和花粒期转基因玉米叶片中 P 含量分别较对照高 17.24% 和 20.00%。Si 和 Cl 含量没有明显差异。

IE09S034 转基因品种与其常规玉米亲本叶片的 Si、K、Ca、S 和 P 含量存在显著差异 ($P<0.05$)。其中,苗期、穗期和花粒期转基因玉米叶片中 Si 含量分别较对照高 64.71%、110.26% 和 26.83%; 穗期

和花粒期转基因玉米叶片中 K 含量分别较对照高 16.67% 和 13.04%, Ca 含量分别高 16.67% 和 13.04%, S 含量分别高 44.44% 和 30.88%, P 含量分别高 46.32% 和 62.86%。穗期 Cl 含量较对照高 20.00% (表 2)。

808 转基因品种与其常规玉米亲本叶片的 Si、Ca、S、P 含量存在显著差异 ($P<0.05$)。其中,苗期、穗期和花粒期转基因玉米叶片中 Si 含量分别较对照高 29.17%、34.78% 和 23.81%, Ca 含量分别高 20.00%、50.52% 和 26.58%, S 含量分别高 68.21%、115.47% 和 87.14%, P 含量分别高 21.92%、20.41% 和 10.71%。K 和 Cl 含量没有发生显著变化 (表 2)。

表 2 不同时期各玉米品种叶表面元素含量
Table 2 Elemental contents on maize leaf surface in the different developmental stages

时期 Stage	品种 Cultivar	质量分数 Content/%					
		Si	K	Ca	S	P	Cl
苗期 Seeding	大北农转基因 Dabeinong transgenic	0.53±0.01	0.27±0.01	0.07±0.004	0.0072±0.0002	0.0068±0.0002	0.0078±0.0009
	大北农(对照) Dabeinong (control)	0.41±0.05	0.26±0.02	0.06±0.002	0.0065±0.0004	0.0058±0.0002 *	0.0071±0.0009
穗期 Tasseling	大北农转基因 Dabeinong transgenic	0.81±0.12	0.25±0.02	0.112±0.003	0.0137±0.0009	0.0103±0.0011	0.0085±0.0007
	大北农(对照) Dabeinong (control)	0.72±0.13	0.23±0.02	0.068±0.004 **	0.0085±0.0001 *	0.0076±0.0002	0.0066±0.0007
花粒期 Flowering	大北农转基因 Dabeinong transgenic	0.71±0.01	0.24±0.01	0.087±0.004	0.0098±0.0008	0.0084±0.0001	0.0079±0.0004
	大北农(对照) Dabeinong (control)	0.63±0.04	0.21±0.03 *	0.070±0.003 *	0.0069±0.0003 *	0.0070±0.0003 *	0.0067±0.0002
苗期 Seeding	IE09S034 转基因 IE09S034 transgenic	0.28±0.02	0.29±0.01	0.05±0.004	0.0249±0.0027	0.0073±0.0001	0.0068±0.0004
	IE09S034(对照) IE09S034 (control)	0.17±0.01 **	0.28±0.01	0.04±0.003	0.0150±0.0027	0.0068±0.0002	0.0067±0.0009
穗期 Tasseling	IE09S034 转基因 IE09S034 transgenic	0.82±0.11	0.28±0.01	0.104±0.008	0.0278±0.0019	0.0094±0.0004	0.0096±0.0001
	IE09S034(对照) IE09S034 (control)	0.39±0.04 *	0.24±0.01 *	0.072±0.002 *	0.0190±0.0017 *	0.0071±0.0001 **	0.0080±0.0005 *
花粒期 Flowering	IE09S034 转基因 IE09S034 transgenic	0.52±0.02	0.26±0.01	0.089±0.005	0.0228±0.0009	0.0084±0.0001	0.0087±0.0003
	IE09S034(对照) IE09S034 (control)	0.41±0.01 *	0.23±0.01 *	0.068±0.003 *	0.0140±0.0013 **	0.0069±0.0003 *	0.0077±0.0003
苗期 Seeding	808 转基因 808 transgenic	0.31±0.01	0.30±0.02	0.06±0.003	0.0254±0.0019	0.0089±0.0004	0.0051±0.0005
	808(对照) 808 (control)	0.24±0.02 *	0.26±0.01	0.05±0.003 *	0.0151±0.0026 *	0.0073±0.0003 *	0.0042±0.0004
穗期 Tasseling	808 转基因 808 transgenic	0.93±0.03	0.24±0.01	0.146±0.011	0.0390±0.0033	0.0118±0.0003	0.0142±0.0029
	808(对照) 808 (control)	0.69±0.05 *	0.23±0.01	0.097±0.013 *	0.0181±0.0027 **	0.0098±0.0002 **	0.0085±0.0005
花粒期 Flowering	808 转基因 808 transgenic	0.78±0.03	0.23±0.01	0.100±0.004	0.0262±0.0015	0.0093±0.0002	0.0090±0.0002
	808(对照) 808 (control)	0.63±0.03 *	0.22±0.02	0.079±0.003 *	0.0140±0.0004 **	0.0084±0.0002 *	0.0077±0.0006

数据为平均值±SD。* 和 ** 分别代表转基因玉米品种与其亲本间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。
Values are means±SD. * and ** indicate significant differences between transgenic maize cultivar and its corresponding control at $P<0.05$ and $P<0.01$ level.

3 小结与讨论

叶片是作物进行光合作用的主要器官,外源基因导入会引起作物营养代谢、物理性状等发生变化(刘晓璐,2016;刘昱,2012;张迎春,2010)。本研究发现,转基因玉米叶片的蜡质含量、叶绿素含量、维管束埋深明显较常规亲本高,而叶片茸毛密度则较常规亲本低。不同转基因玉米品种叶背面 Si、K、Ca 等元素含量均在不同程度上大于其常规亲本。

植物的毛、刺、腺体、蜡质、分泌物与某些组织的骨化或硅化程度等相关物理性状的变化,会影响植物对昆虫抗性作用(赵曼,2013)。外源基因导入引起了玉米叶片物理性状的改变,可能是因为植物叶片这些形态特征的变化对于虫害具有一定的抵制和防御作用(雒珺瑜等,2011;任佳等,2014);外源抗虫基因的导入恰好调控了玉米的物理防御系统,使得转基因抗虫玉米总体抗性增强,减少了害

虫数,保持了较好的长势(吕霞,2013)。

研究发现,植物叶片的蜡质含量、颜色、茸毛密度、表面结构等许多物理性状与抗蚜性密切相关。如高粱抗、感基因型间的蜡质含量、叶片颜色、叶片表面结构均存在明显差异,抗蚜品系的蜡质含量和叶绿素含量均低于感蚜品系,并且叶片表面光滑(常金华等,2004);在不同棉花品种(系)间,蚜害指数与棉花叶片的蜡质含量、茸毛密度呈显著的负相关(芦屹,2008);任佳等(2014)研究发现,黄瓜叶片茸毛密度与瓜蚜的种群趋势指数存在显著正相关,叶片维管束埋深和表面蜡质含量与瓜蚜种群趋势指数呈显著负相关。因此,植物叶片的部分物理性状对其抗蚜性具有重要的影响,而当这些物理性状发生变化时,必然会造成植物对蚜虫的抗性作用发生改变。对于转基因玉米来说,叶片物理性状的变化对玉米蚜虫或其他害虫是否也具有类似的影响?这种影响表现为抑制还是促进?今后还需进行系统的生化和分子实验,才有可能揭示转基因植物叶表物理特征改变的深层次的机制。

参考文献

常金华,张丽,夏雪岩,李荣改,罗耀武,刘国庆,2004.不同基因型高粱植株的物理性状与抗蚜性的关系.河北农业大学学报,27(2):5-7,12.

刘晓璐,2016.转*BADH*基因玉米与非转化受体生长、生理特性及农艺性状比较.硕士学位论文.太原:山西师范大学.

刘昱,2012.长江流域棉区*Bt*基因棉关键生理代谢特征与棉盲蝽危害的相关生理指标研究.硕士学位论文.南京:南京农业大学.

芦屹,2008.新疆不同棉花品种(系)的抗蚜性评价及其抗

性机理研究.硕士学位论文.石河子:石河子大学.

雒珺瑜,崔金杰,黄群,2011.棉花叶片中叶绿素、蜡质含量和叶片厚度与抗绿盲蝽的关系.植物保护学报,38(4):320-326.

吕霞,王慧,曾兴,杨小艳,翁建峰,邸宏,郭燕博,王振华,李新海,2013.转基因抗虫玉米研究及应用.作物杂志(2):7-12.

马永亮,杨玉武,曲爱军,2006.氧化乐果和阿维菌素对大叶黄杨叶表蜡质层的影响.林业科技,31(4):28-29.

任佳,周福才,陈学好,胡其靖,杨爱民,周建华,邵久之,钱媛媛,2014.黄瓜叶片物理性状对黄瓜抗蚜性的影响.中国生态农业学报,22(1):52-57.

任小燕,杜建中,孙毅,2013.转*AhCMO*基因玉米后代的获得及耐盐性鉴定.分子植物育种,11(3):332-338.

沈平,章秋艳,林友华,李文龙,李昂,宋贵文,2016.推进我国转基因玉米产业化的思考.中国生物工程杂志,36(4):24-29.

施敏娟,陆佩玲,陈建,杨益众,2010.外源抗虫基因与植物自身抗虫防御体系的互作.昆虫知识,47(5):841-847.

孙越,刘秀霞,李丽莉,官赟赟,张举仁,2015.兼抗虫、除草剂、干旱转基因玉米的获得和鉴定.中国农业科学,48(2):215-228.

张迎春,2010.转*Bt*基因水稻对环境微生物的影响.硕士学位论文.南京:南京林业大学.

赵曼,2013.不同玉米品种(系)对玉米蚜抗性机制的初步研究.硕士学位论文.郑州:河南农业大学.

SHELTON A M, ZHAO J Z, ROUSH R T, 2002. Economic, ecological, food safety and social consequences of the deployment of *bt* transgenic plants. *Annual Review of Entomology*, 47(1):845-881.

(责任编辑:杨郁霞)